



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PROBETAS  
ELABORADAS A PARTIR DE MICELIO DE LOS HONGOS GANODERMA LUCIDUM  
Y PLEUROTUS OSTREATUS EN UN SUSTRATO DE RASTROJO DE MAÍZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Biotecnólogo

AUTORES: KARINA ALEJANDRA QUEVEDO PESÁNTEZ

JOHN ALEXANDER QUINDE GUACHICHULCA

TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PhD.

Cuenca - Ecuador

2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Karina Alejandra Quevedo Pesántez con documento de identificación N° 0302506472 y John Alexander Quinde Guachichulca con documento de identificación N° 0105199764, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de agosto del 2023

Atentamente,

---

Karina Alejandra Quevedo Pesántez

0302506472

---

John Alexander Quinde Guachichulca

0105199764

## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Karina Alejandra Quevedo Pesántez con documento de identificación N° 0302506472 y John Alexander Quinde Guachichulca con documento de identificación N° 0105199764, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “Comparación de las propiedades mecánicas de probetas elaboradas a partir de micelio de los hongos *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus* en un sustrato de rastrojo de maíz”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biotecnólogo en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de agosto del 2023

Atentamente,

---

Karina Alejandra Quevedo Pesántez

0302506472

---

John Alexander Quinde Guachichulca

0105199764

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Wilson Arévalo Moscoso con documento de identificación N° 0102156957, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PROBETAS ELABORADAS A PARTIR DE MICELIO DE LOS HONGOS GANODERMA LUCIDUM Y PLEUROTUS OSTREATUS EN UN SUSTRATO DE RASTROJO DE MAÍZ, realizado por Karina Alejandra Quevedo Pesántez con documento de identificación N° 0302506472 y por John Alexander Quinde Guachichulca con documento de identificación N° 0105199764, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de agosto del 2023

Atentamente,



---

Ing. Pablo Wilson Arévalo Moscoso, PhD.

0102156957

**DEDICATORIA**

A mis padres por brindarme el regalo máspreciado que cualquier padre puede ofrecer, la oportunidad de estudiar. Por permitirme forjar un futuro para mí misma, confiando en cada paso que daba y en cada decisión que tomaba a lo largo de mis estudios.

Sin subestimarme, dedico está tesis a mi persona, por seguir mi camino sin caer en cada paso, por confiar en que podía lograr cumplir este objetivo y por no dudar nunca de mí y de mi capacidad de recorrer un poco más hasta alcanzar la meta final.

**Karina Quevedo Pesántez**

**DEDICATORIA**

Para Viviana: la mujer que me vio nacer, llorar, gatear, ganar, perder. Mi madre y amiga; mi guía, refugio e inspiración.

Para Andy, mi hermano: el mejor regalo que me pudo dar la vida; la persona que caminó junto a mí en este trayecto, aprendiendo y madurando juntos.

A Diego, mi padre y amigo: quien me acompaña en todo momento, y me ha enseñado a creer en mí.

A Luisa y Carlos, mis abuelos: quienes me han brindado su amor y me han enseñado a luchar dando siempre lo mejor de mí.

A las personas que compartieron momentos, ideas y vivencias que me han convertido en la persona que hoy en día soy.

A todos aquellos soñadores que en algún momento estarán en mi lugar.

Les dedico esta tesis con todo mi corazón.

**Alexander Quinde Guachichulca**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por permitirme concluir una etapa más de mi vida, por guiarme y mantenerme fuerte en los momentos que más me costaba seguir adelante.

Expreso mi mayor agradecimiento a mis padres por su constante apoyo y por dejarme saber que siempre estarán a mi lado sin importar nada, porque sin ellos no habría logrado cumplir esta meta y no habría podido sentirme tan orgullosa de mis pequeños logros cada día.

Quiero agradecer a mis hermanos que me inspiraron para ser mejor diariamente, a nunca rendirme sin importar las circunstancias y a luchar por lo que quiero.

A mi tutor: Doctor Pablo Arévalo por brindarme las pautas necesarias para realizar esta tesis y otorgarme los conocimientos que me ayudaron a completar esta meta y que me ayudarán en las próximas que vendrán.

Finalmente quiero dar gracias a todas las personas que me apoyaron a lo largo de este camino e hicieron de este sueño una realidad.

**Karina Quevedo Pesántez**

## AGRADECIMIENTOS

A Viviana, por ser las columnas de mi templo, por enseñarme con su amor y con su ejemplo. A Diego, por aconsejarme cuando busco un buen amigo, gracias por la motivación y afecto.

A Luisa, mi abuela, gracias por su crianza, por su sabiduría y sus palabras de aliento; gracias por sus consejos y enseñanzas que me han llevado por el camino correcto. A Carlos, mi abuelo, mi modelo a seguir, gracias por la lucha constante y ayudarnos a salir adelante, gracias por ser el hombre que nunca se rinde y el hombre que quiero llegar a ser.

A Piedad y Gabriela, mis tías, les agradezco por su apoyo y por todo el cariño que me han podido brindar.

Gracias a mis hermanos: Matías, Carlos, Jonnathan, Ryan, Andy y Julián; por los momentos compartidos y ser la inspiración para lograr mis objetivos.

Gracias a mis amigos: A Karina, por su calidad humana y por culminar de la mejor manera este proyecto en donde sus aportaciones fueron fundamentales. A Fernando, Sósena, Anabel, Maité, y Marcela por todos los momentos compartidos a lo largo de estos años.

**Alexander Quinde Guachichulca**



## RESUMEN

**Palabras clave:** *Pleurotus*, *Ganoderma*, *Biomaterial*, *Micotectura*, *Dureza*, *Tracción*, *Compresión*.

El uso de materiales sintéticos como plásticos y polímeros derivados del petróleo ha incrementado significativamente con el paso de los años, sin embargo, su elevada demanda ha generado consecuencias graves para el ambiente produciendo un deterioro casi irreversible del mismo.

En la actualidad se han desarrollado un sin número de alternativas al uso de materiales de origen petroquímico, dentro de estas se encuentran los biomateriales fabricados a partir de micelio de hongos en un sustrato que puede ser obtenido de residuos agroindustriales. Estos denominados Micomateriales han contribuido a la disminución del uso de materiales como el poliestireno expandido que se suele aplicar en diferentes áreas de construcción y embalaje de productos.

En este contexto, esta investigación tuvo por objetivo comparar probetas de micelio elaboradas a partir del hongo *Pleurotus Ostreatus* con respecto a probetas elaboradas de *Ganoderma Lucidum*, buscando diferencias mediante un análisis estadístico partiendo de sus propiedades mecánicas (Compresión, tracción y dureza). El cultivo de los hongos se realizó siguiendo la metodología de Díaz Muñoz et al., (2019); posteriormente se inocularon en un sustrato de restojo de maíz y se colocaron en moldes de madera. Como resultado del estudio se obtuvo similaridad en los datos generados independientemente del hongo utilizado en el caso de la dureza y tracción, es decir, no se presentaron diferencias estadísticas entre los biomateriales fabricados. Por otro lado, el hongo *Pleurotus ostreatus* obtuvo mejores valores a comparación del hongo *Ganoderma lucidum* en la prueba de resistencia a la compresión. Ambos hongos generaron materiales no inflamables y con una densidad menor a la del agua.

## ABSTRACT

**Keywords:** *Pleurotus*, *Ganoderma*, Biomaterial, Mycotecture, Hardness, Traction, Compression.

The use of synthetic materials such as plastics and petroleum-derived polymers has increased significantly over the years, however, their high demand has generated profound consequences for the environment, causing almost irreversible deterioration of it.

At present, several alternatives to the use of materials of petrochemical origin have been developed, among these are biomaterials manufactured from fungal mycelium in a substrate that can be obtained from agro-industrial waste. These so-called Mycomaterials have contributed to the decrease in the use of materials such as expanded polystyrene that is usually applied in different areas of construction and product packaging.

In this context, this research aimed to compare mycelium test tubes made from the *Pleurotus Ostreatus* fungus with respect to test tubes made from *Ganoderma Lucidum*, looking for differences through a statistical analysis based on their mechanical properties (Compression, traction and hardness). The cultivation of the fungi was conducted following the methodology of Díaz Muñoz et al., (2019); Subsequently, they were inoculated in a corn stubble substrate and placed in wooden molds. As a result of the study, similarity was obtained in the data generated independently of the fungus used in the case of hardness and traction, i.e., there were no statistical differences between the biomaterials manufactured. On the other hand, the fungus *Pleurotus ostreatus* obtained better values compared to the fungus *Ganoderma lucidum* in the compressive strength test. Both fungi generated non-flammable materials with a density lower than that of water.

## INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	9
ABSTRACT .....	10
CAPITULO I.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.3 LIMITACIONES .....	17
1.4 OBJETIVOS.....	17
1.4.1 General:.....	17
1.4.2 Específicos: .....	17
1.5 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	18
1.6 HIPÓTESIS.....	18
1.7 VARIABLES.....	18
CAPITULO II.....	20
2.1 ESTADO DEL ARTE .....	20
2.2 MARCO TEÓRICO .....	22
2.2.1 Biología.....	22
2.2.2 Aprovechamiento de Residuos.....	30
2.2.3 Biomateriales.....	31
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	34
CAPITULO III.....	36
METODOLOGÍA.....	36

3.1	DISEÑO DE ESTUDIO.....	36
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	36
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	37
3.4	INSTRUMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	38
3.5	ANÁLISIS DE DATOS.....	39
3.6	MATERIALES Y EQUIPOS.....	39
3.7	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	40
3.7.1	Obtención de los Hongos.....	40
3.7.2	Identificación de los hongos.....	41
3.7.3	Preparación de los Sustratos.....	41
3.7.4	Preparación del molde .....	42
3.7.5	Masa, volumen y densidad de los bloques de micelio .....	43
3.7.6	Pruebas de inflamabilidad y combustión de los bloques de micelio.....	43
3.7.7	Ensayos mecánicos del biomaterial .....	44
3.7.8	Análisis de resultados .....	45
CAPITULO IV .....		46
4.1	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA.....	46
4.1.1	Ganoderma lucidum.....	46
4.1.2	Pleurotus ostreatus .....	47
4.2	MOLDEADO DE LO BLOQUES.....	47
4.3	PROBETAS OBTENIDAS .....	50
4.3.1	Probetas de Ganoderma lucidum .....	51
4.3.2	Probetas de Pleurotus ostreatus .....	52

4.4	INFLAMABILIDAD Y COMBUSTIÓN DE LAS PROBETAS.....	53
4.5	DUREZA DE LAS PROBETAS .....	54
4.5.1	Dureza de las probetas de Ganoderma lucidum.....	54
4.5.2	Dureza de las probetas de Pleurotus ostreatus .....	56
4.6	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LAS PROBETAS.....	57
4.6.1	Resistencia a la Tracción de Ganoderma lucidum.....	58
4.6.2	Resistencia a la Tracción de Pleurotus ostreatus .....	59
4.7	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	61
4.7.1	Resistencia a la Compresión de Ganoderma lucidum.....	61
4.7.2	Resistencia a la Compresión de Pleurotus ostreatus .....	63
4.8	COMPARACIÓN DE PROBETAS .....	64
CAPITULO V .....		70
5.1	CONCLUSIONES.....	70
5.2	RECOMENDACIONES .....	71
5.3	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
FIGURAS.....		85
TABLAS.....		106

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

Los vestigios de civilizaciones pasadas han demostrado que materiales como la madera, lana, cuero y algodón han acompañado a la humanidad y la han permitido progresar hasta nuestro presente, en donde, el uso de materiales sintéticos derivados del petróleo ha incrementado año tras año desde la revolución industrial; lamentablemente, han generado consecuencias ambientales graves y casi irreversibles; es por ello que áreas como la biotecnología buscan alternativas seguras para el ambiente y que a la vez sean accesibles para el común de la sociedad, siendo una de ellas, los biomateriales a base de micelio de hongo.

Las primeras exploraciones en el uso de hongos para la fabricación de biomateriales comenzaron durante la década de los noventa por el científico japonés Shigeru Yamanaka, quien investigó el micelio para la producción de papel y materiales de construcción (Yamanaka & Kikuchi, 1991).

En el artículo científico “Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials”, se menciona un estudio que demuestra un gran rendimiento en el uso de ladrillos fabricados a partir de residuos lignocelulósicos y micelios de hongos, y han demostrado formar biomateriales con propiedades similares al poliestireno expandido, pero con un bajo costo de fabricación y un factor clave como la sostenibilidad ambiental (Jones et al., 2020).

En Ecuador, los biomateriales no han tenido un auge real, a decir verdad, su aplicación está reducida a actividades artesanales, por ello, nuestro propósito es el desarrollo de productos novedosos con el uso de micelio de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*, estableciendo sus características mediante pruebas mecánicas para comprobar la dureza, la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión del material bioformado.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día, se han diversificado el uso de materiales sintéticos de producción masiva, prueba de ellos son los plásticos y polímeros de origen petroquímico. En Ecuador y en el mundo, estos productos afectan negativamente al ambiente y sus ecosistemas. Feijóo-Vivas et al., (2021) menciona que, entre las problemáticas del uso desmedido de materiales de origen petroquímico están: la generación de desechos tóxicos y de alto riesgo contaminantes, un alto consumo de energía durante su producción y una liberación constante de gases de efecto invernadero.

Es así como la biotecnología se ha insertado en la búsqueda de nuevas tecnologías verdes y el desarrollo sostenible a partir de organismos, intentando reducir la huella ambiental y añadiendo la posibilidad de reusar desechos originados por la industria agrícola como materia prima, generando un cambio en la matriz productiva de nuestro país.

Así es como han nacido distintas ramas que buscan generar materiales eficientes y con características que compitan con los derivados del petróleo; una de estas ramas es la "micotectura", una disciplina que se enfoca en el estudio y la fabricación de biomateriales utilizando residuos vegetales lignocelulósicos y micelios de hongos (Córdor Fierro & Quezada Zambrano, 2019), esta es una nueva tecnología sostenible que proporciona productos necesarios para distintas personas e industrias y al mismo tiempo, deja de lado el uso de recursos no renovables (Ecovative, 2020), siendo de esta manera una tecnología verde que podría proporcionar soluciones a diferentes actividades antropogénicas como es la industria alimenticia y el uso de plásticos no biodegradables.

En Ecuador, los micomateriales aún están en una etapa temprana de desarrollo, pero se espera que su potencial sea cada vez más reconocido, y con la investigación de hongos autóctonos con propiedades específicas, estos nuevos materiales sean utilizado en diferentes sectores, impulsando la economía circular y promoviendo prácticas más amigables con el medio ambiente.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Como biotecnólogos, buscamos un desarrollo sustentable y presentar productos innovadores, es por ello que esta investigación se justifica alrededor de dos aspectos importantes: la reutilización de residuos de la agroindustria y la producción de materiales biodegradables y con cualidades que le permitan reemplazar a otros materiales tradicionales y de alto impacto ambiental. De aquí surge la iniciativa de varios científicos de crear la “micotectura”, rama que estudia y busca la elaboración de biomateriales a base de residuos vegetales lignocelulósicos y micelios de hongos (Cóndor Fierro & Quezada Zambrano, 2019), para que, de esta manera, el material se pueda biodegradar y volver a la naturaleza sin perjudicar al ambiente y a los seres vivos que en él habitan (Feijóo-Vivas et al., 2021).

En Ecuador, diversos factores provocan contaminación de los ecosistemas, entre estos, las actividades antrópicas como el incremento de industrias petroleras, la sobreexplotación de recursos naturales, el uso extensivo de productos no renovables y no biodegradables, entre otros (Márquez, 2021), todos estos son problemas que suceden en el día a día y que no llegan a solucionarse completamente.

Así mismo, en nuestro país, el sector agrícola y la agroindustria son las principales fuentes de ingreso económico, pero a la vez, producen una gran cantidad de residuos vegetales (Riera et al., 2018), los cuales en la mayoría de los casos no son aprovechados y al someterlos a un proceso de combustión, se convierten en un contaminante ambiental. En el Ecuador se genera una cantidad de biomasa residual del cultivo del maíz que corresponde a 434.921,32 toneladas al año (Domínguez Arteaga & Loo Zambrano, 2018), las cuales pueden ser transformadas y aprovechadas mediante diferentes técnicas biotecnológicas.

En la actualidad, en actividades del día a día se utilizan recursos y productos de origen fósil que afectan en gran medida a nuestro planeta, por esto, durante años se han buscado alternativas a estos materiales. Por tal motivo, este trabajo busca identificar las distintas características que puede brindar un biomaterial fabricado a partir de un hongo de la especie



*Ganoderma lucidum* y un segundo de la especie *Pleurotus ostreatus*., estos en un sustrato de rastrojo de maíz, para de esta manera comprobar que esta nueva tecnología es una alternativa sostenible y con ciclos de producción con una baja demanda de energía, a fin de crear una nueva conciencia que priorice el uso de materiales amigables con el planeta, sobre productos de origen fósil.

### **1.3 LIMITACIONES**

La limitante que se presentó en el trabajo de investigación es la infraestructura disponible en la Institución, pues está limitada para un volumen pequeño de producción de los biomateriales impidiendo un mayor número de muestras; otra situación son las condiciones de los laboratorios y espacios de trabajo, que impiden mejores resultados si existe contaminación.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 General:**

Comparar las propiedades mecánicas de probetas producidas a partir de los micelios de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* mediante un experimento en el laboratorio estableciendo la mejor cepa.

#### **1.4.2 Específicos:**

Identificar las cepas de los hongos *Pleurotus ostreatus* y los de *Ganoderma lucidum* mediante técnicas de caracterización microscópica y macroscópica para la verificación de los hongos propuestos.

Implementar metodologías de cultivo de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* mediante pruebas en el laboratorio de microbiología para la elaboración de bloques de micelio.

Contrastar las características obtenidas entre las probetas de micelio producidos por los hongos *Pleurotus ostreatus* y los de *Ganoderma lucidum* mediante pruebas estadísticas, determinando las mejores propiedades de los biomateriales.

## 1.5 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La pregunta de investigación será una guía de nuestra metodología y se ha realizado lo más concisa y simple posible; será respondida empíricamente conforme el proyecto arroje resultados: ¿Existen diferencias en las propiedades mecánicas de una probeta fabricada a partir de micelio de hongo dependiendo de la cepa utilizada?

## 1.6 HIPÓTESIS

La hipótesis se ha formulado de la siguiente manera: Si las probetas de micelio elaborado a partir del hongo *Pleurotus ostreatus* presentan diferencias con respecto a las probetas de *Ganoderma lucidum* en sus propiedades mecánicas, entonces, una de las cepas genera mejores características.

## 1.7 VARIABLES

Una variable puede tomar diferentes valores que son capaces de medirse, diferenciándose así de los conceptos. En este proyecto se presentan tres tipos de variables.

Una variable independiente que será la que nosotros como investigadores manipulemos, esta variable será la “cepa del hongo” con la que fabricaremos probetas de micelio, además se la considera una variable de tipo cualitativa ordinal.

Por otra parte, tenemos a las variables dependientes que miden los efectos o cambios directos con un carácter cuantitativo continuo pues son datos recolectados en una escala numérica; en nuestro caso, estas variables serán la compresión, la dureza y tracción, correspondientes a las pruebas mecánicas a las que serán sometidas estas probetas.

Finalmente, contamos con la presencia de variables intervinientes, estas pueden influir en los resultados finales, pero no se manipulan pues se encuentran fuera de nuestro alcance. En esta categoría, entre las más destacables encontramos la pureza del sustrato utilizado y su forma de esterilizarlo.

Se ha realizado la siguiente matriz de operacionalización que resumirá las variables analizadas previamente:

**Tabla 1**

*Variables*

<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Naturaleza</b>
Hongo	Independiente	Cualitativa ordinal
Compresión	Dependiente	Cuantitativo continuo
Dureza	Dependiente	Cuantitativo continuo
Tracción	Dependiente	Cuantitativo continuo
Pureza del Sustrato	Interviniente	Cualitativa ordinal
Esterilización	Interviniente	Cualitativa nominal

**Fuente:** (Autor, 2023)

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se citan una serie de trabajos realizados, referentes al desarrollo de biomateriales a partir de micelio de hongos de diferentes cepas en sustratos de materia orgánica.

Appels et al., (2019); Colmenares et al., (2018); Gallegos Belisario, (2022); Nashiruddin et al., (2021); Ocegueda Vega, (2021); Rodríguez, (2018), López Nava, (2014) llevaron a cabo la elaboración de un biomaterial a partir de micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos orgánicos agroindustriales, el cual fue esterilizado y posteriormente incubado durante un rango de tiempo de 10 a 18 días en un molde; en donde posteriormente, se realizaron distintas pruebas físicas y mecánicas (compresión, flexión, tensión, entre otras) a los biomateriales obtenidos dando como resultado materiales con características óptimas de tensión y resistencia a la compresión que permite que el material sea utilizado como una alternativa para el poliestireno expandido que sirve como material de envasado y embalaje, de igual manera, concluyen que este biomaterial puede ser utilizado en diferentes aplicaciones dentro del área de la construcción, arquitectura, decoración y fabricación de mobiliarios.

Chan et al., (2021); Ibarra Islas, (2019); Liu et al., (2020); Susel et al., (2021); Xing et al., (2018) realizaron un biomaterial a partir del micelio del hongo *Ganoderma lucidum* y materia orgánica, para la formación del biomaterial inocularon el hongo en condiciones asépticas, añadieron el sustrato y el inóculo se incubó en el molde determinado por aproximadamente 30 días, manteniendo una temperatura de 26 a 28°C al final del experimento realizaron la caracterización del biomaterial mediante pruebas físicas para medir la conductividad física, densidad y la capacidad calorífica específica del biomaterial, así mismo se realizaron pruebas morfológicas y mecánicas, tales como, pruebas de tracción, resistencia,

flexión, entre otras. Como resultado de estas pruebas se demuestra que el uso del hongo *Ganoderma lucidum* en un sustrato de residuos agroindustriales son una alternativa ecológica al uso de materiales plásticos en diversas áreas.

Antinori et al., (2020); Aristizábal Gutiérrez, (2022); Bruscato et al., (2019); Elsacker et al., (2019); Nussbaumer et al., (2023) trabajaron con diferentes hongos generadores de la podredumbre blanca y con sustratos desarrollados a partir de productos de desecho lignocelulósicos para la fabricación de biomateriales. Prepararon medios de cultivo en cajas Petri con Agar PDA y PDY respectivamente y se incubaron a temperatura ambiente durante 8 semanas o hasta que se observó el crecimiento del micelio. Luego prepararon los inóculos mediante el método de granos colonizados, se incubaron y se hornearon, posteriormente realizaron pruebas de compresión y densidad para conocer la calidad del material obtenido, el cual se concluye que puede reemplazar a materiales a base de plásticos de origen petroquímico.

Alemu et al., (2022); Bidegain et al., (2015); Dawidowicz et al., (2017); Ghazvinian et al., (2019); Jiménez Rey, (2018); Peng et al., (2023); Tacer-Caba et al., (2020) plantearon al tipo de sustrato como un factor que afecta al crecimiento micelial y por consiguiente a las propiedades mecánicas del biomaterial. El resultado de su experimento dio a conocer que, entre los mejores sustratos a utilizar debido al desempeño y crecimiento del micelio, fueron aserrín, bagazo de arroz, cáscara de café y pastel de colza, etc., probando así que los residuos agroindustriales pueden ser útiles como una alternativa a productos no biodegradables que se utilizan actualmente en empaques de productos, o en distintas áreas como el diseño y la arquitectura.

Girometta et al., (2019); Houette et al., (2022); Islam et al., (2017); Joshi et al., (2020); Muhammad et al., (2017); Yang et al., (2017) obtuvieron un biomaterial formulado a partir de micelio de hongo y un sustrato de materia orgánica, los materiales obtenidos fueron expuestos a diferentes ensayos mecánicos, entre estos, pruebas de resistencia a la flexión, tensión y

compresión, siguiendo estándares específicos para ciertos materiales bajo condiciones de temperatura ambiente, deteniendo la compresión al momento que presentó una deformación del 75% o hasta el momento de ruptura, dando como resultado biomateriales con propiedades mecánicas que cumplían las normas establecidas de ciertos materiales como el poliestireno expandido, con los que se buscaba comparar el biomaterial.

Cóndor Fierro & Quezada Zambrano, (2019) generó un biomaterial a partir de micelio de hongo de seta gris en un sustrato estéril para su utilización en micotectura. Se formuló el sustrato con aserrín y cal para la eliminación de bacterias que puedan presentarse, se lo mezcló con el cultivo del hongo y se colocó la mezcla en bolsas plásticas estériles. Después de colonizado el hongo en el sustrato, lo colocaron en moldes con diferentes formas y lo dejaron en incubación por 30 días obteniendo de esta manera un biomaterial con diferentes figuras de acuerdo con el molde utilizado, resultando ser una opción prometedora para la fabricación de esculturas, sustituyendo el uso de materiales plásticos convencionales.

Montecinos Narea, (2022) desarrolló placas a base de micelio con el fin de aplicarlas posteriormente en una techumbre o también conocida como cubierta de una construcción, se generaron varios moldes de teja con el micelio del hongo en un sustrato y se dejó colonizar. Sometieron el biomaterial a un horno por 1 hora a 100° C y lo dejaron reposar por 5 horas al sol y finalmente, obtuvieron un biomaterial en forma de tejas, el cual pintaron con cal y agua para una mayor protección y mejora estética.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Biología**

#### **2.2.1.1 Hongos**

La palabra hongo deriva del latín “*fungus*” y la micología es la ciencia encargada de su estudio. Los hongos son seres vivos que pertenecen al reino fungi; estos son organismos heterótrofos, ya que necesitan de una fuente externa de alimento que les brinde energía y

carbono para poder desarrollarse y reproducirse (Ocegueda Vega, 2021). Desde tiempos antiguos hasta la actualidad han sido utilizados en diversos procesos como son la producción de medicamentos, fermentación, industria alimenticia, así como desintegradores de materia orgánica, sin embargo, en los últimos años se han encontrado nuevas aplicaciones para algunos hongos comestibles que tienen la capacidad de crecer en sustratos que contengan lignocelulosa (Ibarra Islas, 2019).

### **2.2.1.2 Estructura de los hongos**

Estructuralmente se puede decir que el hongo se divide en dos cuerpos: el cuerpo fructífero que se refiere al cuerpo reproductivo (o en el caso de los hongos filamentosos a su fase sexual) y el cuerpo vegetativo que en los hongos filamentosos contienen diversos componentes que ayudan al desarrollo de estos (Rothschuh Osorio, 2021).

Dentro de su estructura reproductiva podemos encontrar como principal elemento los ascocarpos o ascomas y los basidiocarpos o basidiomas, otros componentes son: el píleo que tiene forma de sombrero, el himenio que es una membrana brinda protección a los elementos fértiles, el estípite que genera lo que se conoce como anillo y la volva que se encuentra en la parte inferior del cuerpo reproductivo y es como una envoltura (Gallegos Belisario, 2022). Y en lo referente a la estructura somática que no se encarga de la reproducción del hongo, entre las más importantes están las bandas de micelio que permiten el transporte de nutriente y materiales en los hongos filamentosos, los rizomorfos que proporcionan transporte a los nutrientes y los esclerócidos que tiene como objetivo la protección del hongo frente a factores extraños o cuando este se encuentra en estado de latencia (Cepero De García, 2012).

### **2.2.1.3 Micelio**

Los micelios son un conjunto de filamentos pluricelulares (Inarquia, 2021), es decir, son los esqueletos de los hongos, los cuales están compuestos principalmente por polímeros naturales como quitina, celulosa, proteínas, glucanos, polisacáridos, etc. (Gallegos Belisario, 2022), estos poseen características importantes que los hacen un gran candidato para el

desarrollo de biomateriales, propiedades como, su rápido crecimiento y su capacidad de producir un material biodegradable, inerte y renovable (Nussbaumer et al., 2023). Estos son la parte vegetativa del hongo que al colonizar un sustrato crecen y forman una red fibrosa con ramificaciones compuesta de células filamentosas denominadas hifas que se van a ir adhiriendo al sustrato a medida que se desarrollan (Ocegueda Vega, 2021), de esta manera facilitando la fabricación de materiales con resistencia mecánica (Cerimi et al., 2019) y dependiendo de la necesidad, con diferentes formas a las que se exponga el micelio en el sustrato.

Así mismo, las condiciones de crecimiento y, por lo tanto, las condiciones de temperatura, humedad, la calidad y composición del sustrato o la selección de hebras de hongos son parámetros específicos que definen las variedades y crean el diverso campo de posibilidades dentro del proyecto y sus aplicaciones (Conde, 2021). Por lo tanto, los materiales ligados a hongos pueden ser cualquier cosa, desde un aislamiento similar a una esponja o un panel acústico hasta tableros densos y estructurales para la construcción (Elsacker et al., 2020; Jones et al., 2020), que en total forman el campo expandido o el cuerpo disperso de la investigación. (Heisel & Hebel, 2019).

#### **2.2.1.4 Clasificación de los hongos**

Principalmente, los hongos se diferencian en dos tipos, los hongos unicelulares o también conocidos como levaduras y los pluricelulares o también llamados hongos filamentosos. Por otro lado, los hongos se clasifican en 5 grandes grupos: Basidiomicetos (*Pleurotus ostreatus*), Ascomicetos (*Saccharomyces cerevisiae*), Glomeromicetos (*Gigaspora margarita*), Zigomicetos (*Stachybotrys chartarum*) y Quitridiomicetos (*Physoderma maydis*) (Fernández Roldán, 2022).

Los hongos filamentosos poseen como principal característica la presencia de una red de filamentos ramificados con una parte celular definida constituida de carbohidratos. Muchos de estos hongos tienen la capacidad de degradar compuestos complejos de la materia



orgánica como la lignocelulosa a otros compuestos más simples (Suárez-Contreras et al., 2022).

Algunos ejemplos de hongos filamentosos son los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*.

### 2.2.1.5 *Pleurotus Ostreatus*

*Pleurotus ostreatus*, comúnmente conocido como hongo ostra, es una especie de hongo comestible que posee una pared celular que brinda protección y dureza a los micelios (Jiménez Rey, 2018), este es muy utilizado en diferentes industrias debido a su capacidad de crecer en amplios rangos de temperatura y obtener fácilmente nutrientes a partir de residuos orgánicos (Ocegeda Vega, 2021).

- Taxonomía

**Tabla 2**

*Taxonomía del hongo Pleurotus ostreatus*

Taxonomía	
Reino	Fungi
División	Basidiomycota
Clase	Agaricomycetes
Orden	Agaricales
Familia	Pleurotaceae
Género	Pleurotus
	<i>P. ostreatus</i>
Especie	Paul Kummer
	(1871)

**Fuente:** (Autor, 2023)

- Caracterización del hongo

El carpóforo del *P. ostreatus* es grande pues puede llegar a medir más de 20 cm, es aplanado, semejando a una concha u ostra. Los bordes están medianamente enrollados y que estén abiertos es una señal de su madurez, su tonalidad tiende al grisáceo. El color es muy importante pues especies del mismo género tienen formas similares pero sus colores varían (La Casa de las Setas, 2019).

- Caracterización microscópica y macroscópica del hongo

La técnica de caracterización macroscópica se realiza mediante la observación de colonias macroscópicas que surgen del cultivo en un medio como el Agar PDA. En esta se observa la velocidad de crecimiento, topografía y pigmentación de la colonia, textura y tamaño (Maite, 2017). En el caso de *Pleurotus ostreatus* se puede observar un micelio con textura algodonosa y de color blanquecino de crecimiento irregular y anillos de crecimiento (Angulo Zubieta et al., 2022).

Con el uso de un microscopio se realiza la técnica de caracterización microscópica, en la que se pueden observar las características de las esporas (tamaño, forma, color, etc.) y las hifas (presencia o ausencia de tabiques, forma de espiral, raqueta, etc.) (Maite, 2017). En la identificación del hongo *Pleurotus ostreatus* se observan esporas con una forma cilíndrica y se pueden apreciar hifas con presencia de fíbulas (Menéndez Valderrey, 2012).

- Condiciones de Cultivo

El *P. ostreatus* se desarrolla y reproduce bien en condiciones fluctuantes; el rango de temperaturas es amplio, de 23 a 32°C; tiende a lo ácido pues el pH que necesita va de 4.5 a 7 con un óptimo de 5.5; el sustrato preferente se basa en residuos lignocelulósicos con una humedad relativa de 80 a 90% (Díaz Muñoz et al., 2019).

### 2.2.1.6 Ganoderma lucidum

La especie de hongo *Ganoderma lucidum*., comúnmente se solía utilizar solo como un hongo medicinal o terapéutico y se ignoraba sus otros usos, hasta que se lo comenzó a considerar como un excelente candidato en la fabricación de biomateriales para textiles y aplicaciones en la ingeniería. Esta especie posee estructuras complejas como sus redes de micelio que poseen tres tipos distintos de filamentos constitutivos (generativo, esquelético y de unión) que pueden agruparse y fusionarse para formar estructuras más grandes y complejas, que le proporcionan mejores propiedades mecánicas en comparación con otros hongos (Porter et al., 2023), además, la transformación de los residuos agroindustriales mediante el cultivo de estos hongos es considerada como un método con gran valor ecológico (Nieto-Juárez et al., 2019).

- Taxonomía

**Tabla 3**

*Taxonomía del hongo Ganoderma lucidum*

Taxonomía	
<b>Reino</b>	Fungi
<b>División</b>	Basidiomycota
<b>Clase</b>	Agaricomycetes
<b>Orden</b>	Polyporales
<b>Familia</b>	Ganodermatacea
<b>Género</b>	Ganoderma
	G. lucidum
<b>Especie</b>	Petter Adolf
	Karsten (1881)

**Fuente:** (Autor, 2023)

- Caracterización del hongo

La seta del *Ganoderma lucidum* posee carpóforos anuales de forma arriñonada, con dimensiones que van de los 2 a los 20 cm de ancho y de los 4 a 8 cm de espesor; cuenta con una cutícula laqueada de tonos que van de lo amarillento hacia lo rojizo y con una capa superior predispuesta en bandas concéntricas, con zonas coloreadas y bien diferenciadas que se aclaran en los bordes (Bidegain, 2017).

- Caracterización microscópica y macroscópica del hongo

En la caracterización macroscópica de *Ganoderma lucidum* se puede observar un micelio de color blanco de crecimiento rápido y denso (Alheeti et al., 2020).

Mediante la caracterización en microscopio de *Ganoderma lucidum* se observan esporas de color marrón rojizo y se pueden apreciar hifas con tabiques o pilares (Bidegain, 2017).

- Condiciones de Cultivo

*G. lucidum* es una especie cultivable en distintas formulaciones de sustratos lignocelulósicos. Resultados ha demostrado su crecimiento óptimo a 28 °C, soportando variaciones de pH que van de 4.0 a 8.0 (Rolim et al., 2014).

#### **2.2.1.7 Técnicas microbiológicas de identificación fúngica**

Para una identificación precisa de los hongos con los que se desea trabajar es necesario entender el tipo de hongos con los que se trabaja. En la caracterización de levaduras, es imprescindible utilizar pruebas metabólicas, sin embargo, en el caso de hongos filamentosos (con los cuales estamos trabajando), es posible identificar las especies mediante el estudio de su forma y estructura a nivel macro y microscópico.

- **Caracterización Microscópica y Macroscópica**

En la caracterización microscópica de levaduras es necesario realizar una tinción que permita resaltar ciertos rasgos particulares de su estructura. Como lo menciona el profesorado de la Universidad Miguel Hernández de Elche, (2021), con la tinción de azul de lactofenol podemos observar la morfología y gemación de las células; mientras que, con tinta china se puede observar la capsula de estos organismos.

En el caso de hongos filamentosos necesitamos una muestra previa, la cual se recomienda tomar de un microcultivo. Al igual que las levaduras, es necesario realizar una tinción con azul de lactofenol y mediante un correcto uso del microscopio y sus objetivos podremos caracterizar al hongo. Con respecto a las técnicas macroscópicas, es adecuado el uso de un estereoscopio y observar características como la forma de la colonia y el color.

- **Cultivo en medios de cultivo selectivos**

Se siembra una muestra del hongo en un medio de cultivo específico que promueva su crecimiento y desarrollo. El aspecto y las características del crecimiento en el medio pueden proporcionar información sobre la especie de hongo presente.

- **Pruebas bioquímicas y metabólicas:**

Se realizan pruebas para determinar la capacidad del hongo para metabolizar ciertos compuestos o nutrientes. Estas pruebas pueden incluir la utilización de diferentes fuentes de carbono, pruebas enzimáticas específicas o pruebas de producción de pigmentos. Como lo menciona Martí Solé y Constans Aubert, (1998). Las pruebas bioquímicas incluyen la asimilación y fermentación de azúcares y la asimilación de nitrato; en nuestra época, ya existen test comerciales que facilitan este trabajo.

- **Espectrometría de masas MALDI-TOF**

La identificación de hongos filamentosos presenta desafíos aún debido a la variabilidad de espectros dependiendo la especie que se busca caracterizar, pero es una tecnología bien encaminada; pues a momento, la espectrometría de masas MALDI-TOF ya es una herramienta de uso común en la Microbiología Clínica debido a su velocidad y precisión en la identificación de microorganismos.

- **Análisis de secuencias de ADN**

Se extrae el ADN del hongo y se realiza la ampliación y secuenciación de regiones específicas del genoma. Estas ampliaciones se pueden analizar posteriormente para identificar patrones genéticos característicos y realizar una comparación de estas secuencias con bases de datos genéticas puede ayudar a identificar la especie del hongo.

- **Pruebas de serología**

Se emplean anticuerpos específicos para detectar proteínas o antígenos característicos de ciertas especies de hongos.

## **2.2.2 Aprovechamiento de Residuos**

### **2.2.2.1 Residuos lignocelulósicos**

Al hablar de residuos lignocelulósicos se trata de materia orgánica que se genera como subproducto de las cosechas o procesos generalmente provenientes de las industrias agrícolas, estos en breves rasgos están compuestos de lignina, celulosa y hemicelulosa (Bardales Vásquez et al., 2020). La lignina es una sustancia conocida como un hetero polímero fenólico que se encuentra en la pared celular de los tejidos de la mayoría de las plantas (Maceda et al., 2021). Por otro lado, la celulosa es un polisacárido que está compuesto por una serie de moléculas de glucosa y en conjunto con la lignina comprenden la mayor parte de la biomasa terrestre. La hemicelulosa representa aproximadamente el 30% de la biomasa total de la lignocelulosa (Kim et al., 2018), la diferencia con la celulosa es que la hemicelulosa

posee en su estructura una variedad de azúcares como la D-xilosa, la D-manosa, la D-glucosa, entre otros., al igual que la lignina y la celulosa, está se encuentra en la pared celular vegetal (Silva et al., 2013).

#### **2.2.2.2 Formulación de Sustratos**

Los sustratos a utilizar en cada región dependen totalmente de la disponibilidad de los subproductos de la agricultura y la agroindustria, pues estos son residuos ricos en lignina, celulosa y hemicelulosa (Bermúdez Savón et al., 2014). En la provincia de Azuay, Ecuador, el rastrojo de maíz está disponible en grandes cantidades, estos residuos contienen 37.4% de celulosa y 18% de lignina (Hisour, 2018), además de otros componentes que lo hacen un sustrato adecuado para la nutrición y crecimiento de hongos.

Por lo general, al sustrato base se le agregan aditamentos nutricionales, por ejemplo, harinas de granos ricos en nitrógeno como la harina de trigo o de maíz, también vitaminas y fuentes de carbono adicionales; además, para controlar el pH se suele agregar carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (Bidegain, 2017).

Los sustratos se relacionan directamente con la producción del hongo, para averiguar su efectividad se suelen utilizar indicadores como la eficiencia biológica, el rendimiento y el porcentaje de biodegradación de los residuos utilizados (Ramos Sevilla, 2017).

### **2.2.3 Biomateriales**

#### **2.2.3.1 Caracterización de los biomateriales**

Los biomateriales se definen como cualquier material ya sea sintético o natural que puede realizar o sustituir una función natural de una estructura viva. Los biomateriales se pueden subdividir de acuerdo con el material en él se encuentran basados, estos son poliméricos, cerámicos, metálicos y compuestos (Atria, 2021). De momento, existen análisis de la resistencia mecánica que ofrecen estos biomateriales en contraposición con los materiales comúnmente utilizados en la construcción, con el objetivo de conocer si sus

propiedades son iguales o mejores que los productos comunes y se llevan a cabo diversos tipos de pruebas como ensayos mecánicos de compresión, tracción, pruebas de combustión, densidad, absorbanza de agua, ensayos de dureza y de resistencia al impacto (Elsacker et al., 2019; Houette et al., 2022).

Existe una gran variedad de pruebas físicas que permiten conocer las propiedades de los biomateriales, estas pruebas se llevan a cabo siguiendo normas preestablecidas dependiendo el tipo de material. Para conocer las características de un biomaterial se pueden realizar ensayos de densidad, absorción de agua, resistencia a la combustión, ensayos de compresión, dureza, tensión, resistencia, entre otras (Ocegueda Vega, 2021). Los ensayos mecánicos de compresión se realizan para determinar las propiedades de un material que se encuentra bajo una carga de presión que va aumentando, en estos ensayos existen varios factores que permiten determinar límites que presenta el material, como inicio de grieta, presencia de deformaciones, rotura, alcance de la fuerza máxima, entre otros. La prueba se lleva a cabo con una máquina y un software que permiten llevar el control del comportamiento del material a analizar (Ibertest, 2023). Se llevan a cabo ensayos de dureza para determinar la resistencia de un material a ser penetrado por un agente externo, existen tres variedades de estos ensayos: el ensayo de dureza Brinell donde el agente penetrante es una bola de acero, el ensayo de dureza Vickers donde el penetrante es una pirámide de diamante y el ensayo de dureza Rockwell que utiliza una máquina que determinar la profundidad de penetración sobre una superficie (Infinitia, 2020). Las pruebas de resistencia a la tracción permiten evaluar la propiedad de ciertos materiales de resistencia y su capacidad al alargamiento, se realizan comúnmente en una máquina de ensayo universal (Metalinspec, 2022).

### **2.2.3.2 Aplicación de los Biomateriales**

Una de las aplicaciones más importantes de los micelios de hongos es la fabricación de biomateriales (Susel et al., 2021), para su elaboración se han estudiado factores como la



técnica de elaboración: sin prensado, prensado en frío, prensado en calor (Appels et al., 2019) y la especie de hongo utilizado para formar materiales aislantes. Además, se han comparado las propiedades mecánicas del micelio con otros materiales tradicionales como la madera, cerámica, metales y polímeros (Xing et al., 2018). Por otra parte, la influencia del sustrato ha sido un tema de consideración solo para la fructificación de hongos (Díaz Muñoz et al., 2019). Tenemos como ejemplo la bio espuma de aislamiento en la construcción de edificios e infraestructuras (Susel et al., 2021), placas a base de micelio con capacidad de absorción acústica, embalaje ecológico y paneles aislantes (Albir, 2021), La industria textil también ha encontrado usos pues por medio de la pared celular fúngica, generan materia prima para la producción de textiles (Cerimi et al., 2019). Para una producción con características óptimas es necesario realizar una elección correcta de la especie de hongo que se va a utilizar, algunas características que resaltan son, la tasa de crecimiento, la densidad del micelio, nocividad, estructura del micelio, entre otras. Existen dos especies de hongos que resaltan, puesto que sus propiedades cumplen con los requisitos para un material deseable, estas son *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* (Alemu et al., 2022), basidiomicetos que degradan la lignocelulosa (Tacer-Caba et al., 2020; Xing et al., 2018).

En definitiva, la aplicación de la biotecnología y demás ciencias relacionadas han brindado el conocimiento necesario para el desarrollo de materiales que en lugar de la necesidad de extraer materias primas que generarán desechos en el futuro, se pueden cultivar materiales biológicos a partir de residuos agrícolas de origen vegetal (Elsacker et al., 2019). Pero, es importante recalcar que a pesar de existir un sin número de investigaciones al respecto, constantemente se estudian los factores que pueden influir en la efectividad del biomaterial y su posible uso posterior (Attias et al., 2020), factores como la especie de hongo utilizada y el sustrato con el que se forma la masa filamentosa que brindara las características mecánicas al compuesto.

### 2.2.3.3 Micomateriales

Debido a la creciente industrialización y al aumento de actividades antropogénicas como la agropecuaria, que genera gran cantidad de residuos lignocelulósicos que terminan contaminando suelos y aguas, se ha generado un aumento en la contaminación del planeta y por ende efectos negativos como el cambio climático, como consecuencia nos hemos visto con el deber de desarrollar productos biodegradables (Sangmesh et al., 2023) que disminuyan el impacto sobre nuestros ecosistemas (Aristizábal Gutiérrez, 2022). El producto que ha generado un gran impacto alrededor de los investigadores de todo el mundo, son los biomateriales o también conocidos como “Micomateriales”, que en esencia se trata de un material fabricado con biomoléculas con una materia prima vegetal (Girometta et al., 2019) como es el caso de los micelios de hongos mezclados con un sustrato nutritivo de desechos vegetales, que debido a su compuesto lignocelulósico va a permitir el correcto crecimiento del hongo (Feijóo-Vivas et al., 2021).

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

- **Biodegradabilidad:** Es la capacidad de un material de reincorporarse a la naturaleza en menor tiempo que los materiales convencionales. Se buscan nuevos materiales con esta capacidad para disminuir el impacto ambiental (Ruiz et al., 2013).
- **Biomaterial:** También llamados materiales biológicos, son materiales derivados directamente de la naturaleza como el micelio, el cáñamo, la paja y el corcho, utilizados en la industria de la arquitectura y el diseño por su potencial en aplicaciones estructurales (Montjoy Valeria, 2022).
- **Dureza Mecánica:** Es la resistencia que presenta el material analizado al ser penetrado o rayado por la acción de una fuerza aplicada (Metalinspec, 2019).
- **Inoculación:** Inocular es introducir artificialmente una muestra o una porción de esta en un medio o sustrato adecuado para generar un cultivo con las condiciones que permitan su desarrollo y multiplicación (Santambrosio, 2009).

- **Probeta de Ensayos Mecánicos:** La probeta es una pieza de dimensiones preestablecidas, utilizada en ensayos mecánicos para conocer las propiedades mecánicas de dichos materiales (Neetesucuela, 2019).
- **Micotectura:** La micotectura es una clase de arquitectura vegetal, basada en el uso de biomateriales de construcción fabricados a partir del micelio de hongos y sustratos de materia orgánica. Algunos ejemplos de estos productos son espumas biodegradables, paneles aislantes, materiales resistentes al fuego, etc. (Lituma, 2023). Estos biomateriales son una gran alternativa para reducir el impacto ambiental, puesto que estos son renovables, biodegradables y generalmente el sustrato en el que se forman es desarrollado a partir de residuos agrícolas (Montecinos Narea, 2022).
- **Rastrojo de Maíz:** Se conoce como rastrojo de maíz a los residuos formados por tallos, hojas, cáscaras y mazorcas que resultan de la cosecha del maíz (Angamarca Yaguana & Delgado Valladares, 2022).
- **Sustrato Biológico:** El sustrato es el medio que proporciona alimento al hongo, brindando los nutrientes y condiciones necesarias para que este pueda continuar con su crecimiento y ciclo de vida. Puede ser elaborado a partir de diversas clases de materia orgánica, y su elección es de suma importancia para que el hongo logre colonizar el medio y continuar creciendo (Cóndor Fierro & Quezada Zambrano, 2019).

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 DISEÑO DE ESTUDIO**

La presente investigación presenta un diseño experimental de nivel explicativo, pues realiza el estudio de un fenómeno estableciendo de manera objetiva sus causas, en nuestro caso, se busca explicar la influencia de la variable "tipo de micelio del hongo" sobre las características mecánicas de los biomateriales, recopilando datos numéricos, debido a esto también podemos afirmar que nuestra investigación tiene un carácter cuantitativo. Estos datos serán recolectados una vez las probetas de micelio se hayan moldeado y horneado, por ello este es un estudio retrospectivo y transversal pues se realizará una sola medición de las tres características mecánicas de cada probeta elaborada.

Finalmente, este estudio posee un carácter analítico/comparativo, ya que se llevará a cabo un análisis de dos grupos de hongos, comparándolos en función de las características presentes en los bloques de micelio.

#### **3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Se utilizó un diseño experimental, pues es un diseño de investigación que nos permitió evaluar de manera directa, el efecto de la manipulación de una variable independiente (cepa del hongo) sobre la variable dependiente (características mecánicas), y así poder comparar los resultados; hablando en otros términos, estamos generando una causa y un efecto pues el proyecto proporcionará datos sobre las características mecánicas obtenidas dependiendo de la cepa de hongo que utilizemos, tomando en cuenta siempre que nosotros como investigadores intervenimos en este proceso.

Existen varias categorías de investigaciones experimentales, entre las más importantes podemos citar las preexperimentales, las cuasiexperimentales y los experimentales puros. En nuestro caso, consideramos que nuestro diseño de investigación corresponde a un experimental puro ya que es un diseño prospectivo, que se basa en el análisis estadístico para probar o refutar la hipótesis propuesta y existe una asignación de forma aleatorizada de los

grupos que se compararon, garantizando así, que los resultados son producto de nuestra variable independiente y no de otras variables intervinientes que se deberán controlar en pro de la investigación y de otras investigaciones que deseen extender o replicar nuestros resultados. Además, se debe aclarar que, este diseño de investigación se compagina con el diseño completamente al azar.

### **3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Para este trabajo se procedió a generar un experimento con un diseño completamente al azar (DCA) conformado por un tratamiento de entrada correspondiente a la cepa de hongo, que cuenta con dos niveles, además se realizaron cinco repeticiones. Nuestra variable independiente (de entrada) es la cepa del hongo: al hongo *Pleurotus ostreatus* lo consideraremos como "A" y al hongo *Ganoderma lucidum* como "B". Las variables dependientes (de salida) son las pruebas mecánicas de donde se obtuvieron los datos para un análisis estadístico, estas son: Comprensión, que se conoce como "P1", Dureza que se conoce como "P2" y finalmente Tracción que se llamó "P3".

La unidad experimental es el bloque bio fabricado en función al molde que se estableció en la ejecución. Este se sometió a las tres pruebas mecánicas, y para ello se cortó el bloque en probetas de diferentes dimensiones. En total se obtuvieron 10 bloques, con los que se recolectó 30 datos de salida que nos permitió realizar las pruebas estadísticas. La *Figura 1* resume y sintetiza el diseño experimental establecido.

#### **Figura 1**

*Diseño experimental completamente al azar (DCA) utilizado en este proyecto*

		A=Pleurotus ostreatus	VS1= Dureza				
		B= Ganoderma lucidum	VS2= Tracción				
			VS3= Compresión				
		ENTRADA	Replicas	Bloques	SALIDA		
Corridas	Cepa de Hongo	Pruebas Mecánicas					
					VS1	VS2	VS3
1	A		1	1	a1	a2	a3
2	A		2	1	b1	b2	b3
3	A		3	1	c1	c2	c3
4	A		4	1	d1	d2	d3
5	A		5	1	e1	e2	e3
6	B		1	1	f1	f2	f3
7	B		2	1	g1	g2	g3
8	B		3	1	h1	h2	h3
9	B		4	1	i1	i2	i3
10	B		5	1	j1	j2	j3

(Fuente: Autor, 2023)

### 3.4 INSTRUMENTOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Se ha realizado una investigación documental y de campo. Nuestra investigación documental utiliza la técnica de análisis documental fundamentado en el uso de bases de datos cedidos por la Universidad, entre ellos SCOPUS y Springer, y otros repositorios digitales de carácter público como Google académico y Scielo, para establecer los sustratos, los métodos de cultivo y las técnicas de identificación de hongos lignocelulósicos y la elaboración de biomateriales a partir de ellos; los instrumentos principales fueron nuestras computadoras para obtener, registrar y almacenar esta información; además, se realizó un análisis de contenido clasificando la información mediante el gestor bibliográfico Zotero.

Con respecto a la investigación de campo, la técnica utilizada es la observación directa, que se implementará de dos maneras: la observación estructurada, en donde se utilizarán protocolos de laboratorio explicados en el *capítulo III (Metodología)*, un cronograma expuesto en los anexos (*Tabla 17*) y una tabla para levantar datos (*Tabla 18*). La observación no estructurada, se realizó con nuestras cámaras para registrar fotografías, videos y evidencias que se encuentran en el apartado de anexos. La observación indirecta también

está presente puesto que se hizo uso de instrumentos sofisticados como el microscopio (Figura 2 y 3).

### 3.5 ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento de datos se realizó una tabulación de los datos levantados del experimento, clasificamos y organizamos dichos datos mediante el uso de software especializado, entre estos, Microsoft Excel y RStudio.

Una vez obtenidos los datos estadísticos, se procedió a manejarlos con el software RStudio. Primero se verificó si existe una normalidad en los datos obtenidos mediante la prueba de SHAPIRO-WILK pues tenemos menos de 50 datos. Al verificar el supuesto, se procedió a analizar los datos mediante el método ANOVA con el fin de establecer si existe similitud o diferencia entre las características de las probetas de micelio elaboradas, con respecto al uso de una cepa de hongo u otra. Además, se realizó una comparación de varianzas para establecer si las varianzas de cada grupo de datos tratado eran iguales.

### 3.6 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales, equipos y reactivos utilizados en este proyecto se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 4**

*Materiales, equipos y reactivos*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Mecheros Bunsen	Estufa	Azul de lactofenol
Placas Petri	Microscopio	Alcohol 70%
Agar PDA	Cámara de flujo laminar	Cloro
Trigo	Autoclave	Agua destilada
Micelio master de <i>Pleurotus ostreatus</i>	Trituradora	

Micelio master de <i>Ganoderma lucidum</i>	Incubadora
Vasos de precipitación	Balanza
Rastrojo de maíz	Horno
Pinzas quirúrgicas	Máquina para compresión y tracción
Porta y cubreobjetos	Máquina para dureza
Bolsas de polipropileno	
Molde de madera	
Bisturí quirúrgico	

---

**Fuente:** (Autor, 2023)

### 3.7 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 3.7.1 *Obtención de los Hongos*

Los hongos con los que se realizó la investigación experimental corresponden a las especies *Ganoderma lucidum* (Figura 4) y *Pleurotus ostreatus* (Figura 5), estos se obtuvieron de la empresa Inti Wasi ubicada en Quito, quienes entregan el hongo purificado en un micelio master. Con el fin de conservar las cepas de los hongos y hacerlas crecer en igualdad de condiciones, estas se reprodujeron en el laboratorio.

**Cultivo y reproducción de la cepa:** Una vez obtenido el hongo en el micelio master se siguió el protocolo de Díaz Muñoz et al., (2019). Se colocó una muestra de cada hongo en placas Petri con medio Agar Papa Dextrosa (PDA) incubado durante 8 días a 28 °C. Se realizaron 5 cultivos en cajas Petri para cada hongo.



### 3.7.2 Identificación de los hongos

Para verificar que el microorganismo presente en el medio de cultivo corresponde netamente a los hongos *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus*, se los identificó mediante caracterización macroscópica y microscópica.

**Toma de la muestra para la identificación:** En la cámara de flujo laminar, colocamos una gota de azul de lactofenol en un portaobjetos. Abrimos una caja Petri con el hongo. Con la ayuda de una cinta adhesiva, tomamos la muestra y colocamos la cinta pegada en el portaobjetos. Frotamos la cinta para que el hongo se adhiera al portaobjetos con la tinción.

**Determinación de las características macroscópicas:** Se observaron las características macroscópicas de cada una de las cepas para determinar el color, apariencia, consistencia y forma de crecimiento del micelio.

**Determinación de las características microscópicas:** Se depositó la muestra sobre un portaobjetos con una gota de azul de lactofenol. De esta forma, la muestra está disponible para observar la morfología del hongo.

### 3.7.3 Preparación de los Sustratos

**Preparación de inóculo en sustrato intermedio:** se usaron bolsas de polipropileno en donde se colocaron 100g de trigo hidratado y esterilizado en autoclave, agregando dos fragmentos de 1 cm<sup>2</sup> de micelio reproducido en medio PDA para cada bolsa, se esperó que el micelio invada el sustrato intermedio en 18 días (*Figura 6*). Se realizó este proceso en 10 bolsas para cada hongo.

**Obtención de residuos para elaborar el Sustrato Definitivo:** Los residuos lignocelulósicos usados como sustratos fueron netamente rastrojo de maíz (*Zea mays*) obtenidos localmente en la Ciudad de Cuenca, Ecuador. Estos residuos pasaron por un proceso de secado exponiéndose al sol por un periodo de 7 días y triturado obteniendo fragmentos de 3 a 5 cm.

**Colonización del sustrato definitivo:** Siguiendo la metodología propuesta por Rodríguez (2018), se tomó 1 kg de sustrato definitivo, se procedió a hidratarlo, agregando 40% del peso total con agua y se esterilizó en autoclave (120°C por 15 minutos) se drenó hasta alcanzar una humedad cercana al 65%. Una vez el sustrato se encontraba tibio, en una relación 10:1 (sustrato-inóculo) se colocaron 200 g de cada sustrato en bolsas de polipropileno agregando 20 g de inóculo del hongo sellando las bolsas y llevando a incubar en oscuridad a 28 °C por 8 días.

#### **3.7.4 Preparación del molde**

**Diseño del molde:** Para el diseño del molde se tomó en cuenta las necesidades básicas de nuestro proyecto, la más importante, fue obtener bloques que nos permitieron realizar las pruebas disponibles en el laboratorio de mecánica y en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana: compresión, dureza y tracción.

**Dimensiones del bloque:** El bloque debía cumplir con las siguientes dimensiones: 90 mm de largo x 70 mm de ancho y 70 mm de alto. Estas especificaciones son de viales de policarbonato para cultivo de tejidos vegetales que fueron utilizadas previamente en el artículo de Xing et al., (2018) para la elaboración de ladrillos de micelio como aislantes, nosotros ocupamos dichas dimensiones para elaborar un bloque que podía cortarse y darle las formas necesarias para las tres pruebas diferentes.

**Dimensiones del molde:** Es así que el molde utilizado se fabricó en madera (plywood de 9mm) con las siguientes especificaciones: 310 mm de largo x 170 mm y 70 mm de alto, con estas medidas se podía crear un molde que permita contener 6 bloques a la vez con las dimensiones previamente descritas. Se generaron dos moldes, uno para cada hongo. Los moldes, además, tenían una tapa a la medida que permitía presionar el bloque en la parte superior y darle la forma correcta.

**Moldeado del biomaterial:** Una vez el hongo colonizó el sustrato final se colocó en el molde sellado con film plástico (*Figura 7*). En un área limpia dejamos nuestros moldes con el material micelial para que este crezca nuevamente por un periodo de 10 días.

**Horneado del biomaterial:** Desmoldamos el bloque y lo ingresamos en un horno a 170°C por 20 minutos para detener el crecimiento del hongo. Bajamos la temperatura a 100°C por 40 minutos. Abrimos la puerta del horno cada 20 minutos para permitir que la humedad salga. Con esta metodología conformamos nuestro biomaterial y procedimos a realizar los ensayos mecánicos.

### **3.7.5 Masa, volumen y densidad de los bloques de micelio**

Una vez obtenidos los bloques de micelio, los pesamos en la balanza analítica en gramos y medimos su altura, ancho y fondo en centímetros, para así obtener la densidad de cada pieza con la siguiente formula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

En donde:

$\rho$  = Densidad

$m$  = Masa ( $g$ )

$v$  = Volumen ( $cm^3$ )

### **3.7.6 Pruebas de inflamabilidad y combustión de los bloques de micelio**

Para determinar inflamabilidad de los bloques de micelio fabricados, se sometió una muestra al fuego, en este caso lo producimos con una vela. La vela se colocó bajo la muestra de biomaterial para ser sometido a la llama y se observó si existe reacción. La prueba de combustión es más bien un análisis cualitativo, pues se observa lo que produce la llama con el biomaterial expuesto. Esta metodología la explica mejor el autor Gallegos Belisario (2022).

### **3.7.7 Ensayos mecánicos del biomaterial**

**Corte de probetas:** Cada bloque obtenido se cortó en dos formas diferentes con un estilete para obtener las probetas que se sometieron a las pruebas mecánicas. Las dimensiones requeridas para estas pruebas fueron:

- Probetas de 50 mm x 50 mm para la prueba de compresión y tracción.
- Para la prueba de Dureza se necesitan probetas de 4 mm de espesor.

Como se mencionó previamente, de cada bloque se obtuvieron las probetas para las siguientes pruebas:

**Ensayo de compresión y tracción:** Esta prueba se realizó con una máquina universal que permite medir la resistencia a la compresión y a la tracción que presenta un objeto o material, mediante un software de control. Se llevó a cabo para caracterizar el comportamiento de un material bajo carga de compresión. Durante la prueba, se aplicaron cargas elevadas (expresadas en MPa) sobre la muestra en forma de cubo utilizando los platos de compresión. Durante dicho procedimiento, se determinaron diversas características del material y se representaron gráficamente en un diagrama que muestra la relación entre la deformación y el esfuerzo.

Primeramente, se acomodó la probeta anteriormente cortada en el soporte, luego, se calibró la máquina y el software, especificando que la fuerza debe aplicarse para desplazar la probeta el 10% de su altura total por cada minuto. Finalmente, se obtuvieron los datos de compresión y una gráfica que expone la fuerza aplicada por los mm de desplazamiento.

**Ensayo de Dureza mecánica:** Para realizar la prueba de dureza se utilizó un durómetro Rex Gauge que mide la dureza shore tipo A para materiales no metálicos y plásticos blandos. La dureza shore mide la resistencia del material que es expuesto a penetración por un objeto puntiagudo con forma conoidal.

Se colocó sobre una superficie recta la probeta previamente cortada y se utilizó el durómetro para hacer presión sobre la probeta, se esperó hasta que se estabilice la medida y se obtuvo la escala de dureza específica que presenta el material en *HA*.

### **3.7.8 Análisis de resultados**

Una vez obtenidos los datos necesarios, se ingresaron en un software llamado RStudio, programa que nos permitió recolectar los valores obtenidos, establecer una media y analizar las varianzas obtenidas mediante el método ANOVA, permitiéndonos conocer si el Hongo *Pleurotus ostreatus* posee cualidades mecánicas similares o diferentes al hongo *G. lucidum*.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA

Una vez obtenido los hongos de la empresa Inti Wasi se tomaron muestras y se cultivaron en un medio PDA durante 8 días a 28 °C. Observando las características macroscópicas de la colonia y tomando una muestra de cada uno de ellos se observaron al microscopio para la caracterización microscópica.

##### 4.1.1 *Ganoderma lucidum*

De la colonia de *G. lucidum* se observó lo siguiente: en la caja Petri obtuvimos un cultivo puro con micelio de color blanco (*Anexos: Figura 8*). Este micelio tenía un carácter algodonoso y muy espeso, en contraste con Salazar Loaiza (2014) quien obtuvo un crecimiento miceliar de color blanco pero que tendía a oscurecerse. Nuestro micelio se conservó perfectamente blanco por mucho tiempo y colonizó todo el sustrato. Probablemente el oscurecimiento que el autor describe se deba a que el hongo envejeció pues el medio no suplementó lo necesario para que se siguiera manteniendo óptimo.

Con respecto a las características microscópicas (*Anexos: Figura 9*) se observaron hifas esqueléticas largas de pared gruesa y con presencia de divisiones transversales, a esta estructura la conocemos como septos. Las hifas se mostraron muy entrelazadas formando micelio muy firme y en sus extremos presentó clamidosporas de forma ovalada, característica que comparte con los resultados obtenidos por Bidegain (2017).

Santafe & Zuluaga (2007) mencionan que las esporas observadas de este hongo presentan una forma elíptica, sin embargo, en nuestro caso hemos observado esporas casi redondas solo con un extremo un tanto truncado.

#### 4.1.2 *Pleurotus ostreatus*

Del cultivo de *P. Ostreatus* se ha podido observar las siguientes características: macroscópicamente se observa una colonia pura con micelio aéreo de color blanco con una textura que se asemeja al terciopelo: el crecimiento del micelio fue en un sentido periférico pero irregular en la mayoría de las cajas. (Véase anexos: *Figura 10*).

Contrastando con lo descrito por Melo Parra, C. G. (2021), el autor asegura que el micelio que obtuvo tenía un carácter vegetativo, pero sus conceptos de micelio probablemente estén errados pues en sus anexos presenta un micelio aéreo mayoritariamente.

Acosta-Urdapilleta, et al. (2016) por su parte observó una gran cantidad de micelio rastrero en su estudio, característica que también comparte nuestro cultivo, pues obtuvimos una capa muy fina pero sensible que tiende a adherirse a la parte interna del sustrato, pero no lo coloniza por completo. Esto se pudo comprobar al momento de pasar el micelio al sustrato lignocelulósico, pues se degradaba con facilidad.

Con respecto a las características microscópicas (*Figura 11*) lo más notorio fue el conjunto de hifas, caracterizadas por su entramado y su forma filamentosa que componen el micelio. Estas estructuras contaban con septos, pero en muy baja proporción, ramificaciones alargadas y basidiósporas características de los basidiomicetos.

Las esporas que se pueden observar son completamente hialinas, concordando con los autores Ríos-Ruiz y Ruíz-Rengifo (2006), quienes analizaron las estructuras microscópicas de un hongo del género *Pleurotus*.

## 4.2 MOLDEADO DE LO BLOQUES

Los micelios de hongo que crecieron en los medios se colocaron en bolsas de polipropileno junto con el sustrato intermedio de trigo por 18 días para obtener mayor cantidad de biomasa. Pasado este tiempo en nuevas bolsas de polipropileno se colocó el sustrato de rastrojo de maíz húmedo junto con el sustrato intermedio colonizado por cada hongo. Se selló

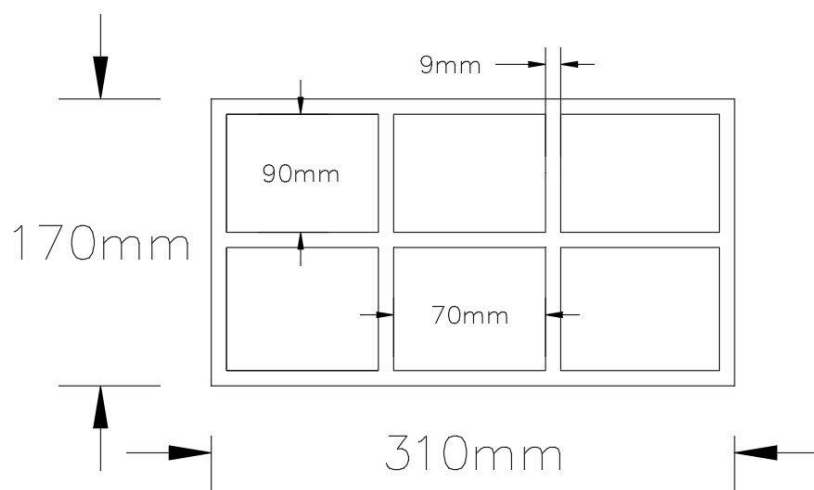
las bolsas y se incubaron en la estufa con las condiciones y métodos descritos en el capítulo anterior (3.7 metodología). En otras investigaciones el tamaño de las partículas se tamizó para tener un tamaño uniforme, en nuestro proyecto las partículas de rastrojo se lograron mediante una trituradora y estas tenían un tamaño entre 3 y 5 cm y no se consideró el tamizaje como un paso.

Mientras los hongos crecían en el sustrato final, se debía elaborar el molde utilizado para formar los bloques de micelio tanto de *G. lucidum* y *P. ostreatus*. Es así que se fabricaron los mismos en madera plywood de 9mm. El autor Pérez-Jiménez (2022) por su parte, descartó el uso de maderas como moldes (en su caso MDF) pues menciona que este material fue invadido por el micelio y en nuestro caso para evitar esta situación cubrimos el molde con film plástico, situación que funcionó perfectamente.

Puesto que los bloques estaban enfocados a realizar los ensayos de tracción, compresión y dureza, el molde se elaboró con las siguientes dimensiones: 310 mm de largo x 170 mm y 70 mm de alto (Figura 12 y Figura 13) (Véase más en anexos: Figura 14 y Figura 15).

**Figura 12**

*Plano 2D del diseño de moldes para los bloques*

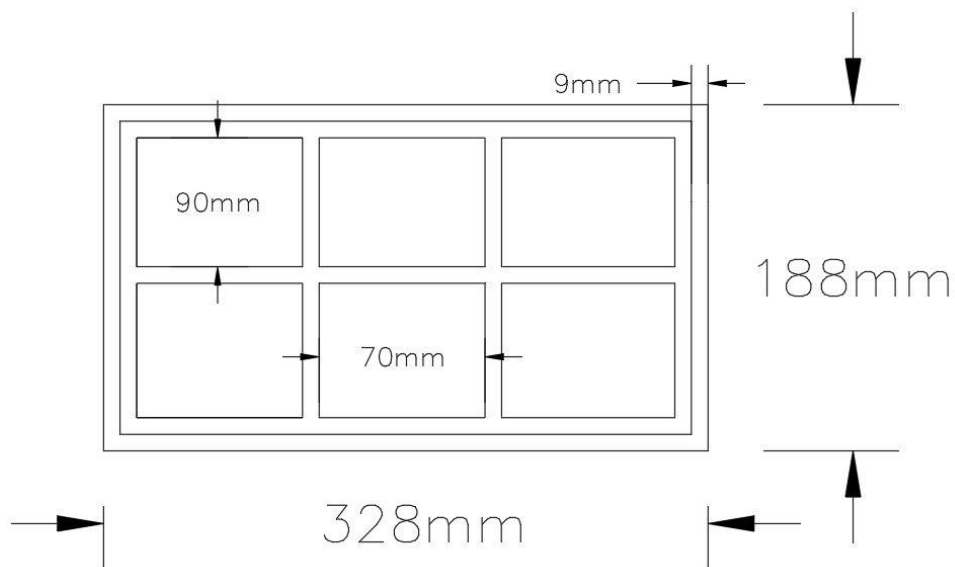




Fuente: (Autor: 2023)

**Figura 13**

*Plano 2D del diseño de la tapa de los moldes para los bloques*



Fuente: (Autor: 2023)

Los moldes estaban divididos 6 secciones en donde se colocaron por diez días el sustrato con los hongos para que los bloques de micelio tengan las siguientes dimensiones: 90 mm de largo, 70 mm de ancho y 70 mm de alto (véase anexos: *Figura 16*).

Otros autores en cambio, como Sinailín Alcocer y Titusunta Arias (2022), generaron probetas para realizar pruebas mecánicas de flexión o tensión, elaborando moldes largos con diferentes dimensiones.

Los bloques presentaron ciertas secciones más compactas que otras, a diferencia de Appels et al., (2019) quien obtuvo biomaterial rígido y con apariencia rugosa y firme. Nuestros hongos no crecieron de manera uniforme y colonizaron diferentes partes del sustrato, unas a mayor medida que otras provocando que los bloques necesiten ser manejados con cuidado (Véase anexos: *Figura 17*).

Finalmente, los bloques se colocaron en un horno a 170°C por 20 minutos para detener el crecimiento del hongo. Posterior a ello, bajamos la temperatura a 100°C por 40 minutos. Además, los bloques se dejaron secar por tres días a temperatura ambiente mientras se realizó el pedido del laboratorio de ingeniería civil.

Todo el proceso hasta obtener el biomaterial formado se sintetiza en la siguiente tabla:

**Tabla 5**

*Tiempo utilizado en el proceso para obtener las probetas del biomaterial*

<b>Proceso</b>	<b>Tiempo</b>
<b>Cultivo y reproducción de las cepas en PDA</b>	8 días
<b>Colonización del sustrato intermedio de trigo</b>	18 días
<b>Colonización del sustrato definitivo de rastrojo de maíz</b>	8 días
<b>Moldeado del biomaterial</b>	10 días

**Fuente:** (Autor: 2023)

### 4.3 PROBETAS OBTENIDAS

Una vez obtenidos los bloques explicados en el punto 4.2, se procedieron a cortar para dar forma a las probetas con un estilete, pero el corte no fue limpio pues el sustrato tiende a separarse mostrando un biomaterial un tanto frágil e inconsistente, este mismo aspecto es señalado por los autores Sinailín Alcocer y Titusunta Arias (2022), quienes no pudieron efectuar la prueba de resistencia a la flexión.

Para realizar las pruebas de dureza se necesitó de probetas con un espesor de 4 mm, las mismas se obtuvieron cortando las paredes de los bloques. Por otra parte, las probetas para compresión y tracción se cortaron con una medida de  $4.5 \pm 0.5$  y se las identificó con un código.

Al igual que en la investigación de Gallegos Belisario (2022), se recogieron datos con respecto a la densidad e inflamabilidad para conocer otras características adherentes de nuestro biomaterial antes de realizar las pruebas mecánicas, que, como se sabe, son pruebas destructivas.

#### 4.3.1 *Probetas de Ganoderma lucidum*

Primero se presentan las medidas de las probetas tomadas con ayuda de un flexómetro, junto a su masa tomada con la ayuda de una balanza analítica, el volumen y la densidad calculados con los datos obtenidos anteriormente, en este caso, del biomaterial elaborado con el hongo *Ganoderma lucidum*:

**Tabla 6**

<b>Código de probeta de Probeta</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Ancho</b>	<b>Fondo</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>G1</b>	4.8	4.6	4.5	54.36	99.36	0.54
<b>G2</b>	4.9	4.5	4.9	52.02	108.05	0.48
<b>G3</b>	5	4.1	4.5	49.08	92.25	0.53
<b>G4</b>	4.1	4.8	4.5	48.65	88.56	0.55

<b>G5</b>	4.9	4.7	4.7	53.50	108.24	0.49
-----------	-----	-----	-----	-------	--------	------

*Medidas de las probetas obtenidas para compresión y tracción de G. lucidum.*

(Fuente: Autor, 2023)

El biomaterial no pudo ser cortado de manera correcta con el estilete, y por ello no se pudieron obtener probetas con la misma medida, pero todas rondaron en una altura, ancho y fondo de  $4.5 \pm 0.5$  cm, así mismo, la masa obtenida y su volumen es similar. Podemos observar que el biomaterial tiene una densidad menor al agua y la misma se ha promediado en una densidad de  $0.52 \text{ g/cm}^3$ . A diferencia de Appels et al., (2019) quien en su investigación obtuvo materiales con densidad cercana a  $0.15 \text{ g/cm}^3$ , vale recalcar que en este caso se utilizó algodón y paja como sustratos.

#### **4.3.2 Probetas de *Pleurotus ostreatus***

Ahora se presentan las medidas de las probetas, junto a su masa, volumen y densidad del biomaterial elaborado con el hongo *Pleurotus ostreatus*:

**Tabla 7**

*Medidas de las probetas obtenidas de P. ostreatus*

<b>Número de Probeta</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Ancho</b>	<b>Fondo</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>P1</b>	4.4	4.5	4.4	53.71	87.12	0.62
<b>P2</b>	4.5	4.6	5	56.43	103.5	0.55
<b>P3</b>	4.9	4.3	4.7	54.98	99.03	0.56

<b>P4</b>	5	4.4	4.8	55.87	105.6	0.53
<b>P5</b>	4.4	4.3	4.6	54.02	87.03	0.62

**Fuente:** (Autor, 2023)

Al igual que en el caso de las probetas de *G. lucidum*, El biomaterial de *P. ostreatus* no pudo ser cortado de manera correcta con el estilete, y por ello no se pudieron obtener probetas con la misma medida, pero rondaron una altura, ancho y fondo de  $4.5 \pm 0.5$  cm, así mismo, la masa obtenida y su volumen es similar.

Podemos observar que el biomaterial tiene una densidad menor al agua y la misma se ha promediado en una densidad de  $0.576 \text{ g/cm}^3$ . A diferencia de Sinailín Alcocer y Titusunta Arias (2022) quienes en su investigación obtuvieron materiales de *Ganoderma lucidum* con una densidad de  $0.2 \text{ g/cm}^3$ . Esto podría ser producto del tiempo que se dejó colonizar al hongo, pues degrada mayor cantidad de lignocelulosa o de la eliminación del agua en el proceso de horneado.

#### **4.4 INFLAMABILIDAD Y COMBUSTIÓN DE LAS PROBETAS**

Una vez cortados los bloques, se obtuvieron probetas y algunas secciones sobrantes. Estas secciones se utilizaron para realizar las pruebas de inflamabilidad de los materiales formados por ambos hongos.

Tres muestras tomadas de los bloques de micelio de *G. lucidum* y 3 muestras de los bloques de micelio de *P. ostreatus* fueron sometidos a una llama de fuego y se pudo constatar que estos no se encienden y conservan su forma, pero se genera una coloración negra como se puede observar en los anexos (*Figura 18*). Se concluye que los biomateriales que se han obtenido no son inflamables, pero si combustionan por su contenido en materia orgánica.

A este mismo resultado llegó Gallegos Belisario (2022), quien colocó una muestra de biomaterial de micelio de hongo sobre una vela por dos minutos y notó que solo existe combustión del biomaterial, pero la forma se mantiene.

#### 4.5 DUREZA DE LAS PROBETAS

Una vez obtenidas las probetas cortadas del bloque de micelio se realizó la prueba de Dureza shore mediante un Durómetro Rex, herramienta ubicada en el laboratorio de Mecánica de la Universidad Politécnica salesiana (*Figura 19*). El biomaterial independientemente del hongo utilizado presentó diferentes rangos de dureza que se tomaron 3 puntos aleatorios, mostrando heterogeneidad y por ello se ha realizado un promedio. Se presentan a continuación los datos recogidos:

##### 4.5.1 Dureza de las probetas de *Ganoderma lucidum*

**Tabla 8**

*Dureza de las probetas de Ganoderma lucidum*

<b>Código de probeta</b>	<b>Dureza 1 (HA)</b>	<b>Dureza 2 (HA)</b>	<b>Dureza 3 (HA)</b>	<b>Promedio (HA)</b>
<b>G1</b>	10	21	24	18.33
<b>G2</b>	20	9	27	18.66
<b>G3</b>	26	9	19	18
<b>G4</b>	24	30	16	23.33
<b>G5</b>	17	33	11	20.33

**Fuente:** (Autor, 2023)

Las 5 probetas de *Ganoderma lucidum* tuvieron variedad en sus durezas, se puede decir que esto sucede por el hecho de que el hongo no colonizó el sustrato de manera uniforme. Para verificar si existe normalidad en estos datos se procedió a utilizar el software RStudio.

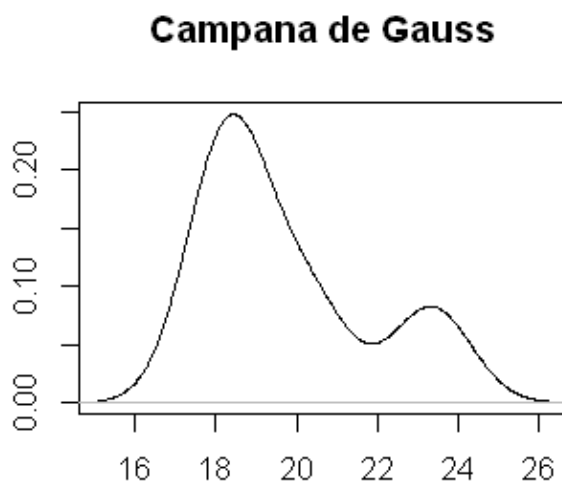
Según el test de normalidad de Shapiro-Wilk, en donde, una vez establecido nuestro valor de  $\alpha=0.05$  y nuestra hipótesis nula  $h_0 =$  existe normalidad se ha obtenido la siguiente resolución:

**data: GL1**

**W = 0.83442, p-value = 0.1501**

**Figura 20**

*Campana de gauss de dureza de probetas de G. lucidum*



**(Fuente:** Autor, 2023)

Nuestro valor-p es 0.1501. El valor-p es mayor a Alpha y por ello se acepta  $h_0$ . Existe Normalidad en los datos obtenidos y se podrá trabajar con pruebas paramétricas. Además, se puede observar dicha normalidad en la gráfica.

#### 4.5.2 Dureza de las probetas de *Pleurotus ostreatus*

Como se puede observar en la *Tabla 11*, el biomaterial presentó diferentes rangos de dureza en los 3 puntos aleatorios de donde se tomaron los datos, mostrando heterogeneidad y por ello se ha realizado un promedio al igual que las probetas del *G. lucidum*.

**Tabla 9**

*Dureza de las probetas de Pleurotus ostreatus*

<b>Código de probeta</b>	<b>Dureza 1 (HA)</b>	<b>Dureza 2 (HA)</b>	<b>Dureza 3 (HA)</b>	<b>Promedio (HA)</b>
<b>P1</b>	32	14	19	21.66
<b>P2</b>	13	25	26	21.33
<b>P3</b>	29	20	23	24
<b>P4</b>	14	14	34	20.66
<b>P5</b>	22	12	31	21.66

**Fuente:** (Autor, 2023)

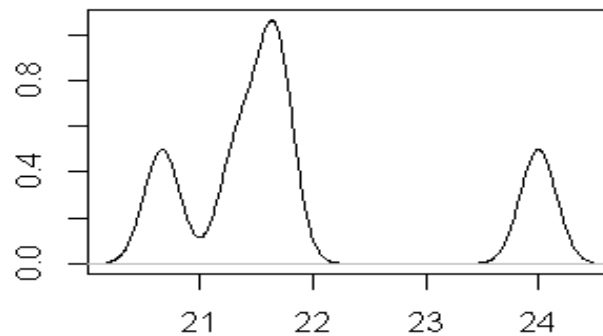
De la misma forma, estas 5 probetas de *P. ostreatus* tuvieron variedad en sus durezas, y por ellos fue necesarios verificar si existe normalidad en estos datos. Se procedió a utilizar el software RStudio.

**Figura 21**

*Campana de gauss de dureza de probetas de P. ostreatus*



### Campana de Gauss



**Fuente:** (Autor, 2023)

Según el test de normalidad de Shapiro-Wilk realizado en el software RStudio, en donde, una vez establecido nuestro valor de  $\alpha=0.05$  y nuestra hipótesis nula  $h_0 =$  existe normalidad se ha obtenido la siguiente resolución:

**data: PO1**

**W = 0.82876, p-value = 0.1362**

Nuestro valor-p es 0.1362. El valor-p es mayor a Alpha y por ello se acepta  $h_0$ . Existe Normalidad en los datos obtenidos y se podrá trabajar con pruebas paramétricas.

#### 4.6 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LAS PROBETAS

Las probetas del biomaterial se colocaron en la maquina universal, ubicada en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad Politécnica Salesiana. Para esta herramienta fue necesario la ayuda de un docente que nos ayudó a interpretar los resultados arrojados.

A diferencia de nuestro trabajo, Antinori et al., (2020) no obtuvo resultados reproducibles al realizar la prueba de tracción, esto puede ser debido al sustrato que utilizaron ya que no proporcionaba una superficie homogénea para el contacto con la fuerza que generaba la máquina universal sobre su probeta.

Por otra parte, Appels et al., (2019) en sus resultados no encontró diferencias estadísticas al utilizar el hongo *P. ostreatus* y *T. multicolor* en las pruebas mecánicas de tracción y elasticidad.

#### 4.6.1 Resistencia a la Tracción de *Ganoderma lucidum*

En nuestro caso, se estableció analizar la tracción utilizada para deformar el 50% de la probeta de *G. lucidum* y esta arrojó los siguientes datos:

**Tabla 10**

Cálculo de tracción de *Ganoderma lucidum*

Código de probeta	Fuerza (N)	50 % de Altura de la probeta (mm)	Ancho de la probeta (mm)	Área de la probeta (mm)	Tracción (N/mm <sup>2</sup> )
G1	156.2945	24	46	1104	0.1416
G2	24.50076	24.5	45	1102.5	0.0222
G3	179.7454	25	41	1025	0.1754
G4	50.50076	20.5	48	984	0.0513
G5	167.9007	24.5	47	1151.5	0.1458

**Fuente:** (Autor, 2023)

Según el test de normalidad de Shapiro-Wilk realizado en el software RStudio, en donde, una vez establecido nuestro valor de  $\alpha=0.05$  y nuestra hipótesis nula  $h_0 =$  existe

normalidad; comprobamos si los datos de tracción tienen una distribución normal y se ha obtenido la siguiente resolución:

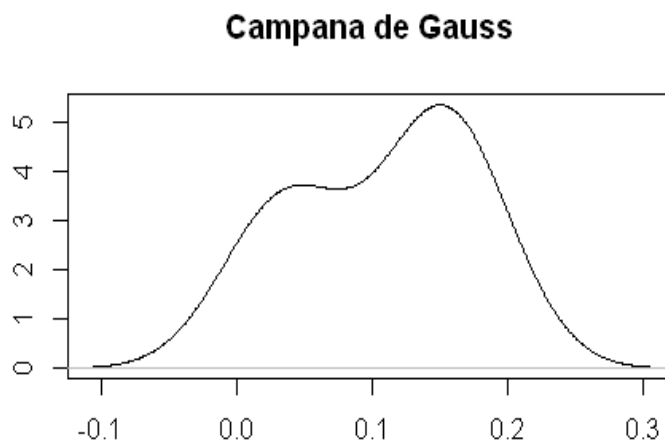
**data: Gt**

**W = 0.87884, p-value = 0.3041**

Nuestro valor-p es 0.3041. El valor-p es mayor a Alpha y por ello se acepta  $H_0$ . Existe Normalidad en los datos obtenidos y se podrá trabajar con pruebas paramétricas. La campana de gauss también demuestra una distribución normal de datos.

**Figura 22**

*Campana de gauss de los datos obtenidos de tracción de G. lucidum*



(Fuente: Autor, 2023)

#### **4.6.2 Resistencia a la Tracción de *Pleurotus ostreatus***

El mismo proceso se realizó con el hongo *Pleurotus ostreatus*. Se estableció analizar la tracción utilizada para deformar el 50% de la probeta y esta arrojó los siguientes datos:

**Tabla 11**

*Cálculo de tracción de *Pleurotus ostreatus**

Código de probeta	Fuerza (N)	50% de Altura de la probeta (mm)	Ancho de la probeta (mm)	Área de la probeta (mm)	Tracción (N/mm <sup>2</sup> )
P1	416.1771	22	45	990	0.4204
P2	163.6918	22.5	46	1035	0.01581
P3	647.8119	24.5	43	1053.5	0.1754
P4	268.0588	25	44	1100	0.6149
P5	419.1771	22	45	990	0.4234

(Fuente: Autor, 2023)

Según el test de normalidad de Shapiro-Wilk realizado en el software RStudio, en donde, una vez establecido nuestro valor de  $\alpha=0.05$  y nuestra hipótesis nula  $h_0 =$  existe normalidad; comprobamos si los datos de tracción tienen una distribución normal y se ha obtenido la siguiente resolución:

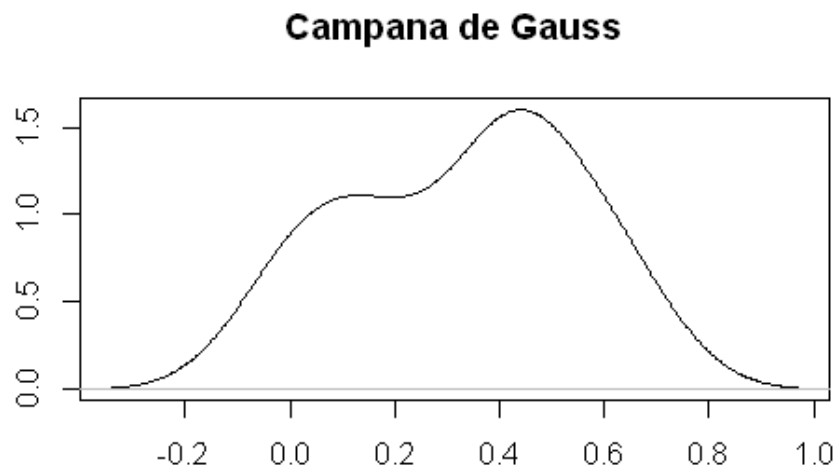
**data: Pt2**

**W = 0.95068, p-value = 0.7421**

Nuestro valor-p es 0.7421. El valor-p es mayor a Alpha y por ello se acepta  $h_0$ . Existe Normalidad en los datos obtenidos y se podrá trabajar con pruebas paramétricas. La campana de gauss también demuestra una distribución normal de datos.

### Figura 23

*Campana de Gauss de los datos obtenidos de tracción de P. ostreatus*



**Fuente:** (Autor, 2023)

#### **4.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Al igual que las pruebas de tracción, la prueba de compresión se realizó en la máquina universal (*Figura 24*). Esta herramienta nos permitió conocer la fuerza utilizada para comprimir el 50% de las probetas.

Sinailín Alcocer y Titusunta Arias (2022), encontraron que *P. ostreatus* y *G. lucidum* presentaba una considerable resistencia a la compresión en comparación con la resistencia que presenta el poliestireno expandido (70-110 N), esta comparación se realizó de su parte pues buscaban remplazar este material. Por nuestra parte, los resultados obtenidos se presentan a continuación:

##### **4.7.1 Resistencia a la Compresión de *Ganoderma lucidum***

Las probetas del biomaterial se colocaron en la maquina universal, y esta arrojó los siguientes datos:

**Tabla 12**

*Datos de compresión de *Ganoderma lucidum**

<b>Código de probeta</b>	<b>50% de la altura de la probeta (mm)</b>	<b>Tiempo comprimir el 50% (s)</b>	<b>en Fuerza utilizada para comprimir el 50% (N)</b>
<b>G1</b>	24	288.01	156.2945
<b>G2</b>	24.5	237.7351	24.50076
<b>G3</b>	25	300.01	179.7454
<b>G4</b>	20.5	136.954	50.50076
<b>G5</b>	24.5	294.01	167.9007

**Fuente:** (Autor, 2023)

El valor mayor obtenido fue 167 N, podemos afirmar que nuestro biomaterial tiene una mejor resistencia a la compresión con respecto al poliestireno expandido (70-110 N) antes mencionado; pero, La fuerza utilizada tiene un intervalo amplio, y por esa misma razón fue necesario verificar la normalidad de los datos. Según el test de normalidad de Shapiro-Wilk realizado en el software RStudio, en donde, una vez establecido nuestro valor de  $\alpha=0.05$  y nuestra hipótesis nula  $h_0 =$  existe normalidad; comprobamos si los datos de nuestra fuerza utilizada para comprimir la probeta en un 50% tienen una distribución normal y se ha obtenido la siguiente resolución:

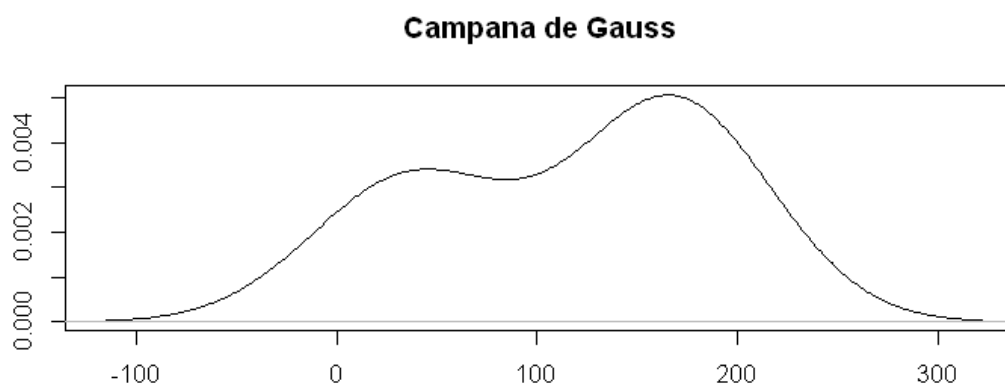
**data: GL1**

**W = 0.82198, p-value = 0.1209**

Nuestro valor-p es 0.1209. El valor-p es mayor a Alpha y por ello se acepta  $H_0$ . Existe Normalidad en los datos obtenidos y se podrá trabajar con pruebas paramétricas. La campana de gauss también demuestra una distribución normal de datos.

**Figura 25**

*Campana de Gauss de los datos obtenidos de compresión de G. lucidum*



(Fuente: Autor, 2023)

#### 4.7.2 Resistencia a la Compresión de *Pleurotus ostreatus*

Las probetas del biomaterial se colocaron en la maquina universal, y esta arrojó los siguientes datos:

**Tabla 13**

*Datos de compresión de Pleurotus ostreatus*

<b>Código de probeta</b>	<b>50% de la altura de la probeta (mm)</b>	<b>Tiempo comprimir el 50% (s)</b>	<b>en Fuerza utilizada para comprimir el 50% (N)</b>
<b>P1</b>	22	264.01	416.1771

<b>P2</b>	22.5	270.01	163.6918
<b>P3</b>	24.5	294	647.8119
<b>P4</b>	25	300.01	268.0588
<b>P5</b>	22	264.01	419.1771

(Fuente: Autor, 2023)

El valor mayor obtenido fue 647 N, podemos afirmar que nuestro biomaterial tiene una mejor resistencia a la compresión con respecto al poliestireno expandido (70-110 N) antes mencionado; pero, la fuerza utilizada tiene un intervalo amplio, y por esa misma razón fue necesario verificar la normalidad de los datos. Según el test de normalidad de Shapiro-Wilk realizado en el software RStudio, en donde, una vez establecido nuestro valor de  $\alpha=0.05$  y nuestra hipótesis nula  $h_0 =$  existe normalidad; comprobamos si los datos de nuestra fuerza utilizada para comprimir la probeta en un 50% tienen una distribución normal y se ha obtenido la siguiente resolución:

**data: PO1**

**W = 0.95648, p-value = 0.7833**

Nuestro valor-p es 0.7833. El valor-p es mayor a Alpha y por ello se acepta  $h_0$ . Existe Normalidad en los datos obtenidos y se podrá trabajar con pruebas paramétricas.

#### **4.8 COMPARACIÓN DE PROBETAS**

Las probetas obtenidas de cada hongo nos presentaron 30 valores, en donde 15 son de *G. lucidum* y 15 de *P. ostreatus*, de estos, cinco son de la prueba de dureza, cinco de tracción y cinco de compresión los cuales utilizamos para compararlos y saber cuál de estos biomateriales presenta mejores características. Para organizar y utilizar estos datos se utilizó



nuestro diseño experimental, el cual fue un Diseño completamente al azar (DCA) descrito en el capítulo III. En así que presentamos dichas comparaciones a continuación:

#### 4.8.1.1 Comparación de Dureza

Para realizar la comparación de dureza, se utilizó el software de RStudio y se realizó un análisis de varianzas (ANOVA), en donde las hipótesis fueron la siguientes:

- Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): Las cepas no presentan diferencia estadística. Su dureza es la misma.
- Hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>): Las cepas presentan diferencia estadística. Su dureza es diferente.

De este análisis se han obtenido los siguientes resultados:

**Tabla 14**

*ANOVA de dureza*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>DCA1\$VE</b>	1	11.36	11.364	3.524	0.0973
<b>Residuals</b>	8	25.80	3.225		

(Fuente: Autor, 2023)

El valor de significancia utilizado fue 0.05. Entonces podemos observar que el valor-p es mayor, por ello, aceptamos la hipótesis nula y podemos concluir que las cepas no presentan diferencias estadísticas, es decir, su resistencia a la compresión es la misma.

#### 4.8.1.2 Comparación de Tracción

Mediante el uso del software de RStudio se realizó un análisis de varianzas (ANOVA), en donde las hipótesis fueron la siguientes:

- Hipótesis nula (H0): Las cepas no presentan diferencia estadística. Su resistencia a la tracción es la misma.
- Hipótesis alternativa (Ha): Las cepas presentan diferencia estadística. Su resistencia a la tracción es diferente.

De este análisis se han obtenido los siguientes resultados:

**Tabla 15**

*ANOVA de la resistencia a la tracción entre G. lucidum y P. ostreatus.*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>DCA1\$VE</b>	1	0.1240	0.12401	4.162	0.0757
<b>Residuals</b>	8	0.2384	0.02979		

(Fuente: Autor, 2023)

El valor de significancia utilizado fue 0.05. Entonces podemos observar que el valor-p es mayor, por ello, aceptamos la hipótesis nula. Las cepas no presentan diferencias estadísticas, es decir, su resistencia a la tracción es la misma.

#### 4.8.1.3 Comparación de Resistencia a la Compresión

Mediante el uso del software de RStudio se realizó un análisis de varianzas (ANOVA), en donde las hipótesis son la siguientes:

- Hipótesis nula (H0): Las cepas no presentan diferencia estadística. Su resistencia a la compresión es la misma.
- Hipótesis alternativa (Ha): Las cepas presentan diferencia estadística. Su resistencia a la compresión es diferente.

De este análisis se han obtenido los siguientes resultados:

**Tabla 16**

*ANOVA de la resistencia a la compresión*

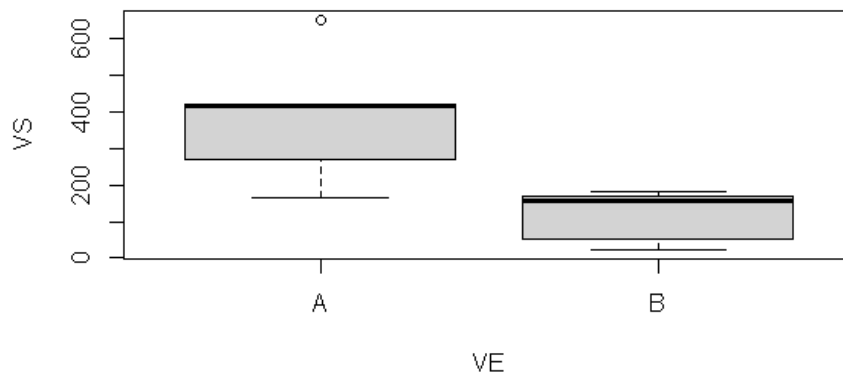
	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>DCA1\$VE</b>	1	177682	177682	9.19	0.0163 *
<b>Residuals</b>	8	154675	819334		

(Fuente: Autor, 2023)

El valor de significancia utilizado fue 0.05, y podemos observar que el valor-p es menor, por ello, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la alternativa. Las cepas si presentan diferencias estadísticas, es decir, su resistencia a la compresión es diferente.

**Figura 26**

*Comparación de cajas de ANOVA*



(Fuente: Autor, 2023)

Se puede observar además en el gráfico, que las cajas no traslapan, demostrando que los datos obtenidos por cada biomaterial no son iguales. Sinailín Alcocer y Titusunta Arias (2022), tras realizar su investigación determinaron que el hongo *Ganoderma lucidum* presenta mejores características en cuanto a resistencia a la tensión y compresión utilizando rastrojo de cebada y rastrojo de trigo, lo que supone que si existe diferencia entre los biomateriales producidos.

A continuación, realizamos la prueba de DUNCAN para analizar cuál de estos hongos tuvo mejores características para soportar la compresión, en donde “A” fueron los resultados de *P. ostreatus* y “B” fueron los resultados de *G. lucidum*.

**\$groups**

**DCA1\$VS groups**

**A 382.9833 a**

**B 115.7884 b**

Se puede observar que el test de DUNCAN arrojó 2 grupos: a y b, demostrando que existe diferencia entre los datos obtenidos. De estos, el grupo “a” perteneciente a los datos de *Pleurotus ostreatus*, presenta una mejor resistencia a la compresión.

De igual manera, Muhammad et al., (2017) concluyó que si existen diferencias entre la resistencia a la tracción entre *G. lucidum* y *P. ostreatus*, siendo los materiales fabricados a partir de *P. ostreatus* más rígidos que *G. lucidum*, siendo este el mismo resultado al que hemos llegado nosotros.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Las técnicas de caracterización microscópica y macroscópica permitieron identificar ciertas características similares que otros autores afirman con respecto a los hongos propuestos inicialmente: *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus*.

Las técnicas de caracterización utilizadas resultaron ser un recurso rápido y económico para la identificación de los hongos: *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus*. Pero esta técnica de caracterización no es definitiva, pues existen técnicas superiores hoy en día, como lo es la identificación genética mediante secuenciación del ADN.

La metodología que se llevó a cabo en el laboratorio para el cultivo y colonización de los hongos *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus*, generó un resultado satisfactorio que permitió el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

Los hongos con los que se realizó este proyecto, siguiendo la metodología propuesta y manteniéndolos bajo las mismas condiciones, crecieron de manera irregular en el medio de cultivo inicial, sin embargo, estos lograron colonizar el sustrato intermedio de trigo junto con el sustrato final de rastrojo de maíz según lo requerido en esta investigación.

Como se ha podido observar en el capítulo anterior, los datos obtenidos de cada una de las pruebas mecánicas realizadas (dureza, tracción y compresión) se han comportado de manera normal, esto se ha verificado mediante el Test de SHAPIRO-WILK en el software RStudio, permitiéndonos realizar un análisis de varianza (ANOVA) y, mediante este test, podemos concluir que los biomateriales fabricados a partir de micelio de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* no presentan diferencias significativas en propiedades como la dureza y la tracción.

Las cepas de los hongos presentaron diferencia estadística en la resistencia a la compresión, por lo que se realizó la prueba de rango múltiple (DUNCAN), gracias a esta prueba se logró concluir que *Pleurotus ostreatus* posee una mejor resistencia a la compresión que *Ganoderma lucidum*, es decir, se deberá seleccionar el hongo más conveniente en cada caso particular en el que se quiera aplicar este biomaterial.

El biomaterial fabricado en el presenta trabajo a partir de *P. Ostreatus* tiene una densidad de  $620 \text{ kg/m}^3$  y *G. Lucidum* una densidad de  $550 \text{ kg/m}^3$ , siendo estos valores mayores a la densidad mínima requerida de que debe poseer un material a base de EPS de 40 mm ( $15 \text{ kg/m}^3$ ) según la norma ASTM utilizada en nuestro país.

De igual manera, el biomaterial fabricado a partir de *P. Ostreatus* posee una resistencia a la compresión mínima de 7271.1 kPa y *G. Lucidum* una resistencia a la compresión mínima de 1000 kPa; considerando que estos valores son superiores a los mínimos requeridos según la norma ASTM (*Tabla 19*), esto nos permite concluir que los biomateriales desarrollados a partir del micelio de hongos *P. Ostreatus* y *G. Lucidum* pueden ser una alternativa para remplazar materiales petroquímicos como el poliestireno expandido.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una secuenciación a partir del ADN extraído de cada hongo que se va a utilizar, para de esta manera conocer con mayor seguridad las cepas de los hongos con los que se está trabajando.

Para un nuevo proyecto, se podría trabajar con una sola cepa para darle las mejores condiciones establecidas en trabajos previos, y comparar las propiedades de los biomateriales elaborados con diferentes sustratos lignocelulósicos.

Se recomienda reducir el tamaño de las partículas del sustrato y tamizarlas, para que estas sean más compactas y fáciles de colonizar por el hongo a utilizar.

Finalmente, es necesario duplicar los tiempos de inoculación del hongo en el sustrato y moldeado para obtener un biomaterial más compacto y con mayor colonización, lo que quizá permitiría obtener mejores resultados de resistencia exhibidos por los bloques de micelio.

### 5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta-Urdapilleta, Lourdes & Téllez-Téllez, Maura & Villegas, Elba & Estrada-Torres, Arturo & Diaz-Godínez, Gerardo. (2016). Characterization of five species of *Pleurotus* grown in four culture media Caracterización de cinco especies de *Pleurotus* crecidas en cuatro medios de cultivo SHORT COMMUNICATION. Mexican Journal of Biotechnology. 20161. 1-11.
2. Albir, A. (2021). *Análisis de materiales sostenibles ciclo de vida y su aplicación en la construcción*. 117. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/182421/Albir%20-%20Analisis%20de%20materiales%20sostenibles%20ciclo%20de%20vida%20y%20su%20aplicacion%20en%20construccion.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
3. Alemu, D., Tafesse, M., & Mondal, A. K. (2022). Mycelium-Based Composite: The Future Sustainable Biomaterial. *International Journal of Biomaterials*, 2022, e8401528. <https://doi.org/10.1155/2022/8401528>
4. Alheeti, A., Muslat, M., Ayyash, L., & Theer, R. (2020). Isolation, Identification and Organic Production of Mushrooms *Ganoderma lucidum* (Curt.:Fr) Karst (Reishi). *Indian Journal of Ecology*, 47, 231-235.
5. Angamarca Yaguana, Y. J., & Delgado Valladares, L. A. (2022). *Obtención de biopolímeros a partir de residuos de maíz (Zea mays L.) para la elaboración de films* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22542>
6. Angulo Zubieta, F. M., Mamani Sánchez, B., & Nova Pinedo, M. (2022). *CRECIMIENTO IN VITRO DE HONGO OSTRA (Pleurotus ostreatus) EN DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO*. 9. <http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v9n1/2409-1618-riiarn-9-01-10.pdf>.



7. Antinori, M. E., Ceseracciu, L., Mancini, G., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2020). Fine-Tuning of Physicochemical Properties and Growth Dynamics of Mycelium-Based Materials. *ACS Applied Bio Materials*, 3(2), 1044-1051. <https://doi.org/10.1021/acsabm.9b01031>
8. Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>
9. Aristizábal Gutiérrez, S. (2022). Desarrollo de un sustituto al poliestireno a partir de residuos agroindustriales colombianos y micelio de un hongo comercial. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5267>
10. Atria. (2021, diciembre 14). ¿Qué son los biomateriales? *ATRIA Innovation*. <https://www.atriainnovation.com/que-son-los-biomateriales/>
11. Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119037>
12. Bardales Vásquez, C. B., Cabos Sánchez, J. D., León Torres, C. A., Jara Huacacolqui, E. L., Bardales Vásquez, C. B., Cabos Sánchez, J. D., León Torres, C. A., & Jara Huacacolqui, E. L. (2020). Enriquecimiento proteico de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la Región La Libertad con la asociación mixta de *Trichoderma reesei*, *Chaetomium cellulolyticum* y *Candida utilis* para alimentación animal. *Arnaldoa*, 27(1), 99-114. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27104>
13. Bermúdez Savón, R. C., García Oduardo, N., Serrano Alberni, M., Rodríguez Castro, M. I., & Mustelie Valenzuela, I. (2014). Conversión de residuales agroindustriales en productos de valor agregado por fermentación en estado sólido. *Tecnología Química*, 34(3), 263-274.

14. Bidegain, M. A. (2017). *Optimización del cultivo de Ganoderma lucidum: Evaluación de actividad y desarrollo de nutraceuticos*. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3786>
15. Bidegain, M., Cubitto, M., & Curvetto, N. (2015). Optimization of the Yield of Lingzhi or Reishi Medicinal Mushroom, *Ganoderma lucidum* (Higher Basidiomycetes), Cultivated on a Sunflower Seed Hull Substrate Produced in Argentina: Effect of Olive Oil and Copper. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 17, 1095-1105. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v17.i11.100>
16. Bruscato, C., Malvessi, E., Brandalise, R. N., & Camassola, M. (2019). High performance of macrofungi in the production of mycelium-based biofoams using sawdust—Sustainable technology for waste reduction. *Journal of Cleaner Production*, 234, 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.150>
17. Cepero De García, M. C. (2012). *Biología de hongos*. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes.
18. Cerimi, K., Akkaya, K. C., Pohl, C., Schmidt, B., & Neubauer, P. (2019). Fungi as source for new bio-based materials: A patent review. *Fungal Biology and Biotechnology*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40694-019-0080-y>
19. Chan, X. Y., Saeidi, N., Javadian, A., Hebel, D. E., & Gupta, M. (2021). Mechanical properties of dense mycelium-bound composites under accelerated tropical weathering conditions. *Scientific Reports*, 11(1), 1-10.
20. Colmenares, E., Bautista, L., & Oliveros, C. (2018). Material ecológico con fines de embalaje a partir del hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos organicos agroindustriales. 30, 324-332.
21. Conde, S. I. (2021). *Biocompuestos de Micelio y sus posibles aplicaciones en la arquitectura*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50464>
22. Córdor Fierro, S. D., & Quezada Zambrano, R. F. (2019). Micotectura: Una alternativa orgánica al positivado escultórico utilizando residuos de hongos a partir de micelio de

setas grises [BachelorThesis, Quito: UCE].  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20741>

23. Dawidowicz, L., Jasińska, A., & Siwulski, M. (2017). The Effect of Selected Cultivation Factors on the Growth of Mycelium of *Pleurotus cystidiosus* Miller. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46, 156-160. <https://doi.org/10.15835/nbha46110959>
24. Díaz Muñoz, K., Casanova Guajardo, M., León Torres, C. A., Gil Ramírez, L. A., Bardales Vásquez, C. B., & Cabos Sánchez, J. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 26(3), 1177-1184. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26322>
25. Dominguez Arteaga, S. G., & Loo Zambrano, K. F. (2018). USO DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*), COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES, PARROQUIA BOYACÁ.89.<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/837/1/TTMA10.pdf>.
26. Ecovative. (2020). *Ecovative—Tecnología de Micelio | Material Sostenible y Biodegradable*. <https://www.ecovative.com/>
27. Elsacker, E., Vandelook, S., Brancart, J., Peeters, E., & Laet, L. D. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLOS ONE*, 14(7), e0213954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>
28. Elsacker, E., Vandelook, S., Van Wylick, A., Ruytinx, J., De Laet, L., & Peeters, E. (2020). A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *The Science of the Total Environment*, 725, 138431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138431>
29. Feijóo-Vivas, K., Bermúdez-Puga, S. A., Rebolledo, H., Figueroa, J. M., Zamora, P., & Naranjo-Briceño, L. (2021). Bioproductos desarrollados a partir de micelio de hongos:

- Una nueva cultura material y su impacto en la transición hacia una economía sostenible. *Bionatura*, 6(1), 1637-1652. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.29>
30. Fernández Roldán, L. (2022, abril 7). *Reino Fungi: Qué es, características, clasificación y ejemplos - ¡Resumen!* ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/reino-fungi-que-es-caracteristicas-clasificacion-y-ejemplos-2307.html>
31. Gallegos Belisario, A. S. (2022). Aplicación de micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12024>
32. Ghazvinian, A., Farrokhsiar, P., Rocha Vieira, F., Pecchia, J., & Gursoy, B. (2019, septiembre 12). *Mycelium-Based Bio-Composites For Architecture: Assessing the Effects of Cultivation Factors on Compressive Strength*. [https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019\\_465](https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_465)
33. Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., & Savino, E. (2019). Physico-Mechanical and Thermodynamic Properties of Mycelium-Based Biocomposites: A Review. *Sustainability*, 11(1), Art. 1. <https://doi.org/10.3390/su11010281>
34. Heisel, F., & Hebel, D. E. (2019). Pioneering Construction Materials through Prototypical Research. *Biomimetics*, 4(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3390/biomimetics4030056>
35. Hisour. (2018). *Rastrojo de maíz – HiSoUR Arte Cultura Historia*. <https://www.hisour.com/es/corn-stover-40938/>
36. Houette, T., Maurer, C., Niewiarowski, R., & Gruber, P. (2022). Growth and Mechanical Characterization of Mycelium-Based Composites towards Future Bioremediation and Food Production in the Material Manufacturing Cycle. *Biomimetics*, 7. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030103>

37. Ibarra Islas, A. (2019). *Aprovechamiento de residuos agroforestales en el cultivo de hongos Basidiomicetos*.  
<http://www.repositorio.unadmexico.mx:8080/xmlui/handle/123456789/192>
38. Ibertest. (2023). *Ensayo de compresión | IBERTEST* [Website].  
<https://www.ibertest.es/>; Ibertest. <https://www.ibertest.es/products/ensayo-de-compresion/>
39. Inarquia. (2021, enero 22). *Micotectura: Uso del Micelio de los Hongos en la Arquitectura*. Inarquia. <https://inarquia.es/micotectura-uso-posibilidades-micelio-hongos-arquitectura/>
40. Infinitia. (2020, octubre 27). ▷ *Ensayos de dureza de los materiales* | Infinitia.  
<https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-dureza-materiales/>
41. Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., & Picu, C. (2017). Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13295-2>
42. Jiménez Rey, F. D. (2018). *Elaboración de un material biológico a partir del hongo Pleurotus ostreatus para su utilización en aplicaciones de ingeniería*.  
<http://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/8603/1/43906.pdf>
43. Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, 187, 108397. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
44. Kim, H.-B., Lee, K.-T., Kim, M.-J., Lee, J.-S., & Kim, K.-S. (2018). Identification and characterization of a novel KG42 xylanase (GH10 family) isolated from the black goat rumen-derived metagenomic library. *Carbohydrate Research*, 469, 1-9.  
<https://doi.org/10.1016/j.carres.2018.08.010>
45. La Casa de las Setas. (2019, febrero 4). *Pleurotus ostreatus, seta de ostra deliciosa y medicinal*. Blog La Casa de las Setas. <https://lacasadelasetas.com/blog/pleurotus-ostreatus-seta-de-ostra/>

46. Lituma, C. P. (2023). *Micotectura—Mycomaker*. <https://mycomaker.club/micotectura/>
47. Liu, R., Li, X., Long, L., Sheng, Y., Xu, J., & Wang, Y. (2020). Improvement of mechanical properties of mycelium/cotton stalk composites by water immersion. *Composite Interfaces*, 27(10), 953-966. Scopus. <https://doi.org/10.1080/09276440.2020.1716573>
48. López Díaz, Z., & García Tarrau, M. (2013). *Definiciones Básicas relacionadas con la Esterilización*. UVS Manuel Fajardo. <http://uvsfajardo.sld.cu/tema-5-definiciones-basicas-relacionadas-con-la-esterilizacion>
49. López Nava, J. A. (2014). *Desarrollo de biomateriales alternativos al poliestireno expandido a partir de hongos y cubiertas comestibles*. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7531>
50. Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., Terrazas, T., Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., & Terrazas, T. (2021). Lignina: Composición, síntesis y evolución. *Madera y bosques*, 27(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
51. Maite. (2017). *Micología*. <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/microambiental/wp-content/uploads/2016/08/TP-8-Micolog%C3%ADa.pdf>. <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/microambiental/wp-content/uploads/2016/08/TP-8-Micolog%C3%ADa.pdf>
52. Márquez, A. (2021, enero 22). *8 PROBLEMAS AMBIENTALES en el ECUADOR - Los principales*. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/problemas-ambientales-en-el-ecuador-3145.html](https://www.ecologiaverde.com/problemas-ambientales-en-el-ecuador-3145.html)
53. Martí Solé, M. del C., & Constans Aubert, A. (1998). NTP 488: Calidad de aire interior: Identificación de hongos.
54. Melo Parra, C. G. (2021) Evaluación de la colonización del hongo *Pleurotus ostreatus* en sustratos lignocelulósicos. [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8665>

55. Menéndez Valderrey, J. L. (2012, mayo 28). *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. Naturaleza y turismo. <https://www.asturnatura.com/especie/pleurotus-ostreatus>
56. Metalinspec. (2022, abril 29). *¿Qué es un Ensayo de Tracción?* <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/que-es-el-ensayo-de-traccion>
57. Metalinspec. (2019). *La Dureza: Una de las pruebas más comunes para la evaluación de Materiales*. Metalinspec. <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/la-dureza-una-de-las-pruebas-mas-comunes-para-la-evaluacion-de-materiales>
58. Montecinos Narea, C. (2022). *Techumbre en base a micelio de hongo: Integración de materiales biofabricados en un proyecto de arquitectura*. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/63335>
59. Montjoy, Valeria. "De biomateriales a estructuras portantes: hongos, algas y horquillas de árboles" [From Bio Materials to Load-Bearing Structures: Fungi, Algae and Tree Forks] 27 ago 2022. ArchDaily Colombia. (Trad. Rojas, Piedad) Accedido el 12 Abr 2023. <<https://www.archdaily.co/co/987612/de-biomateriales-a-estructuras-portantes-hongos-algas-y-horquillas-de-arboles>> ISSN 0719-8914
60. Muhammad, H., Ceseracciu, L., Canale, C., Heredia-Guerrero, J., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports*, 7, 41292. <https://doi.org/10.1038/srep41292>
61. Ramos Sevilla, E. I. (2017). Minimización de residuos lignocelulosicos en la elaboración de sustrato para el cultivo de setas *Pleurotus ostreatus* en Alausí, provincia de Chimborazo. Ecuador. Repositorio de Tesis - UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6686>
62. Riquelme, V. (2022, septiembre 29). *Mushbio, un revestimiento hecho de hongos inspirado en el territorio ecuatoriano y latinoamericano*. ArchDaily en español. <https://www.archdaily.cl/cl/989375/mushbio-un-revestimiento-hecho-de-hongos-inspirado-en-el-territorio-ecuatoriano-y-latinoamericano>
63. MycoWorks. (2023). *Home*. MycoWorks. <https://www.mycoworks.com/>

64. Nashiruddin, N., Chua, K. S., Fadziyana, A., Rahman, R., Lai, J. C., Wan Azelee, N. I., & El Enshasy, H. (2021). *Effect of Growth Factors on the Production of Mycelium-based Biofoam*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-475838/v1>
65. Navarro Reyes, Omar Enrique (2013) *Micología veterinaria*. Universidad Nacional Agraria, Managua, NI. ISBN 978-99924-1-024-0
66. Neetescuela. (2019). *Probetas según el ensayo mecánico*. Neetescuela. <https://neetescuela.org/probetas-segun-el-ensayo-mecanico/>
67. Nieto-Juárez, J. I., Cuzcano-Ruiz, Á. D., Reyes-López, W. A., Nieto-Juárez, J. I., Cuzcano-Ruiz, Á. D., & Reyes-López, W. A. (2019). Estudio preliminar de la composición nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado en pulpa de café. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 422-431. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.256>
68. Nussbaumer, M., Van Opdenbosch, D., Engelhardt, M., Briesen, H., Benz, J. P., & Karl, T. (2023). Material characterization of pressed and unpressed wood–mycelium composites derived from two *Trametes* species. *Environmental Technology & Innovation*, 30, 103063. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103063>
69. Ocegueda Vega, D. S. (2021). Bioplástico por biodesarrollo micelial de *Pleurotus ostreatus* en sustratos de residuos lignocelulósicos de encino (*Quercus castanea* neé) y olote de maíz (*Zea mayz*). [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/6379](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6379)
70. Peng, L., Yi, J., Yang, X., Xie, J., & Chen, C. (2023). Development and characterization of mycelium bio-composites by utilization of different agricultural residual byproducts. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 8(1), 78-89. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.11.005>
71. Perez Garcia, N., Garnica Anguas, P., Perez Salazar, A., Juarez Hidalgo, R., & Castro Mondragon, F. (2016). EVALUACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS



DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO. *PUBLICACION TECNICA*, 476.

<https://trid.trb.org/view/1457221>

72. Pérez-Jiménez, O. (2022). Artesón aligerante para losa: Constituido de micelio y lignina. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(Especial2), Article Especial2. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial2.8671>
73. Porter, D. L., Hotz, E. C., Uehling, J. K., & Naleway, S. E. (2023). A review of the material and mechanical properties of select Ganoderma fungi structures as a source for bioinspiration. *Journal of Materials Science*, 58(8), 3401-3420. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08214-y>
74. Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. R. (2018). *RESIDUOS AGROINDUSTRIALES GENERADOS EN ECUADOR PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS* | *Revista Ingeniería Industrial*. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3924>
75. Ríos-Ruiz, R. A., & Ruíz-Rengifo, L. (2006). AISLAMIENTO Y CULTIVO DEL HONGO COMESTIBLE *Pleurotus affinis ostreatus* (jacq. Ex Fr) Kumm EN TINGO MARIA. *Folia Amazónica*, 5(1-2), 5. <https://doi.org/10.24841/fa.v5i1-2.217>
76. Rodríguez, S. (2018). Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales. *RChD: creación y pensamiento*, 3(5). <https://doi.org/10.5354/0719-837X.2018.50632>
77. Rolim, L. do N., Sales-Campos, C., Cavalcanti, M. A. de Q., & Urben, A. F. (2014). Application of Chinese Jun-Cao technique for the production of Brazilian *Ganoderma lucidum* strains. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57, 367-375. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132014005000015>
78. Rothsuh Osorio, U. (2021, noviembre 30). *Estructura de los hongos—Resumen y fotos*. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/estructura-de-los-hongos-3676.html>

79. Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2013). Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. *Información tecnológica*, 24(2), 47-56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200007>
80. Salazar Loaiza, W. A. (2014). Diversidad de los géneros *Ganoderma* y *Amauroderma* en el Ecuador [BachelorThesis, PUCE]. En *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/9027>
81. Sangmesh, B., Patil, N., Jaiswal, K. K., Gowrishankar, T. P., Selvakumar, K. K., Jyothi, M. S., Jyothilakshmi, R., & Kumar, S. (2023). Development of sustainable alternative materials for the construction of green buildings using agricultural residues: A review. *Construction and Building Materials*, 368, 130457. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130457>
82. Santambrosio, E. (2009). *Siembra y recuento de microorganismos* [CATEDRA DE BIOTECNOLOGIA]. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. <https://docplayer.es/10427147-Universidad-tecnologica-nacional.html>
83. Siller-Ruiz, M., Hernández-Egido, S., Sánchez-Juanes, F., González-Buitrago, J. M., & Muñoz-Bellido, J. L. (2017). Métodos rápidos de identificación de bacterias y hongos. Espectrometría de masas MALDI-TOF, medios cromogénicos. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 35(5), 303-313. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2016.12.010>
84. Silva, J. C., Chaves de Oliveira, R., Silva Neto, A., Cunha Pimentel, V., & Amorim dos Santos, A. (2013). *EXTRACCIÓN, ADICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE HEMICELULOSAS DE MAZORCAS DE MAÍZ PARA DESARROLLO DE LAS PROPIEDADES DE LOS PAPELES*. [https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/26\\_PT\\_RS.pdf](https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/26_PT_RS.pdf).
85. Sinailín Alcocer, K. P., & Titusunta Arias, D. M. (2022). Determinación de las características físicas y mecánicas del material biodegradable obtenido con Micelios de *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma Lucidum* utilizando rastrojo de cebada y rastrojo

de trigo como sustrato [BachelorThesis].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22169>

86. Suárez-Contreras, L.-Y., Peñaranda-Figueredo, F.-A., Suárez-Contreras, L.-Y., & Peñaranda-Figueredo, F.-A. (2022). Identificación molecular de hongos filamentosos y su potencial biotecnológico. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 194-206. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1914>
87. Susel, G. D. E., Domínguez, E. M. H., Fernández, A. G. E., Cervantes, J. Á., Medellín, L. D. R., & Mendoza, B. M. (2021). Biomaterial obtenido a partir de micelio de hongo (*ganoderma lucidum*) y residuos agrícolas: Biomaterial obtained from fungus micellium (*ganoderma lucidum*) and agricultural wastes. *South Florida Journal of Development*, 2(3), 4663-4681. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-065>
88. Tacer-Caba, Z., Varis, J. J., Lankinen, P., & Mikkonen, K. S. (2020). Comparison of novel fungal mycelia strains and sustainable growth substrates to produce humidity-resistant biocomposites. *Materials & Design*, 192, 108728. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108728>
89. Universidad Miguel Hernández de Elche. (2021). Identificación fúngica. Prácticas Microbiología UMH. <https://docenciamicrobiologia.umh.es/indice-de-practicas/6-identificacion-fungica/>
90. Xing, Y., Brewer, M., El-Gharabawy, H., Griffith, G., & Jones, P. (2018). Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 121(2), 022032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/2/022032>
91. Yamanaka, S., & Kikuchi, R. (1991). Complex of fibers and fungi and a process for preparation thereof (United States Patent N.º US5074959A). <https://patents.google.com/patent/US5074959A/en>

92. Yang, Z., Zhang, F., Still, B., White, M., & Amstislavski, P. (2017). Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29, 04017030. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001866](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001866)
93. Zuluaga, J; Perez, C; Angulo, A; Torres, O & Santafé, G. 2007. Química y actividades antioxidantes y bactericidas del extracto etanólico del hongo *Ganoderma lucidum*. *Scientia et Technica*. Abril. Año XIII. Número 0033. Universidad tecnológica de Pereira Colombia. 329-332 pp

## FIGURAS

**Figura 2**

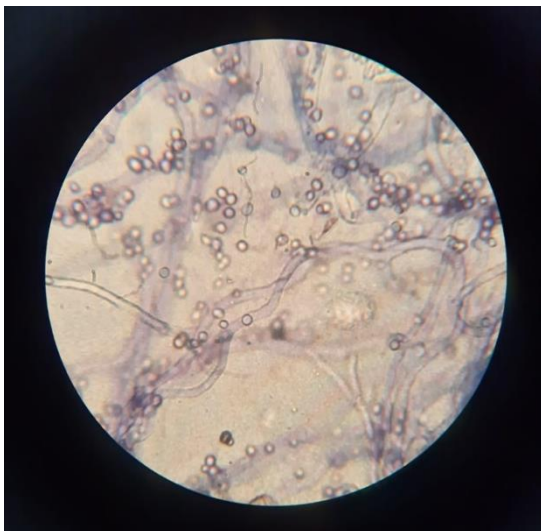
*Hifas de hongo vistas con microscopio*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 3**

*Hifas y esporas de hongo vistas con microscopio*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 4**

*Micelio de Ganoderma lucidum obtenido de la empresa Inti Wasi.*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 5**

*Micelio de Pleurotus ostreatus obtenido de la empresa Inti Wasi.*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 6**

*Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus* cultivado en el sustrato intermedio de trigo.



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 7**

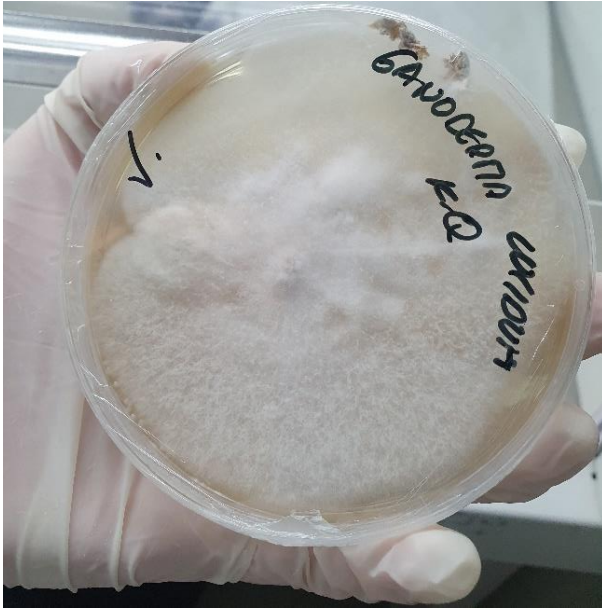
*Moldeado de los bloques de micelio.*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 8**

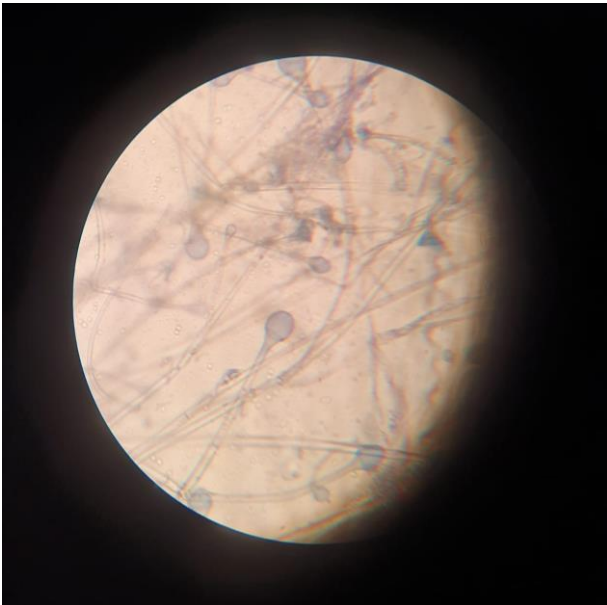
*Ganoderma lucidum* cultivado en medio nutritivo PDA.



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 9**

*Ganoderma lucidum* observado desde el microscopio a 40X



(Fuente: Autor, 2023)



**Figura 10**

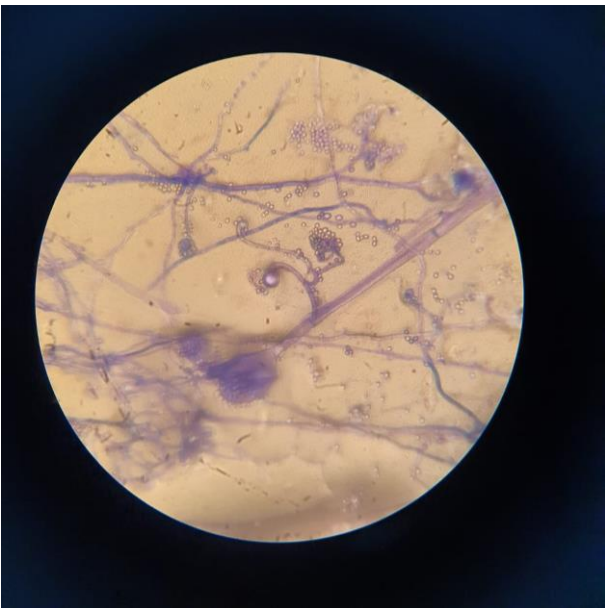
*Pleurotus ostreatus* cultivado en medio nutritivo PDA.



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 11**

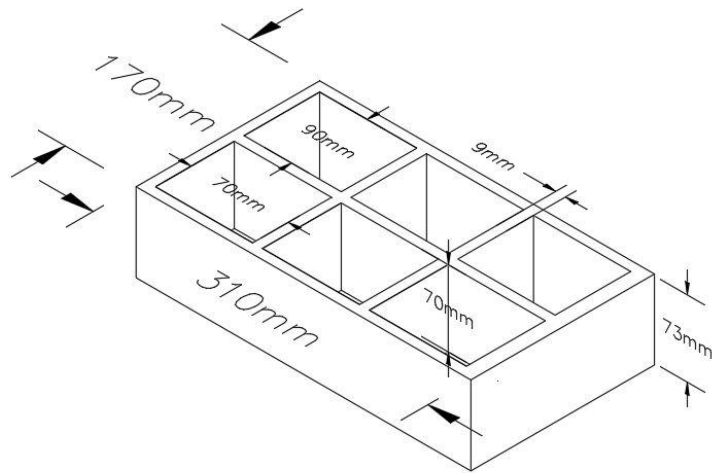
*Pleurotus ostreatus* observado desde el microscopio a 40X



(Fuente: Autor, 2022)

**Figura 14**

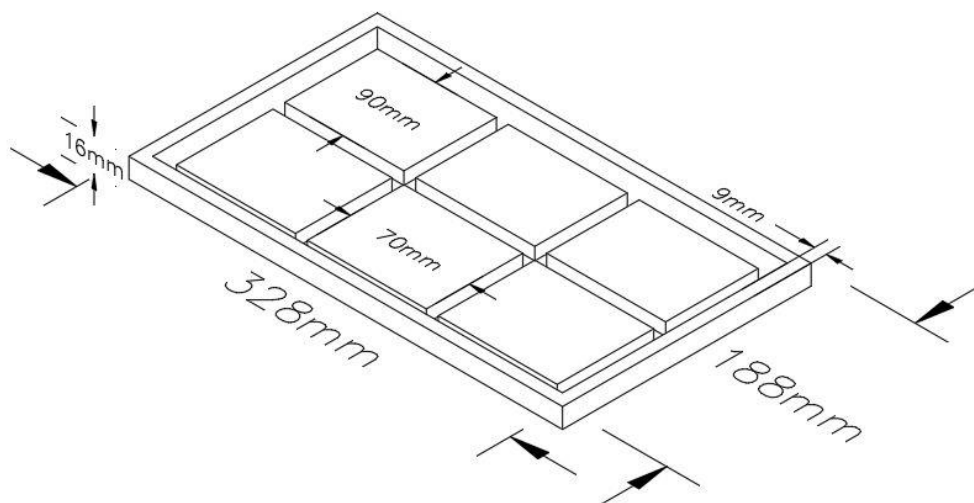
*Plano 3D del molde para la elaboración de los bloques.*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 15**

*Plano 3D de la tapa del molde para la elaboración de los bloques.*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 16**

*Molde elaborado en madera*



**(Fuente:** Autor, 2023)

**Figura 17**

*Bloque de micelio moldeado.*



**(Fuente:** Autor, 2023)

**Figura 18**

*El biomaterial no es inflamable, pero si combustiona por su composición orgánica.*



**(Fuente:** Autor, 2023)

**Figura 19**

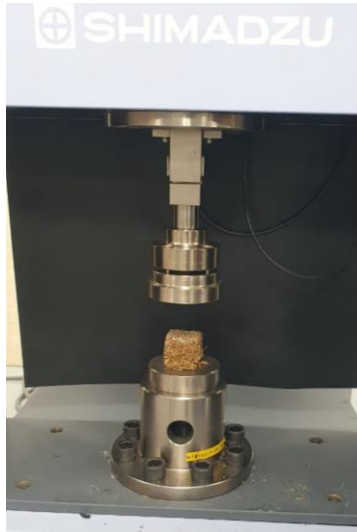
*Durómetro tomando medidas de las probetas de micelio.*



**(Fuente:** Autor, 2023)

**Figura 24**

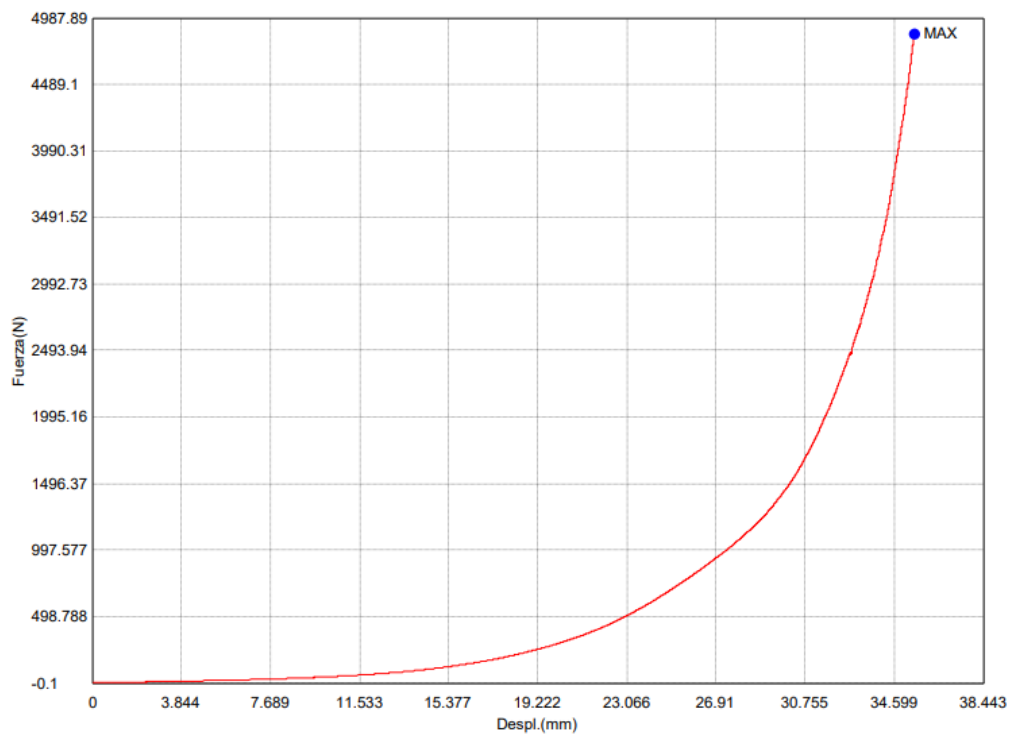
*Bloque de micelio sobre máquina universal.*



**(Fuente:** Autor, 2023)

**Figura 27**

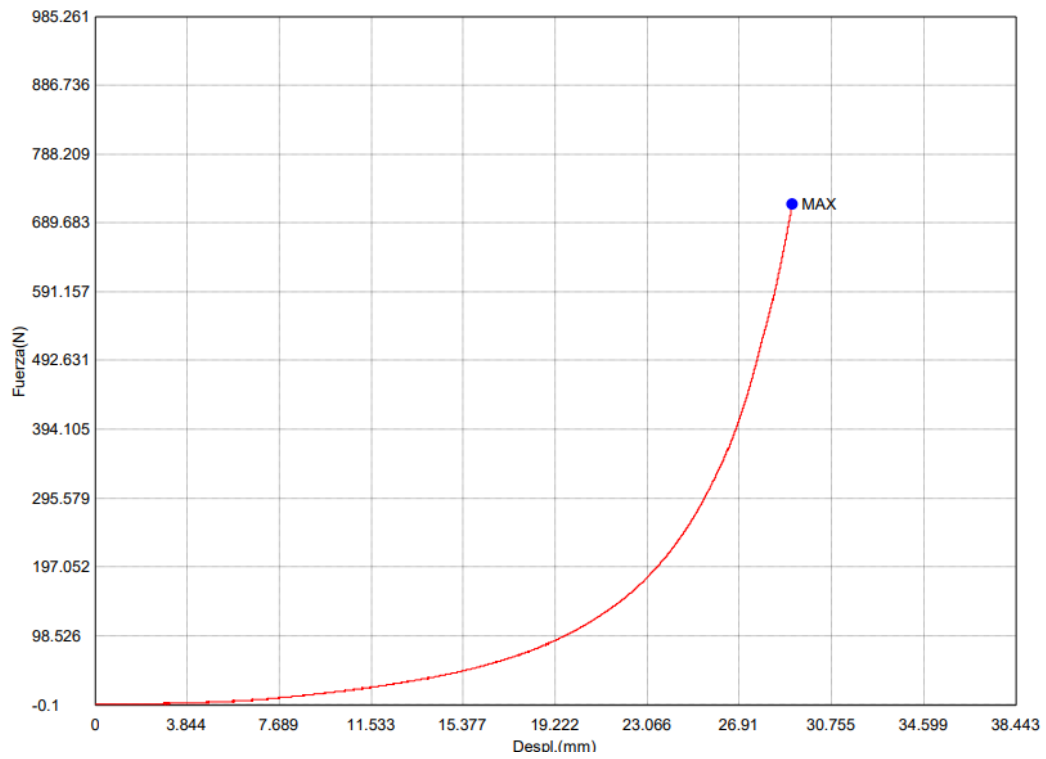
*Curva de Fuerza sobre desplazamiento perteneciente a la probeta 1 de Pleurotus ostreatus*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 28**

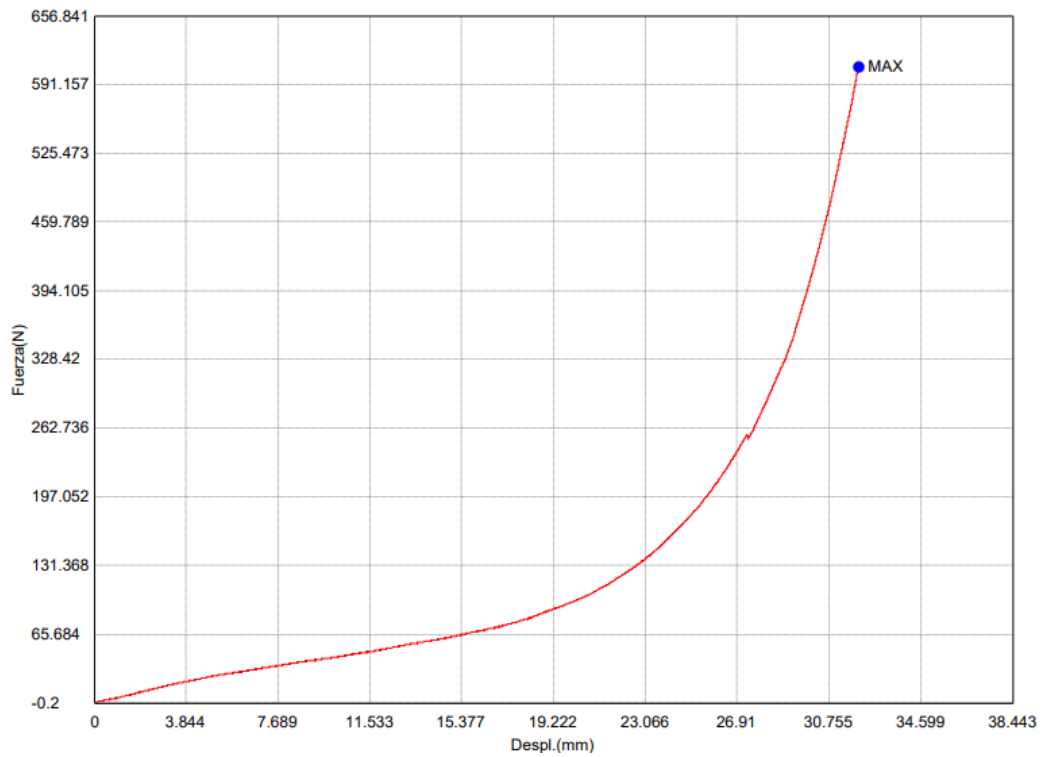
*Curva de Fuerza sobre desplazamiento perteneciente a la probeta 2 de Pleurotus ostreatus*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 29**

*Curva de Fuerza sobre desplazamiento perteneciente a la probeta 1 de Ganoderma lucidum*

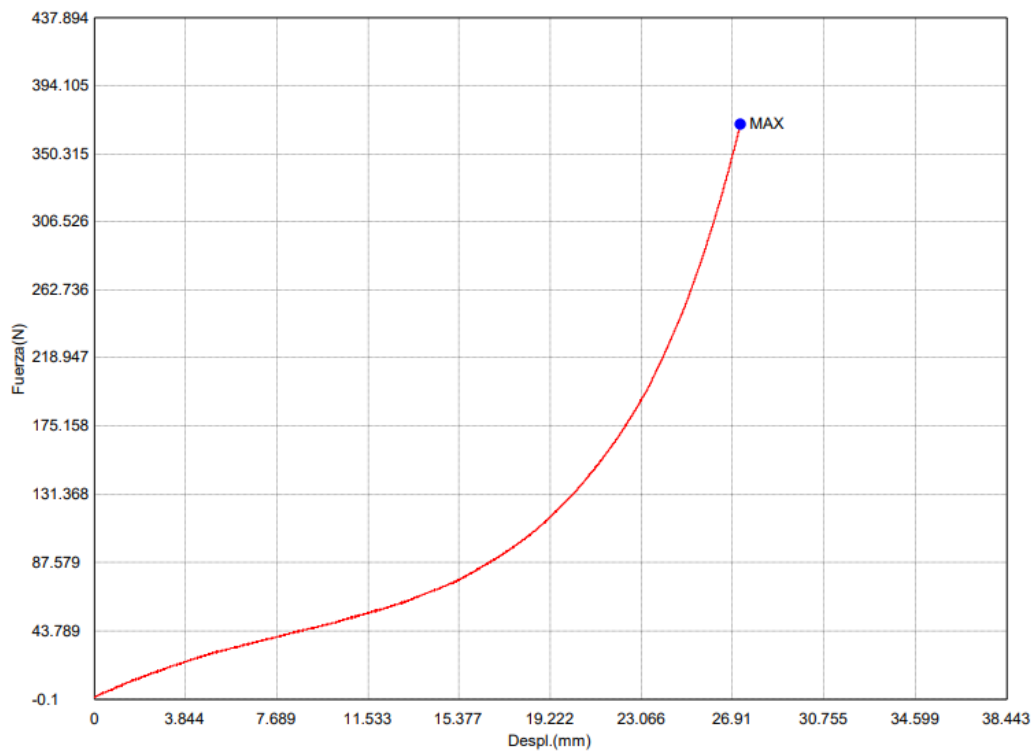


(Fuente: Autor, 2023)



**Figura 30**

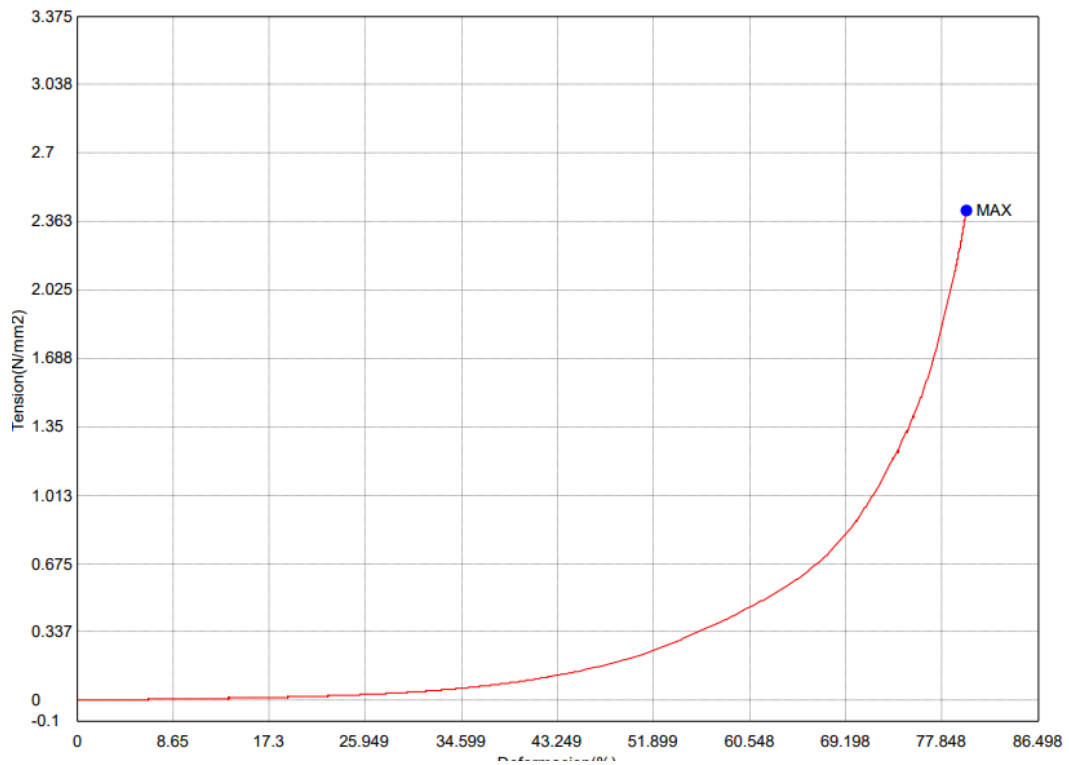
*Curva de Fuerza sobre desplazamiento perteneciente a la probeta 2 de Ganoderma lucidum*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 31**

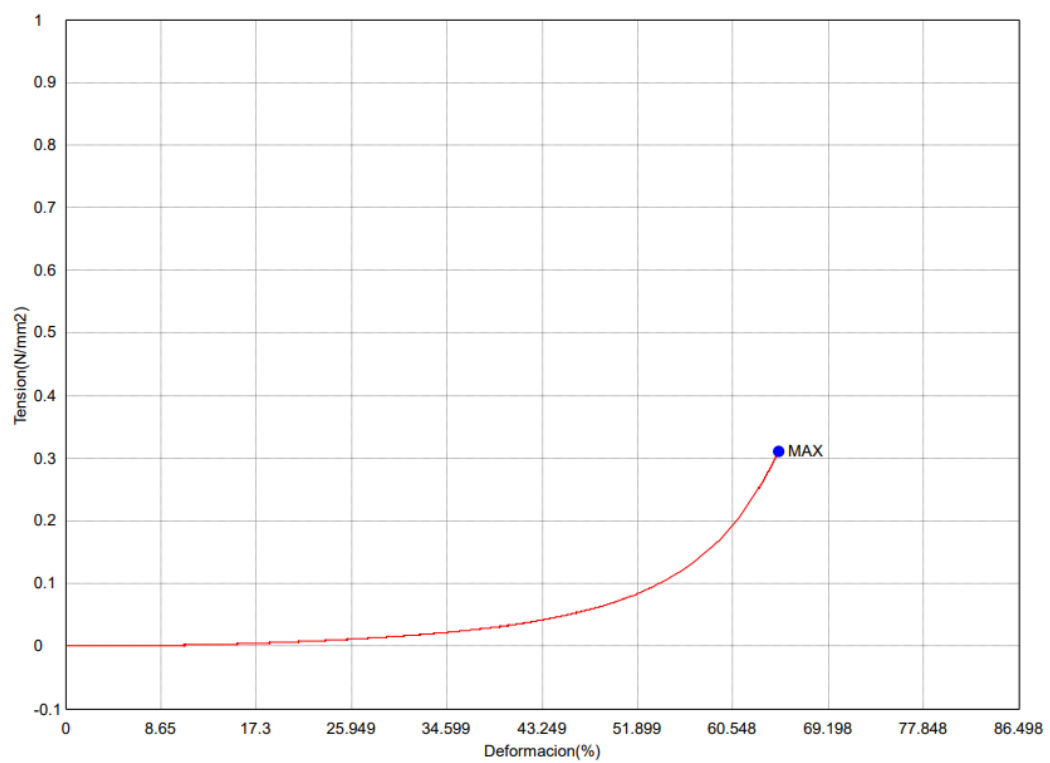
*Curva de Tensión sobre el desplazamiento perteneciente a la probeta 1 de Pleurotus ostreatus*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 32**

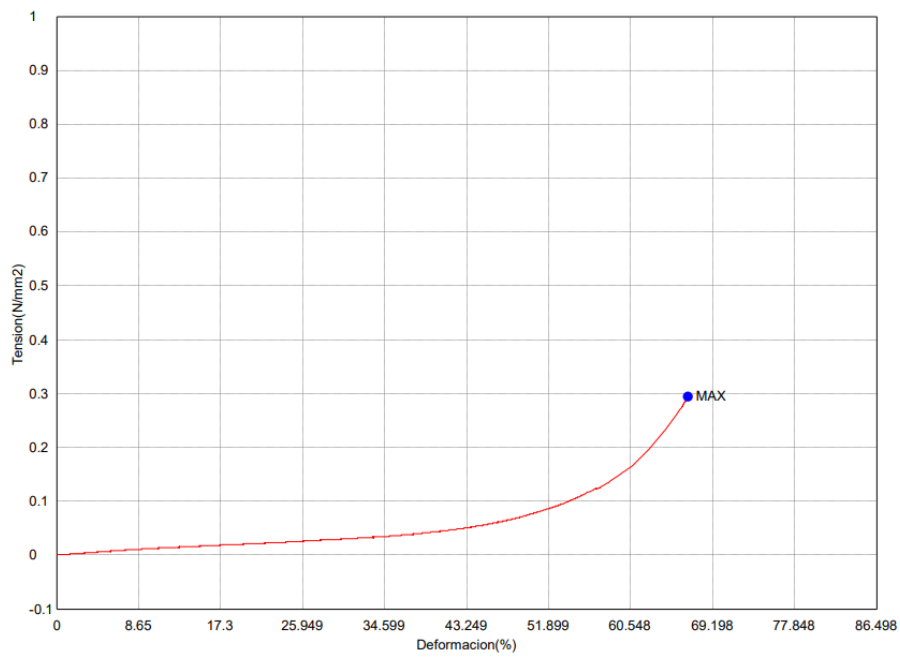
*Curva de Tensión sobre el desplazamiento perteneciente a la probeta 2 de Pleurotus ostreatus*



(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 33**

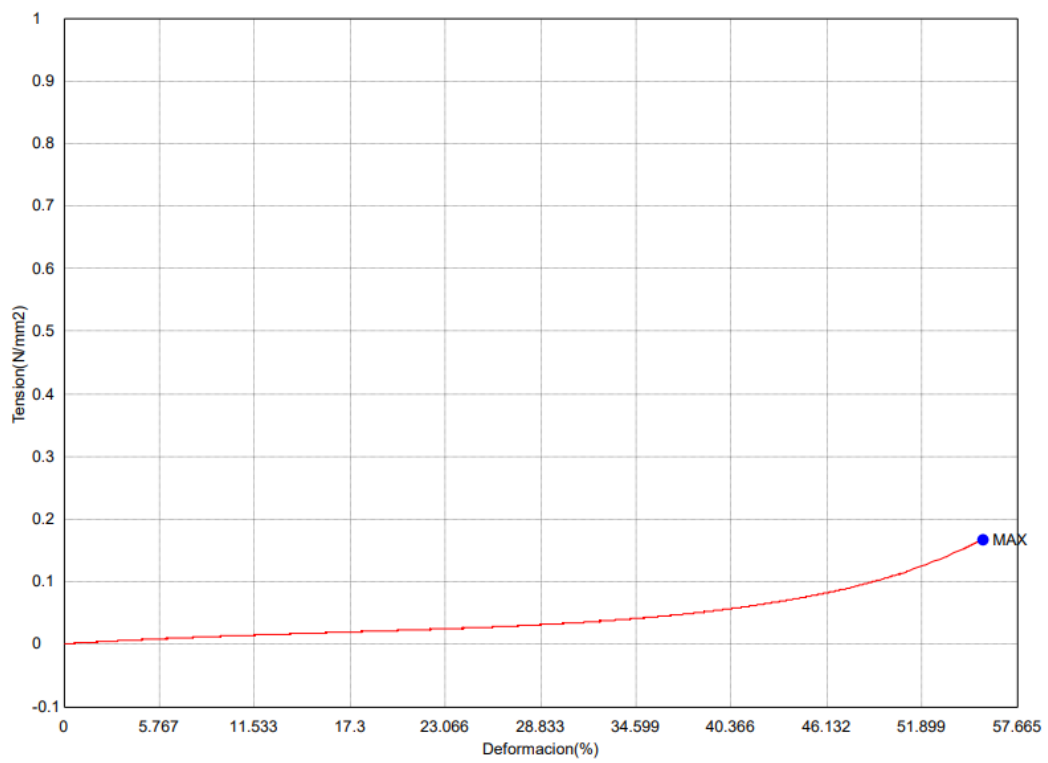
*Curva de Tensión por desplazamiento perteneciente a la probeta 1 de Ganoderma lucidum*



**(Fuente: Autor, 2023)**

**Figura 34**

*Curva de Tensión por desplazamiento perteneciente a la probeta 2 de Ganoderma lucidum*



(Fuente: Autor, 2023)

Figura 35

Informe perteneciente a la probeta 1 de *Pleurotus ostreatus*

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo		Nombre de metodo de ensayo	bloque5mm_min.xmas
Fecha de informe	7/7/2023	Fecha de ensayo	7/7/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max_Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	4866.10	2.41450	35.4600	80.0453

Nombre Parametros	Max_Despl. Calc. at Entire Areas	Max_Deformacion Calc. at Entire Areas	Max_Tiempo Calc. at Entire Areas	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	seg	N
1_1	35.4600	80.0453	425.530	--

Nombre Parametros	Rotura_Tension Sensibilidad 10	Rotura_Desplazamiento Sensibilidad 10	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10	Rotura_Despl. Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	mm	%	mm
1_1	--	--	--	--

Nombre Parametros	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10	Rotura_Tiempo Sensibilidad 10
Unidad	%	seg
1_1	--	--

(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 36**

*Informe perteneciente a la probeta 2 de Pleurotus ostreatus*

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	1-2.xtas	Nombre de metodo de ensayo	bloque5mm_min.xmas
Fecha de informe	7/7/2023	Fecha de ensayo	7/7/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max_Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	716.467	0.31151	29.1196	64.7103

Nombre Parametros	Max_Despl. Calc. at Entire Areas	Max_Deformacion Calc. at Entire Areas	Max_Tiempo Calc. at Entire Areas	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	seg	N
1_1	29.1196	64.7103	349.450	.-

Nombre Parametros	Rotura_Tension Sensibilidad 10	Rotura_Desplazamiento Sensibilidad 10	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10	Rotura_Despl. Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	mm	%	mm
1_1	.-	.-	.-	.-

Nombre Parametros	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10	Rotura_Tiempo Sensibilidad 10
-------------------	---------------------------------------	----------------------------------

(Fuente: Autor, 2023)

**Figura 37**

*Informe perteneciente a la probeta 1 de Ganoderma lucidum*

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	2_1.xtas	Nombre de metodo de ensayo	bloque5mm_min.xmas
Fecha de informe	7/7/2023	Fecha de ensayo	7/7/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	608.168	0.29380	31.9833	66.6319

Nombre	Max._Despl.	Max._Deformacion	Max._Tiempo	Rotura_Fuerza
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	seg	N
1_1	31.9833	66.6319	383.810	--

Nombre	Rotura_Tension	Rotura_Desplazamiento	Rotura_Deformacion	Rotura_Despl.
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	mm	%	mm
1_1	--	--	--	--

Nombre	Rotura_Deformacion	Rotura_Tiempo
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	%	seg
1_1	--	--

(Fuente: Autor, 2023)



**Figura 38**

*Informe perteneciente a la probeta 2 de Ganoderma lucidum*

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	2_2.xtas	Nombre de metodo de ensayo	bloque5mm_min.xmas
Fecha de informe	7/7/2023	Fecha de ensayo	7/7/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
1_1	368.875	0.16729	27.2304	55.5723

Nombre Parametros	Max._Despl. Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas	Max._Tiempo Calc. at Entire Areas	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	seg	N
1_1	27.2304	55.5723	326.780	--

Nombre Parametros	Rotura_Tension Sensibilidad 10	Rotura_Desplazamiento Sensibilidad 10	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10	Rotura_Despl. Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	mm	%	mm
1_1	--	--	--	--

Nombre Parametros	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10	Rotura_Tiempo Sensibilidad 10
Unidad	%	seg
1_1	--	--

(Fuente: Autor, 2023)

## TABLAS

**Tabla 17**

*Cronograma elaborado para realizar las actividades del proyecto*

ACTIVIDAD	LABORAT ORIO	EQUIPOS/ TIEMPO DE USO	MATERIALES Y REACTIVOS	SEMANA PROGRAMA DA
<b>Preparación de Medio Nutritivo PDA Esterilización de materiales</b>	Laboratorio de Biología I		2 probetas 500 ml.	
		Balanza/10 días.	2 matraces Erlenmeyer 500 ml.	
		Campana de Extracción /10 días.	2 vasos de precipitado 250 ml.	
		Autoclave /10 días.	1 mechero Bunsen. 1 Luna de reloj grande.	
		pH – Metro /10 días.	8 tubos de ensayo grandes.	
			Gradilla para 12.	1
		2 hornillas eléctrica /10 días.	2 cuentagotas. 2 varillas de agitación. Cinta de sellado (Parafilm).	
			40 g AGAR PDA. 25mL HCl 0.1 M. 25mL NaOH 0.1 M. Agua Destilada. Alcohol 70%.	

---

<b>Cultivo del Hongo Pleurotus ostreatus</b>	Laboratorio de Biología I	Campana de Extracción /10 días. Incubadora a 28 C /15 días.	1 mechero Bunsen. 2 pinzas de disección. Asas Microbiológicas de Siembra. Cinta de sellado (Parafilm). Alcohol 70%.	1 y 2
<b>Esterilización del sustrato de trigo</b>	Laboratorio	Balanza/20 días. Autoclave /20 días.	1 mechero Bunsen. 4 vasos de precipitado 500 ml.	
<b>Inoculación de los hongos en Sustrato de trigo</b>	de Biología I	Campana de Extracción /20 días. Estufa 28 C /20 días.	2 vasos de precipitado 1000 ml. 2 bisturí de disección. 2 probetas 500 ml.	2-5
<b>Cultivo del Hongo Ganoderma lucidum</b>	Laboratorio de Biología I	Campana de Extracción /10 días. Incubadora a 28 C /15 días.	1 mechero Bunsen. 2 pinzas de disección. Asas Microbiológicas de Siembra. Cinta de sellado (Parafilm). Alcohol 70%.	4 y 5
<b>Caracterización macroscópica Y microscópica de hongos</b>	Laboratorio de Biología I	Esteroscopio /10 días.	Portaobjetos. Cubreobjetos. Azul de lactofenol.	5

---

---

		Microscopio binocular /10 días.		
		Autoclave /10 días.		
<b>Esterilización del sustrato de rastrojo de maíz</b>	Laboratorio de Biología I	Balanza/10 días.	1 mechero Bunsen. 6 vasos de precipitado 1000 ml.	5-8
<b>Inoculación de los hongos en Sustrato de rastrojo de maíz</b>		Campana de Extracción /10 días. Estufa 28 C /20 días.		
<b>Moldeado de Biomaterial</b>	Laboratorio de Biología I	Campana de Extracción /10 días.	1 mechero Bunsen	8-11
		Incubadora/ 20 días.		
<b>Horneado de Biomaterial</b>	Laboratorio de Química General	Horno /10 días.		12

---

(Fuente: Autor, 2023)

Tabla 18

Datos recolectados de las medidas de las probetas utilizadas.

Probetas <i>G. Lucidum</i>					Probetas <i>P. Ostreatus</i>				
Altura (cm)	Ancho	Fondo	Masa (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Altura (cm)	Ancho	Fondo	Masa (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
4.8	4.6	4.5	54.36	99.36	4.4	4.5	4.4	53.71	87.12
4.9	4.5	4.9	52.02	108.05	4.5	4.6	5	56.43	103.5
5	4.1	4.5	49.08	92.25	4.9	4.3	4.7	54.98	99.03
4.1	4.8	4.5	48.65	88.56	5	4.4	4.8	55.87	105.6
4.9	4.7	4.7	53.50	108.24	4.4	4.3	4.6	54.02	87.03

(Fuente: Autor, 2023)

Tabla 19

Propiedades mínimas permitidas de EPS

Designación del material (cm)	Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión (kPa)	Resistencia a la flexión (kPa)
EPS40	69	40	4
EPS50	90	50	5
EPS70	104	70	7
EPS100	173	100	10

(Fuente: Perez Garcia et al., 2016)