



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE TIEMPO DE  
MADURACIÓN Y HUMEDAD EN EL CULTIVO DE PIEZAS DE MICELIO DE  
*Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. EN SUSTRATO DE AFRECHO DE TRIGO

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Biotecnóloga

AUTORA: MARÍA JOSÉ MONTESDEOCA GONZÁLEZ

TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PHD.

Cuenca - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, María José Montesdeoca González con documento de identificación N° 0704732718,  
manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la  
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total  
o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de agosto del 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'M' followed by a cursive name.

---

María José Montesdeoca González

0704732718

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

Yo, María José Montesdeoca González con documento de identificación N° 0704732718, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo experimental: “Determinación de las condiciones óptimas de tiempo de maduración y humedad en el cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. en sustrato de afrecho de trigo”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Biotecnóloga, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 16 de agosto del 2023

Atentamente,



---

María José Montesdeoca González

0704732718

## 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 autoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE TIEMPO DE MADURACIÓN Y HUMEDAD EN EL CULTIVO DE PIEZAS DE MICELIO DE *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. EN SUSTRATO DE AFRECHO DE TRIGO, realizado por María José Montesdeoca González con documento de identificación N° 0704732718, 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, 16 de agosto del 2023

Atentamente,



---

Ing. Pablo Wilson Arévalo Moscoso, PhD.

0102156957

## **DEDICATORIA**

Dedico este y todos mis esfuerzos primero a mí misma porque han acontecido muchos momentos en los que he tenido la oportunidad de rendirme y he seguido adelante siempre mejorando y aprendiendo de mis errores, luego a mi padre del cielo porque a pesar de tantas cosas sé que me tiene un futuro increíble además de que siento que tiene un plan muy bueno para mí, dedico esta tesis, todo el esfuerzo, tiempo y ganas a mi familia, a mi papá que me ha dado fuerzas y coraje para seguir, a mi mamá que ha secado cada lágrima que he derramado en el proceso, a mi hermana que siempre me hace sentir importante y especial cuando me dice que ya soy una “niña grande”, a mi tío que con su ejemplo me ha guiado a ser mejor y aprender de sus experiencias pero en especial a mi Mami Leni porque ha sido y siempre será uno de los pilares fundamentales de mi vida, la mujer que siempre me ha guiado en el camino y que con cada pregunta y cada conversación ha hecho de mi vida un momento inolvidable, por bailar sobre la mesa y por disfrutar cada momento que tenemos.

*María José Montesdeoca González*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco mucho a todos mis docentes que con paciencia y mucha perseverancia sembraron la semilla del conocimiento en mí, a mi familia por siempre estar presente en el proceso y por enseñarme tantos valores y experiencias que siempre las tendré en mente y las pondré en práctica, agradezco profundamente a mi director de tesis Dr. Pablo Arévalo por arriesgarse y tener fe en esta propuesta y por siempre confiar en el proceso, tengo muchas personas a quienes agradecer y espero que cada una de ellas se sienta identificada porque admito que hay personas que aportaron de manera positiva y les agradezco infinitamente por estar ahí y por ayudarme en los mejores momentos y en esos momentos en los que me sentía perdida, pero también hay personas que aportaron con experiencias incómodas que me ayudaron a crecer y también les agradezco porque muy seguramente no estaría aquí sin el conocimiento y experiencia que tuve por su presencia.

*María José Montesdeoca González*

## RESUMEN

La presente tesis describe una metodología de optimización de las condiciones de cultivo de placas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo, considerando las variables de tiempo de maduración en días y porcentaje de humedad como relevantes para la producción de estas piezas de micelio, además se analizaron las propiedades mecánicas de las piezas resaltando las características de Dureza Shore, Impacto Charpy y Compresión, se consideraron datos de tiempo de 14, 28 y 42 días y humedad de 55%, 65% y 75%, aplicados a la elaboración de las placas de micelio con el objetivo de evaluar las condiciones de cultivo óptimas que representen las mejores propiedades mecánicas del material, se llevaron a cabo análisis estadísticos de cajas y bigotes para el análisis de distribución de datos, multiplicadores de Lagrange para el análisis matemático de los valores máximos de condiciones de cultivo y el modelo de superficie de respuesta para el análisis matemático y gráfico de las condiciones óptimas permitiendo la determinación de conclusiones con respecto a las mejores condiciones de cultivo, obteniendo como resultado que las mejores condiciones de cultivo presentan tiempo de maduración de 42 días y porcentaje de humedad de 55%, los mismos que al ser aplicados a las piezas de micelio y posteriormente evaluados generan valores de Dureza Shore A de 40.25, Impacto Charpy de 1.40 Nm y Compresión de 177.39kPa , estos resultados evidencian un rendimiento prometedor en el proceso de cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., permitiendo así su aplicación en procesos estandarizados y a mayor escala.

### **Palabras clave:**

Optimización, Placas de micelio, Propiedades mecánicas, Lagrange, Modelo de superficie, Tiempo, Porcentaje de humedad, *Ganoderma lucidum*, Condiciones de cultivo.

## ABSTRACT

The present thesis describes a methodology to optimize the cultivation conditions of mycelium plates of *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst, in wheat bran substrate, considering the variables of maturation time in days and percentage of humidity as relevant for the production of these mycelium pieces, in addition the mechanical properties of the pieces were analyzed highlighting the characteristics of Shore Hardness, Charpy Impact and Compression, time data of 14, 28 and 42 days and humidity of 55%, 65% and 75% were considered, applied to the elaboration of the mycelium plates with the objective of evaluating the optimal cultivation conditions that represent the best mechanical properties of the material, statistical analysis of boxes and whiskers were carried out for the analysis of data distribution, Lagrange multipliers for the mathematical analysis of the maximum values of growing conditions and the response surface model for the mathematical and graphical analysis of the optimal conditions allowing the determination of conclusions regarding the best growing conditions, obtaining as a result that the best growing conditions present a maturation time of 42 days and a humidity percentage of 55%, which when applied to the mycelium pieces and later evaluated generate values of Shore A Hardness of 40.25, Charpy Impact of 1.40 Nm and Compression of 177.39kPa, these results show a promising performance in the process of cultivation of pieces of mycelium of *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., thus allowing its application in standardized processes and on a larger scale.

### **Keywords:**

Optimization, Mycelium plates, Mechanical properties, Lagrange, Surface model, Time, Moisture content, *Ganoderma lucidum*, Culture conditions.



## Índice de contenido

CAPÍTULO 1 .....	15
INTRODUCCIÓN .....	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	17
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	18
1.4 OBJETIVOS .....	19
1.5 HIPÓTESIS .....	20
1.6 LIMITACIONES .....	20
CAPÍTULO 2.....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 ESTADO DEL ARTE –ANTECEDENTES- .....	21
2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	24
2.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	28
CAPÍTULO 3.....	35
METODOLOGÍA .....	35
3.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	35
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	35
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	36
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	39
3.5 MÉTODOS DE MANEJO ESTADÍSTICO DE DATOS .....	40
3.6 PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES .....	41
CAPÍTULO 4.....	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49
4.1 Identificación microscópica de <i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.....	49
4.2 Placas de micelio obtenidas .....	50
4.3 Pruebas físicas realizadas en las placas de micelio. ....	51
4.4 Procesamiento de datos con gráfico de cajas y bigotes. ....	54
4.5 Determinación de procesos de optimización .....	62
CAPÍTULO 5.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	86
5.1 Conclusiones.....	86
5.2 Recomendaciones .....	88
CAPÍTULO 6.....	89
REFERENCIAS.....	89
CAPÍTULO 7.....	98
APÉNDICES Y ANEXOS .....	98

## Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía de <i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.....	32
Tabla 2. Distribución de variables y repeticiones empleadas en la experimentación.....	38
Tabla 3. Materiales, reactivos y equipos empleados en los diferentes procesos.....	41
Tabla 4. Componentes requeridos para la preparación de 1.5kg de sustrato. ....	44
Tabla 5. Resultados de los ensayos mecánicos de dureza, impacto y compresión con el esquema inicia planteado en la metodología. ....	52
Tabla 6. Resultados de los ensayos mecánicos en base al tipo de probeta de análisis.....	53
Tabla 7. Resultados de los ensayos mecánicos en base a las condiciones de cultivo. ....	53
Tabla 8. Análisis de los resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de tiempo de 14 días. ....	56
Tabla 9. Análisis de los resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de tiempo de maduración de 28 días.....	57
Tabla 10. Análisis de resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de tiempo de maduración de 42 días.....	58
Tabla 11. Análisis de resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de porcentaje de humedad del sustrato de 55%.....	59
Tabla 12. Análisis de resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de porcentaje de humedad del sustrato de 65%.....	60
Tabla 13. Análisis de resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de porcentaje de humedad del sustrato de 75%.....	61
Tabla 14. Valores de x calculados y evaluación en la segunda derivada.....	64
Tabla 15. Valores de x calculados y evaluación en la segunda derivada.....	66
Tabla 16. Valores de x calculados y evaluación en la segunda derivada.....	68
Tabla 17. Valores de x calculados y evaluación en la segunda derivada.....	70
Tabla 18. Valores de x calculados y evaluación en la segunda derivada.....	72

Tabla 19. Valores de x calculados y evaluación en la segunda derivada.....	74
Tabla 20. Diseño del experimento. ....	75
Tabla 21. Datos empleados en el modelo de superficie de respuesta codificados.....	76
Tabla 22. Resultado del ejemplar con las mejores características de impacto.....	76
Tabla 23. Resultado del ejemplar con las mejores características de compresión.....	79
Tabla 24. Resultado del ejemplar con las mejores características de dureza.....	82

### **Índice de figuras**

Figura 1. Unidad experimental empleada en la investigación. ....	37
Figura 2. Ejemplar de <i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst., en agar PDA.....	49
Figura 3. Imágenes microscópicas de <i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst., -imágenes en aumento 10X y 40X respectivamente-.....	50
Figura 4. Ejemplares de las placas de micelio obtenidas del proceso. ....	51
Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza resultantes de los ensayos mecánicos realizados. ....	54
Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de impacto resultantes de los ensayos mecánicos realizados. ....	55
Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados. ....	56
Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de tiempo de 14 días.....	57
Figura 9. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de tiempo de 28 días.....	58

Figura 10. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de tiempo de 42 días.....	59
Figura 11. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de porcentaje de humedad de sustrato de 55%.....	60
Figura 12. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de porcentaje de humedad de sustrato de 65%.....	61
Figura 13. Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de porcentaje de humedad de sustrato de 75%.....	62
Figura 14. Gráfica de análisis de datos de compresión y humedad con valores de interpolación de Lagrange.....	63
Figura 15. Gráfica de análisis de datos de impacto y humedad con valores de interpolación de Lagrange. ....	65
Figura 16. Gráfica de análisis de datos de dureza y humedad con valores de interpolación de Lagrange. ....	67
Figura 17. Gráfica de análisis de datos de dureza y tiempo de maduración con valores de interpolación de Lagrange.....	69
Figura 18. Gráfica de análisis de datos de impacto y tiempo de maduración con valores de interpolación de Lagrange.....	71
Figura 19. Gráfica de análisis de datos de compresión y tiempo de maduración con valores de interpolación de Lagrange.....	73
Figura 20. Resultados del análisis Anova para los resultados de impacto.....	77

Figura 21. Contraste entre valores $R^2$ de primer orden y segundo orden para los valores de impacto.....	77
Figura 22. Modelo de superficie de respuesta de los valores de impacto obtenidos. ....	79
Figura 23. Resultados del análisis Anova para los resultados de compresión.....	80
Figura 24. Contraste entre valores $R^2$ de primer orden y segundo orden para los valores de compresión.....	80
Figura 25. Gráfica que representa el modelo de superficie de respuesta de los valores de compresión obtenidos como resultado de los ensayos mecánicos.....	82
Figura 26. Resultados del análisis Anova para los resultados de impacto.....	83
Figura 27. Contraste entre valores $R^2$ de primer orden y segundo orden para los valores de dureza.....	83
Figura 28. Gráfica que representa el modelo de superficie de respuesta de los valores de dureza obtenidos como resultado de los ensayos mecánicos. ....	85
Figura 29. Ficha de registro de referencias bibliográficas empleadas en el desarrollo de la investigación para el análisis documental.....	98
Figura 30. Diario de campo con diferentes registros de cambios y procesos realizados en el proceso de investigación.....	98
Figura 31. Ejemplar de <i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst., en su entorno natural.....	99
Figura 32. Micelio empleado para el proceso de inoculación procedente de Inti Wasi. ....	99
Figura 33. Proceso de preparación y adecuación del sustrato –pesado del yeso, melaza y afrecho respectivamente-. ....	100
Figura 34. Proceso de cultivo de micelio en el sustrato de afrecho de trigo.....	100
Figura 35. Micelio cultivado empleado en el proceso de expansión del micelio. ....	101
Figura 36. Proceso de expansión del micelio en las placas designadas.....	101

Figura 37. Placas de micelio maduras –bloques de micelio de 14, 28 y 42 días respectivamente- .....	102
Figura 38. Piezas de micelio previas al secado.....	102
Figura 39. Proceso de secado de las piezas de micelio.....	103
Figura 40. Placas de micelio secas.....	103
Figura 41. Preparación de las probetas de micelio para los ensayos mecánicos. ....	104
Figura 42. Probetas de micelio empleadas en los ensayos mecánicos -vista superior y frontal respectivamente-. ....	104
Figura 43. Ensayo de compresión realizado en las probetas previamente preparadas. ....	105
Figura 44. Ensayo de dureza realizado en las probetas previamente preparadas. ....	105
Figura 45. Ensayo de impacto realizado en las probetas previamente preparadas. ....	106

### **Índice de Anexos**

ANEXO A. Certificado de la especie del hongo empleado en el proceso de desarrollo de las placas de micelio -Ganoderma lucidum- proporcionado por la empresa Inti Wasi.....	107
ANEXO B Resultados de los ensayos de compresión de las probetas de micelio de Ganoderma lucidum (Curtis) P. Karst. Desarrollada en sustrato de afrecho de trigo. ....	108

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

Hoy por hoy la fabricación y aplicación de materiales convencionales para procesos de construcción y desarrollo de obras arquitectónicas es una estrategia ampliamente aplicada y controvertida debido al hecho de que la presencia de aquellas sustancias de las cuales están compuestos aquellos materiales de construcción tienden a generar efectos contraproducentes a mediano y largo plazo (Monroy, 2018), la presencia de estos materiales generan impactos perjudiciales en el bienestar y salud de los organismos y del ambiente en el que está en contacto con estas sustancias, alterando aquellos sistemas bióticos y abióticos de manera tanto temporal como permanente (Souza, 2023).

Una de las soluciones actuales con mayor viabilidad es la fabricación y utilización de biomateriales, los mismos que se reconocen como sustancias o materiales de procedencia natural o sintética empleados en procesos de construcción que interactúan con sistemas biológicos (NIBIB, 2019), además del manejo de procesos de micotectura en referencia a los procesos que confluyen elementos teóricos y prácticos de arquitectura y biología con la replicación de estructuras vivas con la propiedad de beneficio del micelio fúngico (Inarquia, 2022), sustentado en la evidencia del aumento en su consumo en deferentes localidades mundiales por sus características de innovación, sostenibilidad y productividad impulsando su investigación y desarrollo (MordorIntelligence, 2022).

Uno de los elementos más empleados en procesos de Micotectura es el hongo *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., el mismo que se define como un hongo de la división basidiomiceto, saprófito en material lignocelulósico perteneciente a cortezas de árboles y conocido comúnmente como Reishi (Avila y Yáñez, 2020). Hoy en día está relacionado con su gran viabilidad y eficiencia para el desarrollo de biomateriales compuestos de tipo polimérico

empleados en procesos arquitectónicos con propiedades rescatables como seguridad de uso y aplicación, biodegradabilidad y capacidad de ser moldeable a una forma en específico (Räut *et al.*, 2021).

Por esta razón la investigación presente se centra en la determinación de las condiciones óptimas de tiempo de maduración y humedad en el cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo alcanzando las propiedades mecánicas adecuadas de las piezas de micelio obtenidas, siendo esencial para el impulso a la investigación de este biomaterial y sus características. En el contexto planteado, la investigación motiva a la comprobación de la hipótesis “Si se establecen las condiciones óptimas de cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo, entonces se obtienen propiedades mecánicas adecuadas de las piezas de micelio obtenidas” por medio de levantamiento y tratamiento de datos.

El informe de investigación está estructurado como sigue del modo siguiente: capítulo primero el mismo que gestiona la introducción, planteamiento de la problemática y objetivos general y específicos además de una breve justificación de la temática a analizar. En el capítulo siguiente abarca el marco teórico el mismo que está compuesto por el estado del arte - antecedentes de la temática-, fundamentos teóricos relacionados al estudio y marco conceptual. En el capítulo tercero la descripción de la metodología empleada en la temática de investigación, a continuación, el capítulo cuarto enfocado en el análisis y resultados obtenidos de la investigación y finalizando el capítulo quinto con las conclusiones y recomendaciones respectivas.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La elaboración e implementación de biomateriales para la construcción es una alternativa viable además de segura para la salud y calidad ambiental a comparación de materiales



convencionales, naciendo así el proyecto de determinación de las condiciones idóneas de tiempo de maduración y humedad adecuados en el cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo estableciendo las propiedades mecánicas para procesos de construcción.

Existen diversos estudios que relacionan a *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., con biomateriales empleados en la construcción y con finalidades afines, tal es el caso del enfoque de Răut *et al.*, (2021) con la implementación de cultivos fúngicos para la elaboración de biopolímeros en materiales de construcción con características renovables, seguras, naturales, biodegradables, inertes y moldeables a una forma específica.

Otros ejemplares que ilustran el proceso de aplicación de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., para la elaboración de biomateriales son las investigaciones presentadas por Luna y Muñoz en el año 2019 titulada “Elaboración de un material compuesto biodegradable mediante colonización fúngica de *Ganoderma lucidum* en fibras naturales”, además de la tesis elaborada por Sinailín y Titusunta en el año 2022 titulada como “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”, los mismos que se enfocan en el análisis físico y mecánico de materiales biodegradables obtenidos en base a la acción de estructuras miceliales fúngicas con la aplicación de estándares industriales actualizados.

## **1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Si se establecen las condiciones de cultivo óptimas para piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo es posible obtener propiedades mecánicas adecuadas?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad muchos de los elementos empleados en la construcción poseen sustancias de origen químico que tienen la capacidad de generar impactos nocivos en la salud tanto a corto como largo plazo tales como alergias, irritaciones, procesos asmáticos, desarrollo de cáncer, infertilidad y otras alteraciones (Souza, 2023), en adición a ello se resalta el impacto negativo en la calidad del ambiente principalmente por los procesos de fabricación de estos materiales y la liberación de diferentes compuestos a fuentes hídricas, además de las emisiones a la atmósfera primordialmente por el polvo que desprenden (Monroy, 2018).

Para Freire-Vinueza *et al.*, (2021), con el transcurso de los años se ha dado una variedad de informes y denuncias sobre la contaminación ambiental y aumento considerable del cambio climático por la elaboración de materiales de construcción principalmente por el acrecentamiento del consumo de aquellos materiales fundamentado en el crecimiento de las urbes, se evidencia que en las últimas cuatro décadas se ha triplicado la extracción de materias primas provenientes de la tierra generando un aumento en los requerimientos de combustibles fósiles, componentes de tipo metálico y materiales similares generando un aumento considerable del cambio climático, aumento de la contaminación de tipo atmosférico, de suelos e hídrica además de la reducción de la biodiversidad y disminución de la disponibilidad de recursos naturales generando como resultado patrones de consumo y producción insostenibles.

Actualmente el mercado de biomateriales ha aumentado su crecimiento debido a su rentabilidad, sostenibilidad e innovación en el campo, generando mayores aplicaciones para el desarrollo de estructuras arquitectónicas y funcionales, además, que con aquellas mejoras y aplicaciones se presentan varias fuentes de generación de ingresos; los países que poseen mayores inversiones y enfocan aquellas innovaciones y esfuerzos en el desarrollo de biomateriales para la construcción son Estados Unidos, Canadá, México, Alemania, Reino Unido, Francia, España, China, Japón, India, Brasil y Argentina, evidenciando que en varias

partes del mundo se han dado enfoques positivos hacia la aplicación y desarrollo de biomateriales, promoviendo la investigación en otros países del mundo (MordorIntelligence, 2022); con todo lo antes expuesto se evidencia la importancia de la aplicación de biomateriales como una alternativa sostenible, innovadora, resiliente con el ambiente y con miras a su estabilidad y reproducibilidad a gran escala a futuro.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar las condiciones óptimas de tiempo de maduración y humedad en el cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo alcanzando las propiedades mecánicas adecuadas de las piezas de micelio obtenidas.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Reproducir diferentes metodologías de cultivo de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., mediante la revisión de artículos científicos y bibliografía especializada para la identificación de protocolos susceptibles a su replicación en el laboratorio.
- Identificar la cepa de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., procedente de cepas comerciales obtenidas mediante técnicas microbiológicas para su implementación en los procesos de micotectura.
- Obtener diferentes muestras de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., para el análisis de sus propiedades mecánicas.
- Establecer las condiciones de tiempo y humedad óptimas en el cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., mediante técnicas estadísticas para la definición de la metodología adecuada de acuerdo con las propiedades mecánicas obtenidas.

## **1.5 HIPÓTESIS**

Si se establecen las condiciones óptimas de cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo, entonces se obtienen propiedades mecánicas adecuadas de las piezas de micelio obtenidas.

## **1.6 LIMITACIONES**

Las limitaciones presentes en el proceso de desarrollo de la investigación se centran en la capacidad de desarrollo del tamaño de la muestra reducido principalmente por el espacio de los laboratorios designado para los procesos de desarrollo y expansión fúngica -falta de incubadoras y espacio para el volumen de lotes requerido-, probabilidad de contaminación por el contacto con otros microorganismos presentes en los sistemas de incubación además de las limitaciones económicas con respecto a los insumos o equipos requeridos para el proceso.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ESTADO DEL ARTE –ANTECEDENTES-

En la actualidad estudios como el realizado por Susel *et al.* (2021), con el objetivo del diseño de biomateriales mediante propagación del micelio fúngico de *Ganoderma lucidum* en residuos agroindustriales -desechos de cáscaras de nuez y aserrín de roble- además de la caracterización de sus propiedades con la aplicación de pruebas físicas, estructurales y mecánicas y comparación con literatura previa sobre materiales generados a base de micelio, concluyendo que el biomaterial obtenido presentaba alta resistencia a la deformación y considerable densidad media afirmando su potencia para reemplazar al poliestireno mediante su caracterización amplia y estandarización, o el estudio de Ávila y Yáñez (2020) con el objetivo de la elaboración y comparación del rendimiento de biomateriales basados en el crecimiento de micelio de *Ganoderma lucidum* en diferentes sustratos –aserrín de eucalipto, residuos de caña y cacao fraccionado- para su aplicación como suplemento de insumos sintéticos como el poliestireno, concluyendo que la aplicación de residuos con altas cantidades de celulosa y lignina como los procedentes de residuos de caña son ideales para el crecimiento micelial.

Con respecto al ámbito biotecnológico estudios como los realizados por Zhu *et al.*, (2022); Xu *et al.*, (2023); Wang *et al.*, (2023); Qiu *et al.*, (2023); Zou *et al.*, (2022); Li *et al.*, (2022); Blundell *et al.*, (2023) y Shamim *et al.*,(2023), resaltando las propiedades regenerativas, antioxidantes, reductor de radicales libres, estabilizador y eliminador de sustancias que generan metilación celular mediante sus respectivos ensayos en laboratorio -extracción de principios activo mediante extracciones acuosas, etanólicas, etc.- con la finalidad de evaluar su eficacia y aplicabilidad en ámbitos médicos y de biorremediación, centrados en los objetivos de análisis de metabolitos presentes en *Ganoderma lucidum* mediante la aplicación de tecnología

metabolómica y concluyendo que existe la presencia de metabolitos ácidos con capacidad benéfica en aspectos energéticos y metabólicos.

En adición a lo antes expuesto, en los artículos de Bazan (2020), Hielscher Ultrasonics (2023), Molina y Sánchez (2021) y Mariani *et al.*, (2021) con el objetivo de extracción de quitina proveniente de *Ganoderma lucidum* mediante técnicas químicas para la elaboración de objetos similares a ladrillos con la finalidad de la conformación de biomateriales compuestos con miras a su aplicación en ámbitos de construcción en suplementación de otros componentes convencionales como cemento o materiales minerales, concluyendo que con estos procesos extractivos y de elaboración de materiales se da la posibilidad para que los mismos sean empleados para la construcción de estructuras con dureza, resistencia a las roturas y con soporte a cantidades considerables de presión con la posibilidad de reemplazar polímeros plásticos empleados actualmente para la edificación y similares.

Otras investigaciones como la de Răut *et al.* (2021), De Madrignac y Flecha (2019), Rosas y Meraz (2022), Campusmana y Salazar (2018), Naranjo y Toro (2021), Karro y Leet (2022) y Montoya *et al.*, (2018) con el objetivo de comparación de diferentes microorganismos con la capacidad de generar micelios con aplicabilidad en procesos de Micotectura resaltando la versatilidad y facilidad de uso de *Ganoderma lucidum* con respecto a otras cepas con la finalidad de su aplicación en los procesos de elaboración de biomateriales compuestos mediante procesos de micotectura, afirmando que este hongo posee mejores propiedades para ser implementado con este fin, haciendo un enfoque en el desarrollo de biomateriales compuestos mediante la utilización de sustratos lignocelulósicos para el cultivo de macromicetos de *Ganoderma lucidum* además de su análisis mediante microscopía electrónica de barrido y óptica para así obtener un biomaterial con características renovables, seguras, naturales, biodegradables, inertes y moldeables a una forma específica, con respecto a sus análisis mecánicos se evidenciaron características favorables en relación a la compresión y

aislamiento térmico abriendo nuevas posibilidades para su implementación en el ámbito de la construcción.

Como se citó en las investigaciones de Luna y Muñoz (2019) titulada como “Elaboración de un material compuesto biodegradable mediante colonización fúngica de *Ganoderma lucidum* en fibras naturales” con el objetivo de evaluación de condiciones de crecimiento del microorganismo *Ganoderma lucidum* en diferentes sustratos enfocados en residuos de tipo lignocelulósico –bagazo de fique, caña y coco-, concluyendo que las condiciones de velocidad de crecimiento son más favorables con el sustrato de coco y que las características mecánicas óptimas –resistencia a la compresión y flexión- se presentan en las piezas desarrolladas en sustrato de bagazo de caña; y “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” de Sinailín y Titusunta (2022) centrada en el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de piezas obtenidas en base al desarrollo de micelio fúngico de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* y residuos agroindustriales de trigo y cebada, mediante ensayos –pruebas de densidad, absorción, resistencia a la flexión, tensión y compresión-, concluyendo que el micelio de *Ganoderma lucidum* posee características físico-mecánicas más favorables y similares a las de los plásticos espumados y expandidos como el poliestireno o materiales compuestos de alto rendimiento como resinas que las de *Pleurotus ostreatus* en condiciones de cultivo semejantes certificando sus propiedades con respecto a normativas estándar.

Investigaciones subsiguientes presentadas por Dueñas (2022), Feijoo *et al.*, (2021), Gallegos (2022), AMF (2022), Rivera y Coronel (2022), Sheldrake (2020) y Salgado (2021), con el objetivo de la evaluación del potencial de diferentes ejemplares fúngicos para la elaboración de biomateriales mediante la aplicación de residuos de origen vegetal con alta cantidad de componentes lignocelulósicos y producidos por el micelio fúngico además de su

identificación molecular, análisis de variabilidad de velocidad de crecimiento en medios de cultivo selectivos y sustratos vegetales con la finalidad de su aplicación en procesos de micotectura, concluyendo que las especies fúngicas poseen velocidades de crecimiento más óptimas que las de cepas comerciales en diferentes sustratos para la conformación de biomateriales además que sus características físicas, químicas y mecánicas evidenciando su aplicabilidad para procesos de Micotectura.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Biomateriales**

Los biomateriales son definidos como cualquier sustancia, superficie o construcción que posee la habilidad de interactuar con sistemas bióticos o abióticos, estos materiales poseen procedencia tanto natural o sintética mediante acción en laboratorio para su desarrollo (NIBIB, 2019), su aplicabilidad es muy variada y generalmente se conoce en el ámbito de la biomedicina, sin embargo, existen más aplicaciones como lo es en los ámbitos de la construcción y la industria con la aplicación de materiales biomiméticos, insumos autorreparables, subproductos empleados en materiales de embalaje, aspersión de biofibras de alta resistencia, entre otras (ATRIA Innovations, 2021).

### **2.2.2 Micotectura**

La Micotectura es definida como un proceso que incluye fundamentos de arquitectura y biología mediante la generación de estructuras vivas, las mismas que se benefician de las oportunidades que ofrece el micelio derivado de los hongos para el desarrollo de construcciones con la característica de ser más sostenibles con bajos costos para su implementación (Inarquia, 2022).

### **2.2.3 Hongos**

Organismos y microorganismos pertenecientes al dominio eucariota y reino fungi, generalmente son considerados como organismos parásitos o mutualistas con materia orgánica



que presenta procesos de descomposición, morfológicamente poseen paredes celulares compuestas por diferentes sustancias químicas –una de las más abundantes es la quitina-, poseen procesos de fructificación mediante esporocarpos –estructuras que poseen esporangios para la dispersión de estructuras reproductivas-, su alimentación se da mediante la absorción de elementos disueltos o componentes de otros organismos además de que presenta digestión externa mediante la síntesis enzimática, los hongos más empleados son las setas, mízcalos, champiñones, mohos y conifharas (Pérez y Gardey, 2021).

#### **2.2.4 *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

*Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., es un hongo de tipo basidiomiceto, su nombre común varía de acuerdo a la zona, sin embargo, es conocido mayormente como Reishi, este hongo se ubica en varias zonas que poseen climas cálidos y alta presencia de humedad, se caracteriza por ser un hongo saprófito presente en grietas o heridas de la corteza de los árboles además de material lignocelulósico muerto (Avila y Yáñez, 2020).

#### **2.2.5 Condiciones consideradas en el cultivo de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

Las condiciones de cultivo hacen referencia a la interacción de los medios químicos de sustento empleados para el crecimiento y desarrollo microbiano además de un compendio de condiciones adecuadas tales como la temperatura, porcentaje de humedad relativa y ambiental, presión de oxígeno, pH y otros semejantes (MDM Científica, 2021), algunos de ellos se describen a continuación.

#### **2.2.6 Tiempo de cultivo**

El término tiempo hace referencia a una magnitud física con la que se facilita el orden de continuidad de diferentes hechos o acontecimientos además de cuantificar la diferencia entre la duración de un evento con otro, la unidad básica del tiempo es el segundo sin embargo esta unidad puede ser empleada con múltiplos como horas, días, semanas, meses, años, etc.

(Rodríguez, 2022), con respecto a *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., el tiempo en el que se genera una colonización y desarrollo de micelio se presenta entre los días 30 y 55, el mismo que dependerá de las condiciones de cultivo, sin embargo, de acuerdo con las diferentes investigaciones se presenta este rango como un promedio (Susel *et al.*, 2021).

### **2.2.7 Suplementos empleados para el sustrato**

Para la suplementación correcta es necesario considerar los componentes a emplear en el sustrato, en esencia se requieren cinco elementos químicos para la estimulación del crecimiento y desarrollo adecuado del micelio los mismos que son Ca, S, N, C y Mg (Mycelior, 2018), algunos de ellos están presentes en sustancias orgánicas y otros como minerales, los mismos que se detallan a continuación.

### **2.2.8 Afrecho de trigo**

El afrecho de trigo se define como un subproducto adquirido de la molienda de diferentes especies de trigo -*Triticum aestivum* y *Triticum durum*- en el proceso de elaboración de harina de trigo, posee el pericarpio y endospermo de estos ejemplares, generalmente es empleado para la elaboración industrial o casera de alimentos para animales como aves, cerdos, camarones y bovinos, presenta coloraciones marrón claro a rojizo dependiendo del grano de trigo empleado, olor característico a trigo, aspecto de cascarillas u hojuelas finas (Proserur, 2021).

### **2.2.9 Melaza**

Para Lauric *et al.*, (2021) la melaza o también definida como miel de caña es una sustancia líquida y espesa que presenta coloraciones pardas oscuras además de un sabor dulce, es obtenida mediante el proceso de cocción del jugo de caña con la finalidad de que se evapore parcialmente el agua presente y así adquirir una consistencia viscosa y semicristalizada, generalmente es empleada como un suplemento de tipo energético en la alimentación de ganado y otros animales rumiantes además del consumo humano, se caracteriza por poseer y

aportar urea además de azúcares solubles -69.6 gramos por cada 100 gramos de melaza-, minerales -Na, Ca, K, Fe, Mg y P-, proteínas -2.4 gramos por cada 100 gramos de melaza- y ciertas vitaminas -Niacina y Ácido Pantoténico- (YAZIO, 2022).

### **2.2.10 Análisis de calidad de biomateriales**

El análisis de biomateriales es un proceso importante para la optimización del desarrollo y elaboración de los mismos, garantizando su inocuidad y evitando así la aparición de fallas o patologías de los materiales -químicas, físicas, mecánicas, etc.- las mismas que comprenden fallos, lesiones o carencias en los biomateriales que si no son corregidas pueden generar detrimentos de diversa índole (INFINITIA Research, 2020).

### **2.2.11 Normas ASTM**

La normativa ASTM hace referencia al compendio de procedimientos y principios propuestos para procesos investigativos y de desarrollo, sistemas de análisis de calidad, análisis y comprobación de una gran variedad de productos y su respectiva transacción comercial global (AEC, 2019), los tipos de normativas ASTM se relacionan con las normas de construcción las mismas que están conformadas por más de 1300 normativas independientes -adhesivos, cemento, albañilería, construcción, insumos para techos y madera o materia similares-, acero -acero, acero inoxidable, acero estructural y ferríticos de carbono-, metales -cobre, aluminio y hierro fundido-, plásticos -plásticos, materiales celulares, piezas modeladas de plástico, madera plástica y plástico reciclado- y pinturas -recubrimientos, esmaltes, pigmentos, solventes, barnices y revestimientos- (Aceropedia, 2022).

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.3.1 Materiales de construcción**

#### **2.3.1.1 Materiales de construcción convencionales más empleados**

Se define como material de construcción al producto o materia prima que se requiere en procesos de construcción de estructuras arquitectónicas o de ingeniería civil, generalmente son requeridos en altas cantidades por lo que deben ser abundantes y presentar costos reducidos de adquisición y procesamiento además de perdurar con el transcurso de tiempo, en la actualidad los materiales de construcción se clasifican en materiales pétreos como el granito, cemento, hormigón, cerámicos como la arcilla, metálicos como el aluminio, hierro, cobre y sintéticos como plásticos elaborados en base al petróleo (Calvo, 2021).

#### **2.3.1.2 Características generales de los materiales de construcción**

Para Calvo (2021), las características que deben cumplir los materiales de construcción se relacionan con la durabilidad en base a su uso, además de propiedades de dureza, resistencia de tipo mecánico, resistencia a la ignición, facilidad de limpieza, densidad del material, higroscopicidad -absorción de humedad-, coeficientes de dilatación, conductividad térmica, elasticidad, plasticidad y rigidez, dependiendo del material presentarán diferentes especificaciones las mismas que deben ser consideradas para el proceso de construcción.

#### **2.3.1.3 Nocividad de los materiales de construcción convencionales**

El término nocividad hace referencia a la cualidad de una sustancia u objeto que genera daño o perjuicio a la salud o integridad (RAE, 2023), en relación con los materiales de construcción se evidencia la presencia de sustancias tóxicas que se encuentran presentes en ambientes tanto interiores como exteriores, las sustancias que están en mira para ser clasificadas como nocivas para la salud son compuestos orgánicos de tipo volátil y semivolátil, formaldehído, radón gaseoso, asbesto, óxido nitroso y nanopartículas, los mismos que poseen las propiedades para causar reacciones patológicas como alergias, prurito, alteraciones

neumológicas y en el sistema nervioso, defectos congénitos, desarrollo de actividad neoplásica en tejidos, entre otros (Armendáriz y Arvizu, 2020).

## **2.3.2 Biología y ramas de estudio**

### **2.3.2.1 Biología**

La biología es una rama de las ciencias encargada del estudio de los seres vivos – organismos animales, vegetales, hongos, microorganismos-, su origen, procesos de evolución, vitales, interacción con el ecosistema y características morfológicas, anatómicas, histológicas y fisiológicas de estos organismos, su importancia radica en el establecimiento de las diferentes leyes y comportamientos que dirigen los procesos vitales –origen de la vida, evolución y complejidad-, todos estos estudios poseen la finalidad de generar investigaciones y estudios para el descubrimiento de diferentes características, requerimientos, metodologías y aplicaciones para el mejoramiento de la calidad de vida, esta ciencia se relaciona con otras como anatomía, bacteriología, bioquímica, botánica, ecología, genética, filogenia, inmunología, entre otras (Fernandes, 2023).

### **2.3.2.2 Microbiología**

Definida como una rama de las ciencias biológicas enfocada en el estudio de microorganismos –clasificación, descripción, taxonomía, análisis morfológico, fisiológico e interacción con otros microorganismos y organismos de manera benéfica o patológica-, se centra en el estudio de microorganismos –células, hongos, virus, bacterias y sus componentes- mediante la aplicación de equipos de amplificación denominados como microscopios, posee diferentes ramas como la parasitología, bacteriología, micología y virología y se clasifica en microbiología de tipo veterinaria, fitopatología, agrícola, genética microbiana, entre otras, además su importancia radica en su aplicación en diversas ramas que mejoran la calidad de vida como medicina mediante diagnóstico de microorganismos patógenos y enfermedades infecciosas, ramas industriales con la aplicación de microorganismos transformadores de

biomasa en energía o aplicación de mejoramiento para su aplicación en la elaboración de sustancias químicas o elementos esenciales en otros procesos productivos (Etecé, 2021).

### **2.3.2.3 Micología**

Rama de la ciencia enfocada en el estudio de los hongos, sus características y mecanismos implicados en su crecimiento –cultivo y características de desarrollo-, alimentación, interacción –simbiosis y parasitismo- y metabolismo –alimentación y reproducción-, esta rama empieza contempla procesos de descripción y clasificación de hongos –hongos filamentosos, levaduriformes y dimorfos-, análisis de sus metabolitos y sustancias químicas, aplicación en procesos alimenticios, aplicación en farmacognosia, producción de estructuras, aplicación en biodegradación de residuos, entre otros (Pérez y Gardey, 2022).

#### **2.3.2.3.1 Técnicas empleadas en micología**

##### **2.3.2.3.1.1 Técnicas de cultivo de hongos**

Las técnicas de cultivo de hongos se centran en el aislamiento de muestras de estos hongos y su aplicación en medios con componentes minerales y condiciones óptimas para su crecimiento, desarrollo o reproducción, dependiendo de sus características pueden desarrollarse en medios de tipo líquido, sólido o semisólido con la finalidad de la conformación de colonias con capacidad de visualización y detección de contaminantes en aquellos cultivos puros, el proceso de cultivo contempla la siembra mediante uso de pipetas Pasteur y estriado en el medio de cultivo –metodología de cuadrante radial-, sellado de las caja Petri e incubación además de la revisión de las características de las colonias, frotis, tinción y análisis microscópico (Mejía, 2021).

##### **2.3.2.3.1.2 Técnicas de tinción fúngica**

En el proceso de identificación de microorganismos fúngicos se genera mediante la observación de estas estructuras con la característica de requerir nitidez y contraste con la

aplicación de sustancias de tinción que pudiesen diferenciar sus estructuras –paredes y citoplasma celular-, generalmente se emplean tinciones que poseen sustancias químicas como fenol, ácido láctico, azul de algodón, fucsina ácida y otros semejantes, el proceso de tinción se basa en el uso de colonias fúngicas –láminas semipermanentes de impresiones con cinta adhesiva- adición de colorantes –azul de anilina, lactofenol o fucsina ácida- y su visualización en el microscopio con lente de 10X y 40X (González *et al.*, 2011).

### **2.3.2.3.1.3 Identificación morfológica de hongos**

El proceso de identificación de hongos se relaciona con la aplicación de exámenes macroscópicos de colonias –forma de colonia, color superficial, textura, síntesis de pigmentos- y características microscópicas –morfología microscópica por su forma particular, metodologías de producción, organización de esporas, tamaño y disposición de sus hifas-, estas técnicas de identificación pueden llevarse a cabo mediante preparaciones en fresco o con cinta adhesiva y aplicación de tinciones, cultivo sobre portaobjetos, pruebas de tubo germinativo, producción de cápsula o pruebas selectivas para detección de ureasa (Martí *et al.*, 1998).

## **2.3.3 *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

### **2.3.3.1 Taxonomía de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

La publicación perteneciente al Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias en el año 2023 describe la jerarquía taxonómica de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., la misma que se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 1.***Taxonomía de Ganoderma lucidum (Curtis) P. Karst.*

Componente taxonómico	Ítem analizado
Reino	Fungi
División	Basidiomycota
Subdivisión	Agaricomycotina
Clase	Agaricomycetes
Orden	Poliporales
Familia	Ganodermataceae
Género	Ganoderma
Especie	<i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.

Nota: Autor.

**2.3.3.2 Morfología y reproducción de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

A nivel macroscópico el cuerpo fructífero de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., presenta en su morfología tres segmentos claramente evidenciables: píleo –sombrero-, estípite –pie- e himeno –láminas-, presenta basidiocarpos que crecen anualmente llegando a presentar dimensiones entre 40 a 50 centímetros de ancho y hasta un metro de diámetro (Roa et al., 2018), se puede evidenciar como un hongo coriáceo con su sombrero o píleo en forma arriñonada de colores variables siendo el más común el color café rojizo (Avila y Yáñez, 2020), su reproducción se caracteriza por ser asexual llevándose a cabo mediante esporas que poseen tamaños entre 4 a 6µm de color blanquecino o cremoso.

**2.3.4 Ensayos mecánicos****2.3.4.1 Ensayo de compresión**

Los ensayos de compresión son metodologías empleadas para la caracterización del comportamiento de un material expuesto a una carga de compresión, en este ensayo se ejerce cierta presión sobre una probeta con la acción de platos de compresión mediante el cual se determinan diferentes propiedades del material al que se hace referencia, los datos arrojados del ensayo representan resultados diagramados que relacionan las propiedades de tensión y deformación que definen el límite elástico, de proporcionalidad, fluencia y resistencia a la



compresión, existe una gran variedad de instrumentos empleados en el proceso, los más importantes son los platos de compresión de 0.90mm, 0.200mm y 400x600mm; en adición a ello existen diferentes ensayos en base a normativas que se emplean para materiales celulares flexibles -ASTM D3574-17 y ASTM D695-15-, análisis de cizallamiento de plásticos reforzados -ASTM D3846-08-, compresión en goma -ASTM D575-91-, entre otras (ZwickRoell Ecuador, 2021).

#### **2.3.4.2 Ensayo de dureza**

El ensayo de dureza es una metodología que facilita la evaluación de las propiedades de fuerza, ductilidad y resistencia al desgaste de un material, además de evaluar la resistencia de un material al proceso de deformación permanente a través de la penetración con otro material con mayor dureza generando valores interpretables en relación con la carga aplicada en un penetrador, perfil de tiempo de carga específico, duración específica de la carga y geometría específica del penetrador, los ensayos de dureza consisten en la presión de un penetrador de carga y medidas específicas sobre la parte superficial de un material, la dureza se determina a partir de la medición de la profundidad de penetración o tamaño de impresión del penetrador, los métodos de ensayo de dureza más empleados son los ensayos Rockwell -ASTM E18-, ensayo de penetración instrumentado, dureza de penetración de bola -ASTM A965-, Vickers -ASTM E92 y ASTM E384-, Knoop -ASTM E92 y ASTM E384-, Brinell -ASTM E10- y Shore -ASTM D2240-, los mismos que se emplean de acuerdo a la microestructura, composición, tamaño y estado del material a evaluar (Struers, 2018).

#### **2.3.4.3 Ensayo de impacto**

El ensayo de impacto es un conjunto de evaluaciones realizadas a un material con la finalidad de aportar con información sobre el fallo de aquel material al ser sometido a la acción de cargas breves con variabilidad de temperaturas, emplea metodologías de péndulos de impacto y caída libre las mismas que facilitan el análisis de fractura con respecto a un rango de

temperaturas, los ensayos de impacto más empleados son los ensayos Izod -ASTM D256 y D4508- y Charpy -ASTM D6110-, con respecto a los ensayos de impacto Charpy estos emplean probetas sin entalla con impacto en los lados estrechos de la misma, sus datos se registran mediante una curva temporal de fuerza los mismos que pueden ser diagramados con respecto a los valores de fuerza y recorrido, los ensayos de impacto pueden ser realizados en varios materiales tales como metales, polímeros, plástico, entre otros (ZwickRoell Ecuador, 2019).

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es de tipo cuantitativa con datos secundarios con la finalidad de analizar las propiedades mecánicas de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo -valores numéricos-, será longitudinal debido que se va a dar en un lapso de tiempo definido en relación a las actividades investigativas y experimental debido a que se va a realizar el proceso y análisis en laboratorio con la implementación de técnicas analíticas, en adición a ello se emplearán técnicas retrospectivas debido que se da la recolección de datos para su posterior análisis cuando se exponen a condiciones específicas y con un alcance explicativo al correlacionar el manejo de variables como causales de diferentes comportamientos del experimento.

#### **3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación posee un diseño de tipo experimental enfocado al análisis y manipulación de variables con relación a la implementación de técnicas de laboratorio para la obtención de piezas de micelio además de la determinación de sus propiedades mecánicas, en adición a ello se van a emplear métodos histórico-lógicos en relación a la consulta de fuentes bibliográficas en las que se presentan datos de técnicas a emplear como antecedentes útiles para el desarrollo de la investigación, diseño de análisis y síntesis en relación a la conceptualización de las diferentes terminologías y protocolos aplicables para generar una adecuada experimentación además de emplear estudios de medición de variables en base a datos secundarios para el contraste del comportamiento de las variables con respecto a resultados anteriores.

Por otro lado, un diseño hipotético-deductivo en relación al trabajo con la hipótesis anteriormente planteada y con los diferentes métodos para llegar a comprobar su efectividad

para solucionar el problema formulado, además en base a las actividades a realizar para el desarrollo en laboratorio es esencial emplear métodos experimentales en relación a la implementación de protocolos y marchas analíticas.

### **3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL**

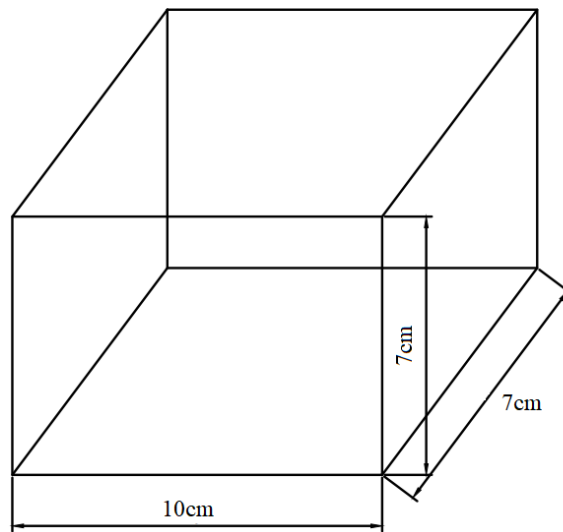
Con respecto al diseño experimental se va a aplicar un diseño experimental puro con la aplicación de un modelo de superficie con la finalidad de disminuir los errores aleatorios y no aleatorios en el proceso de optimización, los mismos que requieren el control de las variables presentes en su desarrollo - enfoque en grupo de control asignado al azar y grupo experimental asignado al azar-, en adición a ello pretende emplear análisis estadísticos para la aceptación o declinación de una hipótesis estableciendo así una relación causal entre las variables considerando los factores de grupos de comparación, manipulación de variables -2 variables de entrada y 3 de salida que por efectos del caso son representados como variables independiente y dependiente respectivamente en la sección anterior, las mismas que poseen 3 niveles de medición nominal- y su distribución al azar, estando de acuerdo con los criterios de validez interna y externa, se van a utilizar un total de 27 placas de micelio, dónde se aplicarán 3 ensayos -compresibilidad, dureza e impacto-, arrojando un total de 81 muestras, las mismas que se analizarán estadísticamente con 1 variable combinada -tiempo y valores de humedad-, por triplicado.

#### **3.3.1 Unidad experimental**

La unidad experimental se va a enfocar en las piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., desarrolladas en sustrato de afrecho de trigo con las características de estar elaboradas en moldes de acetato de forma rectangular que cumpla con las dimensiones de 7cm de ancho por 10cm de largo y 7cm de alto.

**Figura 1.**

*Unidad experimental empleada en la investigación.*



Nota: Autor.

**3.3.2 Esquematización del diseño experimental**

El compendio de variables y repeticiones se representan esquemáticamente en la siguiente tabla:

**Tabla 2.***Distribución de variables y repeticiones empleadas en la experimentación.*

Variables de entrada		No. de repetición	No. de prueba	Variables de salida		
Tiempo de maduración (días)	Humedad del sustrato (%)			Ensayos mecánicos		
				Dureza	Impacto	Compresión
14	55	1	P1	A1	A2	A3
14	55	2	P2	B1	B2	B3
14	55	3	P3	C1	C2	C3
28	55	1	P4	D1	D2	D3
28	55	2	P5	E1	E2	E3
28	55	3	P6	F1	F2	F3
42	55	1	P7	G1	G2	G3
42	55	2	P8	H1	H2	H3
42	55	3	P9	I1	I2	I3
14	65	1	P10	J1	J2	J3
14	65	2	P11	K1	K2	K3
14	65	3	P12	L1	L2	L3
28	65	1	P13	M1	M2	M3
28	65	2	P14	N1	N2	N3
28	65	3	P15	Ñ1	Ñ2	Ñ3
42	65	1	P16	O1	O2	O3
42	65	2	P17	P1	P2	P3
42	65	3	P18	Q1	Q2	Q3
14	75	1	P19	R1	R2	R3
14	75	2	P20	S1	S2	S3
14	75	3	P21	T1	T2	T3
28	75	1	P22	U1	U2	U3
28	75	2	P23	V1	V2	V3
28	75	3	P24	W1	W2	W3
42	75	1	P25	X1	X2	X3
42	75	2	P26	Y1	Y2	Y3
42	75	3	P27	Z1	Z2	Z3

Nota: Autor.

### **3.3.3 Variables**

#### **3.3.3.1 Variable dependiente**

La variable dependiente según su naturaleza será cuantitativa continua y compleja la misma que comprende a las propiedades mecánicas, las dimensiones a considerar son tres representadas por la compresibilidad, dureza e impacto presentes en las piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., desarrolladas en sustrato de afrecho de trigo y su respectivo indicador en referencia a los valores de compresión -kPa-, dureza -Shore A sin unidades- e impacto -Nm- evidenciadas.

#### **3.3.3.2 Variable independiente**

Según las variables independientes, son cuantitativas simples discretas y se representan por las condiciones de cultivo en relación con la maduración y humedad en el sustrato, sus correspondientes indicadores son el tiempo en días y humedad en porcentaje.

#### **3.3.3.3 Variable interviniente**

Estas variables se representan con las condiciones de calidad de la materia prima -afrecho de trigo- en relación a su pureza o por el contrario el contenido de sustancias ajenas o contaminantes que pudiesen afectar el proceso o el producto y porcentaje de  $CO_2$  presente en la cámara de incubación o estufa en la que se encuentre presente el cultivo de micelio y las placas.

### **3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Las técnicas e instrumentos a emplear se describen de acuerdo a los siguientes criterios: se va a emplear un diseño de investigación de tipo documental con una técnica de análisis documental mediante instrumentos como el uso de fichas e insumos tecnológicos de registro, técnicas de análisis de contenido mediante instrumentos como esquemas de registro y clasificación de información a obtener [Figura 29], además de un diseño de investigación de

campo haciendo referencia a la implementación de técnicas de observación no estructurada implementando instrumentos como diarios de campo con el registro de cambios evidenciados mediante observación de la experimentación realizada en el laboratorio [Figura 30], además se empleará un diseño experimental puro el mismo que requiere de técnicas estadísticas y experimentales mediante instrumentos de laboratorio y analíticos.

### 3.5 MÉTODOS DE MANEJO ESTADÍSTICO DE DATOS

El manejo estadístico de datos se dividirá en dos momentos, el primero que es el procesamiento de datos mediante la aplicación de diagramas de cajas y bigotes, y el segundo momento que comprende el análisis estadístico el mismo que va a constar de la aplicación de un modelo de superficie, centrándose en la optimización de las diferentes respuestas o variables de salida que se emplean en la experimentación con diseños de cribado o factoriales con la finalidad de entendimiento de una región de superficie modelado como alteraciones de las variables que modifican una respuesta esencial al análisis, además del hallazgo de niveles de variables que permitan la optimización de sus características y la selección adecuada de condiciones operativas (Minitab Statistical Software, 2021) las mismas que en este caso se prescinden al haber determinado las variables de maduración y humedad, en adición a ello se empleará un diseño central compuesto con valores axiales y centrales -valores de las variables seleccionadas de acuerdo a criterios previamente especificados- además de la aplicación de bloques ortogonales, planteando las siguientes hipótesis.

- **HO:** De acuerdo a las condiciones óptimas de tiempo y humedad de cultivo se obtienen propiedades adecuadas de dureza, compresión e impacto.
- **HN:** De acuerdo a las condiciones óptimas de tiempo y humedad de cultivo no se obtienen las propiedades adecuadas de dureza, compresión e impacto.



### 3.6 PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

En este apartado se realizará una breve descripción de los métodos a emplear en la investigación con la finalidad del cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., tratamiento y determinación de las propiedades mecánicas de las mismas mediante diferentes técnicas y metodologías, las cuales son detalladas a continuación.

#### 3.6.1 Materiales, equipos y reactivos empleados en los procesos

**Tabla 3.**

*Materiales, reactivos y equipos empleados en los diferentes procesos.*

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
Bisturí	Agar PDA (Papa	Incubadora
Placas Petri	Dextrosa)	Cocineta
Cinta adhesiva	Agua destilada	Microscopio óptico compuesto
Papel aluminio	Azul de Lactofenol	Cámara de flujo laminar
Algodón	Aceite de inmersión	Autoclave
Asa microbiológica	Alcohol 70%	Balanza analítica
Porta objetos	Afrecho de trigo	Estufa
Matraz Erlenmeyer	Melaza	Durómetro Shore tipo A
Luna de reloj	Yeso	Máquina hidráulica universal
Espátula	Micelio de <i>Ganoderma</i>	Maquinaria de ensayo de resiliencia de
Parafilm	<i>lucidum</i> (Curtis) P.	materiales METRO COM
Pinza	Karst.	Módulo SAEL WIN 12 para Charpy
Mechero	Piezas de micelio	
Fundas resistentes al calor		
Placas de acetato		
Calibrador		
Termómetro		

Nota: Información obtenida de Ramírez y Saíenz (2020), Sinailín y Titusunta (2022), Fuentes y Monereo (2020).

#### 3.6.2 Descripción de los procesos experimentales

##### 3.6.2.1 Adquisición de la materia prima empleada como sustrato

La adquisición de materia prima se basó en el análisis del material más adecuado como sustrato base para el desarrollo de hongos, en este caso se seleccionó el afrecho de trigo debido a su alto contenido de sustancias nitrogenadas además de ser un elemento de fácil adquisición e implementación además que el mismo se presenta en forma sólida lo que facilita su

aplicación, en adición a ello y con el análisis bibliográfico se dio la adquisición de melaza y yeso para mejorar el sustrato y aumentar el proceso de desarrollo.

### **3.6.2.2 Elección y obtención del hongo en base a cepas comerciales**

El proceso de selección del hongo se dio mediante revisión bibliográfica para contrastar los organismos más adecuados para el desarrollo y obtención de biomateriales, llegando a la elección de la cepa comercial *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., debido que es la óptima para el proceso, la adquisición del mismo se dio gracias a la empresa Inti Wasi [Figura 32], la misma que certifica la especie a emplear [Anexo A].

### **3.6.2.3 Identificación microscópica de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

El proceso de identificación de la cepa *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., previamente obtenida de la cepa comercial de la empresa Inti Wasi se realiza mediante técnicas microbiológicas, las mismas que se detallan a continuación.

#### **3.6.2.3.1 Elaboración del medio de cultivo**

Para Probiotek (2017), el proceso de elaboración del medio de cultivo -medio PDA- se realiza de la siguiente manera:

1. Pesar la cantidad requerida de agar para realizar el medio.
2. Colocar el agar en el matraz Erlenmeyer.
3. Rehidratar con agua destilada el medio de cultivo de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
4. Homogeneizar y calentar el medio hasta que llegue a punto de ebullición por un lapso de un minuto.
5. Colocar papel aluminio y algodón como tapa del matraz.
6. Autoclavar -121°C por un lapso de 15 minutos-.

7. En la cámara de flujo laminar colocar el medio de cultivo en las cajas Petri y dejar solidificar.

#### **3.6.2.3.2 Inoculación de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

Para Ramírez y Saínz (2020), el proceso de inoculación de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., se realiza de la siguiente manera:

1. Ingresar en la cámara de flujo laminar y esterilizar los implementos con alcohol.
2. Con un bisturí aislar una parte del cultivo inicial de Ganoderma o del cuerpo fructífero del mismo.
3. Con la pinza colocar el pedazo aislado en el medio de cultivo -priorizar que se encuentren en contacto-.
4. Cerrar la caja Petri y colocar Parafilm para sellar adecuadamente y evitar contaminación.
5. Incubar a una temperatura de 28C° por una semana en oscuridad.

#### **3.6.2.3.3 Identificación microscópica de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.**

Para González (2020), el proceso de tinción e identificación microscópica de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., es el siguiente:

1. Ingresar en la cámara de flujo laminar para realizar el proceso, esterilizar con calor o alcohol los implementos y encender el mechero.
2. Abrir la caja Petri que contiene el cultivo primario de Ganoderma.
3. Con el asa microbiológica aislar un pedazo del cultivo y colocarlo en el portaobjetos.
4. Colocar una gota de azul de lactofenol y con el asa mezclar y dispersar.
5. Colocar un portaobjetos y asegurarlo con una cita adhesiva o brillo transparente.

6. Ir al microscopio y observar con diferentes aumentos las estructuras del hongo -micelio, hifas, esporas, conidios-, identificando las estructuras características de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.

### 3.6.2.4 Preparación y adecuación del sustrato

La preparación y adecuación del sustrato es una fase previa esencial para llevar a cabo las demás actividades de manera adecuada por lo que a continuación se describen tanto los materiales, reactivos y equipos como el procedimiento para desarrollar estas etapas.

#### 3.6.2.4.1 Cálculo de cantidades adecuadas para el proceso

Para Sinailín y Titusunta (2022), es necesario preparar el sustrato de acuerdo a cantidades específicas de sus componentes para cumplir así con condiciones específicas de cultivo, resaltando que las cantidades de melaza y yeso se mantienen constantes y variando la cantidad de los demás componentes como se evidencia a continuación.

**Tabla 4.**

*Cantidades de componentes requeridos para la preparación de 1.5kg de sustrato.*

55% de humedad		65% de humedad		75% de humedad	
Componente	Cantidad (g)	Componente	Cantidad (g)	Componente	Cantidad (g)
Afrecho	657.5	Afrecho	507.5	Afrecho	357.5
Agua	825	Agua	975	Agua	1125
Yeso	10	Yeso	10	Yeso	10
Melaza	7.5	Melaza	7.5	Melaza	7.5
<b>Total</b>	<b>1500</b>	<b>Total</b>	<b>1500</b>	<b>Total</b>	<b>1500</b>

Nota: Autor.

#### 3.6.2.4.2 Proceso de adecuación del sustrato

Para Merino (2020), el proceso de adecuación del sustrato se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Pesar el afrecho, melaza, yeso y agua necesarios para cada preparación.
2. Mezclar adecuadamente con las manos los componentes pesados hasta que se presente una consistencia homogénea.

3. Recolectar el material mezclado anteriormente, colocar en las fundas resistentes al calor y pesar.
4. Autoclavar las mezclas realizadas -121°C por 20 minutos-.

El proceso de adecuación de sustrato se puede evidenciar en la Figura 33.

### **3.6.2.5 Cultivo y expansión del micelio**

El proceso de cultivo en base al hongo comercial adquirido y al sustrato elaborado y su posterior expansión se describe a continuación:

#### **3.6.5.2.1 Cultivo de micelio**

Para INTIWASI (2022), el proceso de cultivo del micelio en una concentración del 10% - 50 gramos de micelio inicial en 450 gramos de sustrato preparado-, se realiza de la siguiente manera:

1. Colocar los componentes en mushbags.
2. Añadir una capa de 5 gramos de micelio inicial.
3. Añadir una capa de 50 gramos de sustrato.
4. Repetir los pasos 1 y 2 hasta llegar a la última capa, la misma que debe ser de micelio inicial.
5. Dejar incubar a una temperatura de 28°C y oscuridad por nueve días.

El proceso de cultivo de micelio se presenta en la Figura 34.

#### **3.6.5.2.2 Expansión del micelio**

Para Sinailín y Titusunta (2022), luego de obtener micelio viable luego de los nueve días de incubación, se realiza el proceso de expansión del micelio que se presenta de la siguiente manera:

1. Romper el sustrato que posee micelio y recolectar el material.

2. Dar forma a las piezas de acuerdo a los moldes de acetato previstos -presionar el sustrato en el molde hasta que toma la forma requerida-.
3. Incubar los moldes a una temperatura de 28°C, oscuridad y dependiendo de la muestra dejar un tiempo de 2, 4 y 6 semanas.

El proceso de expansión del micelio se evidencia en la Figura 36.

### **3.6.2.6 Secado de las piezas de micelio obtenidas**

El proceso de secado contempla la eliminación de humedad resultante del proceso de expansión y maduración del micelio, el mismo se describe a continuación:

#### **3.6.2.6.1 Proceso de secado de las piezas**

Para Fuentes y Monereo (2020), el proceso de secado se lleva a cabo mediante el siguiente proceso:

1. Recolectar las placas de acetato que poseen las piezas de micelio.
2. Colocar las placas en estufas a una temperatura de 80°C por tres horas.
3. Retirar las placas de las estufas y dejar enfriar.
4. Desmoldar las piezas de las placas.

El proceso de secado de las piezas de micelio se presenta en la Figura 39.

### **3.6.2.7 Realización de los ensayos mecánicos de compresión, dureza e impacto**

Para establecer las propiedades mecánicas de las piezas de micelio obtenidas es necesario llevar a cabo diferentes ensayos mecánicos tales como compresión, dureza e impacto (INFINITIA Industrial Consulting, 2021).

#### **3.6.2.7.1 Ensayo de compresión**

López (2021) describe un ensayo de compresión, el mismo que posee un procedimiento que se detalla a continuación:

1. Verificar las medidas de las piezas a emplear.
2. Aplicar la carga sobre las bases de la pieza -caras transversales- de manera continua y a lo largo de todo el ensayo para generar una deformación de 0.6mm por minuto.
3. Tomar los valores para la curva esfuerzo-deformación -luego de la presencia de una rotura en el cuerpo de la pieza-.
4. Describir las roturas por compresión de acuerdo al orden de aparición de las mismas, incluir la gráfica e información arrojados por la maquinaria y dibujar la forma de la rotura.
5. Realizar los cálculos de compresión paralela al grano -resistencia máxima a la rotura por compresión axial-.

El proceso de ensayo de compresión en las probetas elaboradas en base a las piezas de micelio se presenta en la Figura 43.

#### **3.6.2.7.2 Ensayo de dureza shore para materiales no metálicos**

Para Carrascal *et al.*, (2020) el ensayo de dureza Shore para materiales no metálicos se realiza con el siguiente proceso:

1. Colocar la pieza de micelio en una superficie dura, plana y en posición horizontal.
2. Mantener el durómetro en posición vertical con la punta del penetrador a una distancia mínima de 9mm de los bordes de la pieza.
3. Aplicar el pie de apoyo sobre la probeta sin golpearlo y manteniéndolo paralelo a la superficie de la pieza.
4. Aplicar una presión adecuada para mantener un firme contacto entre el pie de apoyo y la pieza.
5. Leer la escala del indicador después de un lapso de 15-20 segundos.

6. Realizar 5 mediciones de dureza a diferentes posiciones de la pieza a 6mm y definir el valor medio.

El proceso de ensayo de dureza en las probetas elaboradas en base a las piezas de micelio se presenta en la Figura 44.

### **3.6.2.7.3 Ensayo de impacto**

Zarza *et al.*, (2018), describe el ensayo de resiliencia o impacto Charpy en materiales con el siguiente proceso:

1. Calibrar el equipo con el software “DINA 240 versión 4.0”.
2. Desarrollar el ensayo con el módulo Sael Win 12 para Charpy.
3. Enganchar el martillo.
4. Colocar la pieza sobre los apoyos de la máquina de tal manera que la arista de la maza choque con la cara opuesta a la entalla.
5. Soltar el martillo, romper la pieza y anotar la energía absorbida por la probeta.
6. Disipar la energía del martillo -10 oscilaciones completas-.
7. Anotar el ángulo de resalida del martillo.
8. Imprimir los resultados obtenidos.

El proceso de ensayo de impacto en las probetas elaboradas en base a las piezas de micelio se presenta en la Figura 45.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Identificación microscópica de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.

De acuerdo con los procesos de inoculación y cultivo de las muestras en cajas Petri con medio PDA (Agar Papa Dextrosa), se han proporcionado los siguientes resultados tanto macroscópicos como microscópicos.

##### 4.1.1 Resultados macroscópicos

Los resultados macroscópicos se centran en el tamaño, coloración, consistencia, superficie y forma de las colonias, los mismos que fueron de tamaño grande por su expansión en placa, coloración blanquecina ligeramente amarillenta, consistencia viscosa y friable, superficie aterciopelada y algodonosa con forma circular en la caja Petri, en adición a lo expuesto, estos resultados concuerdan con los estudios de Suárez *et al.* (2012) y Gutiérrez y Trujillo (2019), que expresan similitudes morfológicas con respecto a las estructuras macro del cuerpo fructífero en desarrollo, consistencia y coloración.

#### Figura 2.

*Ejemplar de Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en agar PDA.



Nota: Autor.

### 4.1.2 Resultados microscópicos

Los resultados microscópicos se centran en la observación mediante el uso de microscopio y tinción de azul de lactofenol, evidenciando el micelio con sus respectivas hifas ramificadas y hialinas además de la presencia de basidiosporas características, de la misma manera, estudios realizados por Naranjo (2014), Bidegain (2017) y Suárez *et al.* (2012), las características microscópicas presentes corresponden con las expresadas en la literatura, resaltando la presencia de estructuras de tipo espora truncada con doble pared celular, basidiosporas, clamidosporas -ovoides y hialinas- y sistema de hifas dimítico - hifas hialinas y esqueléticas-.

#### Figura 3.

*Imágenes microscópicas de Ganoderma lucidum (Curtis) P. Karst., -imágenes en aumento 10X y 40X respectivamente-.*



Nota: Autor.

### 4.2 Placas de micelio obtenidas

Se obtuvieron quince placas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo, las mismas se distribuyen de la siguiente manera, tres placas de control con humedad estándar de 45% – con tiempos de maduración de 14, 28 y 42 días respectivamente-, cuatro placas de micelio al 55% -dos placas de maduración de 14 días, una de 28 y una de 42 días-, cuatro placas de micelio al 65% -dos placas de maduración de 14 días, una de 28 y una de 42 días- y 4 placas de micelio al 75% - dos placas de maduración de 14

días, una de 28 y una de 42 días -, de las cuales fueron analizadas doce de ellas debido a que presentaban características adecuadas para la elaboración de probetas y aplicación de ensayos destructivos de compresión, dureza e impacto, estas placas presentan coloraciones blanquecinas, amarillentas o ligeramente crema, algunas placas no generaron un desarrollo completo del micelio por lo que presentaban coloraciones cafés oscuro o ligeramente claro, en relación al olor de las placas, las que poseían desarrollo fúngico no presentaban olor desagradable, sin embargo las que no poseían desarrollo fúngico -ausencia de desarrollo total o parcial-, presentaban olores fétidos debido a la fermentación y proceso de putrefacción del sustrato, estos datos corresponden con los presentados por Sinailín y Titusunta (2022) y Luna y Muñoz (2019), los mismos que describen a las piezas de micelio obtenidas como de consistencia coriácea con particularidades granulosas y coloraciones blanquecinas y amarillentas.

#### **Figura 4.**

*Ejemplares de las placas de micelio obtenidas del proceso.*



Nota: Autor.

#### **4.3 Pruebas físicas realizadas en las placas de micelio: dureza, compresión e impacto.**

De acuerdo con los ensayos, los resultados se describen en las siguientes tablas.

**Tabla 5.**

*Resultados de los ensayos mecánicos de dureza, impacto y compresión con el esquema inicial planteado en la metodología.*

Variables de entrada		Número de repetición	Número de prueba	Variables de salida		
Tiempo de maduración (días)	Humedad del sustrato (%)			Ensayos mecánicos		
				Dureza	Impacto	Compresión
14	55	1	P1	25.70	1.2	93.50
14	55	2	P2	28.05	1.3	94.10
14	55	3	P3	25.40	1.1	90.35
28	55	1	P4	37.00	1.4	136.12
28	55	2	P5	32.50	1.3	115.50
28	55	3	P6	35.50	1.2	110.00
42	55	1	P7	38.50	1.4	177.12
42	55	2	P8	40.20	1.6	165.05
42	55	3	P9	42.40	1.2	190.00
14	65	1	P10	13.75	1.3	38.43
14	65	2	P11	16.90	0.8	29.50
14	65	3	P12	14.75	0.6	35.00
28	65	1	P13	25.75	1.2	118.00
28	65	2	P14	18.50	1.1	125.70
28	65	3	P15	19.50	1.0	108.50
42	65	1	P16	26.62	1.5	740.50
42	65	2	P17	26.38	1.1	29.70
42	65	3	P18	29.50	1.3	28.00
14	75	1	P19	8.75	0.5	68.00
14	75	2	P20	2.50	1.0	55.13
14	75	3	P21	5.65	0.9	66.20
28	75	1	P22	19.10	0.8	63.10
28	75	2	P23	10.00	1.0	55.75
28	75	3	P24	11.80	0.9	61.09
42	75	1	P25	20.00	0.9	42.20
42	75	2	P26	18.00	1.0	20.00
42	75	3	P27	16.00	1.1	24.90

Nota: Autor.

**Tabla 6.**

*Resultados de los ensayos mecánicos en base al tipo de probeta de análisis.*

<b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS</b>			
<b>CÓDIGO PROBETA</b>	<b>DUREZA SHORE A</b>	<b>IMPACTO CHARPY (Nm)</b>	<b>COMPRESIÓN (kPa)</b>
CONTROL14	32.25	1.30	41.24
PIEZAS1455	26.38	1.20	92.65
PIEZAS1465	15.13	0.90	34.31
PIEZAS1475	5.63	0.80	63.11
CONTROL28	36.50	1.30	114.73
PIEZAS2855	35.00	1.30	120.54
PIEZAS2865	21.25	1.10	117.40
PIEZAS2875	13.63	0.90	59.98
CONTROL42	39.38	1.60	116.19
PIEZAS4255	40.25	1.40	177.39
PIEZAS4265	27.50	1.30	266.06
PIEZAS4275	18.00	1.00	29.03

Nota: Los resultados son promedio de las pruebas y sus respectivas réplicas.

**Tabla 7.**

*Resultados de los ensayos mecánicos en base a las condiciones de cultivo.*

<b>Tiempo de cultivo (Días)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>DUREZA SHORE A</b>	<b>IMPACTO CHARPY (Nm)</b>	<b>COMPRESIÓN (kPa)</b>
14	45	32.25	1.30	41.24
14	55	26.38	1.20	92.65
14	65	15.13	0.90	34.31
14	75	5.63	0.80	63.11
28	45	36.50	1.30	114.73
28	55	35.00	1.30	120.54
28	65	21.25	1.10	117.40
28	75	13.63	0.90	59.98
42	45	39.38	1.60	116.19
42	55	40.25	1.40	177.39
42	65	27.50	1.30	266.06
42	75	18.00	1.00	29.03

Nota: Los resultados son promedio de las pruebas y sus respectivas réplicas.

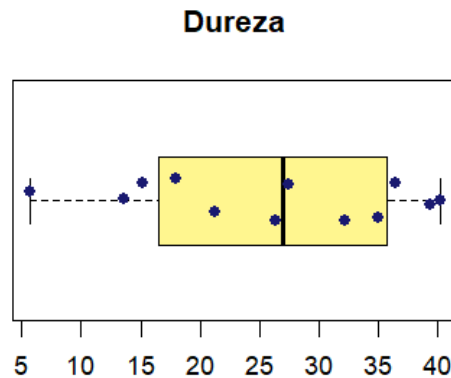
#### 4.4 Procesamiento de datos con gráfico de cajas y bigotes.

##### 4.4.1 Procesamiento general de los datos.

Los datos arrojados con respecto a los valores de Dureza Shore de las probetas elaboradas en base a las piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., fueron analizadas mediante gráficos de cajas y bigotes para reconocer su correspondiente distribución, presentándose así valores de los extremos del conjunto de datos –siendo el extremo inferior 5.63 y el extremo superior 40.25-, valor de la mediana –26.94-, valor de la media –25.91- y valores de los cuartiles siendo el primer cuartil de 17.28 y tercer cuartil de 35.38, reconociendo que en el caso de este conjunto de datos no se presentaron valores atípicos.

#### Figura 5.

*Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza resultantes de los ensayos mecánicos realizados.*

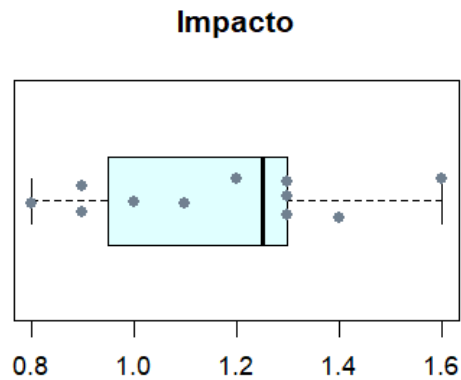


Nota: Autor.

De acuerdo con la información presentada de Impacto Charpy, se evidencian valores de los extremos del conjunto presente –representando el extremo inferior 0.8 y el extremo superior 1.6-, además valores de mediana –1.25-, media –1.175- y de los cuartiles –siendo el primer cuartil de 0.975 y el tercer cuartil de 1.3-, reconociendo que en estos datos no se han generado valores atípicos.

**Figura 6.**

*Diagrama de cajas y bigotes de los valores de impacto resultantes de los ensayos mecánicos realizados.*

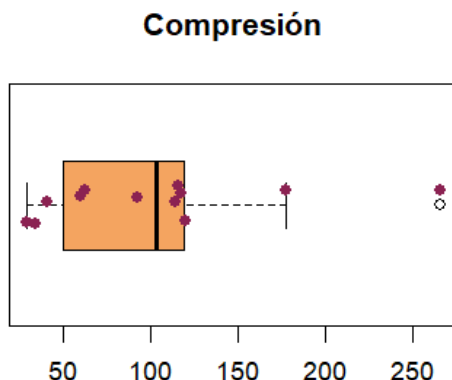


Nota: Autor.

En los valores correspondientes al análisis de Compresión, se observan valores de los extremos del conjunto de datos -siendo el extremo inferior de 29.03 y el extremo superior de 177.39-, valor de la mediana -103.69-, valor de la media -102.72-, valores de los cuartiles siendo el primer cuartil de 55.30 y tercer cuartil de 118.19, en este caso se presenta un valor atípico de 266.06 resultado de una mala selección y aplicación de las probetas, debido a que no se empleó un tamaño correcto de la misma, además que la posición en la que se ubicó en el equipo no facilitaba una lectura adecuada, por lo que la misma se excluye en el análisis posterior para que así los datos tengan continuidad y sentido completo.

### Figura 7.

Diagrama de cajas y bigotes de los valores de compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados.



Nota: Autor.

#### 4.4.2 Procesamiento de los datos de acuerdo al tiempo de maduración.

Se generó un análisis específico de acuerdo con el parámetro de tiempo de maduración de las piezas de micelio, arrojando los siguientes resultados con sus respectivas gráficas de cajas y bigotes.

#### Tabla 8.

Análisis de los resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de tiempo de 14 días.

Resultado	V. Mín.	V. Max.	Mediana	Media	Cuartil 1	Cuartil 3
Dureza	2.50	28.05	14.75	15.72	8.75	25.40
Impacto	0.50	1.30	1.00	0.97	0.80	1.20
Compresión	29.50	94.10	66.20	63.36	38.43	90.35

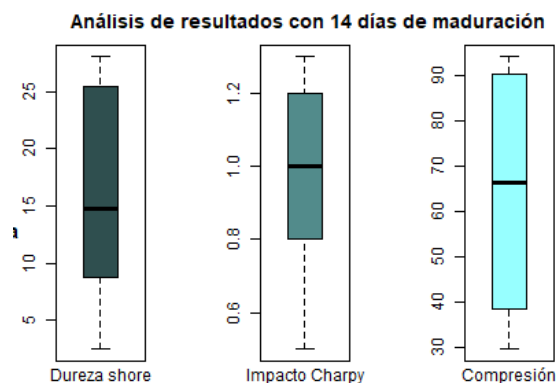
Nota: Autor.

Se evidencia que en los resultados de acuerdo al parámetro de tiempo de maduración de 14 días no se encuentran valores atípicos considerables.



### Figura 8.

Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de tiempo de 14 días.



Nota: Autor.

De igual manera se adjunta la información del análisis de datos de dureza, impacto y compresión de las piezas bajo el parámetro de tiempo de 28 días además de las respectivas gráficas de cajas y bigotes.

### Tabla 9.

Análisis de los resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de tiempo de maduración de 28 días.

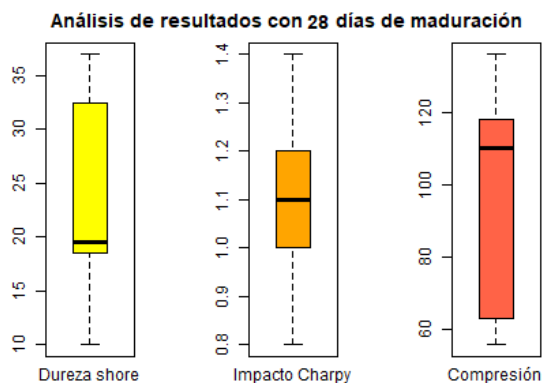
Resultado	V. Mín.	V. Max.	Mediana	Media	Cuartil 1	Cuartil 3
Dureza	10.00	37.00	19.5	23.29	18.50	32.50
Impacto	0.80	1.40	1.10	1.10	1.00	1.20
Compresión	55.75	136.12	110.00	99.31	63.10	118.00

Nota: Autor.

Igualmente, como con los valores anteriores no se presentan valores atípicos que requieran de consideración.

### Figura 9.

Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de tiempo de 28 días.



Nota: Autor.

Para la culminación del análisis de los valores resultantes de dureza, impacto y compresión, se presentan los datos generados en base al parámetro de tiempo de 42 días, con su respectiva gráfica de cajas y bigotes.

### Tabla 10.

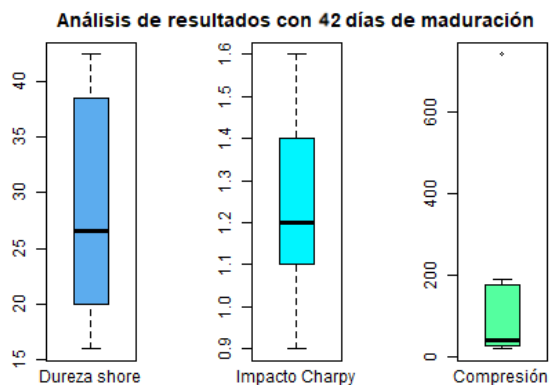
Análisis de resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de tiempo de maduración de 42 días.

Resultado	V. Min.	V. Max.	Mediana	Media	Cuartil 1	Cuartil 3
Dureza	16.00	42.40	26.62	28.62	20.00	38.50
Impacto	0.90	1.60	1.20	1.23	1.10	1.40
Compresión	20.00	740.5	42.2	157.5	28.00	177.1

Nota: Autor.

**Figura 10.**

*Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de tiempo de 42 días.*



Nota: Autor.

En este caso si se presentan valores atípicos en los resultados de compresión, los mismos que se deben a un mal manejo y preparación de las probetas, por lo que estos datos para mejor análisis posterior se suprimen.

#### **4.4.3 Procesamiento de los datos de acuerdo al porcentaje de humedad.**

Se llevó a cabo un análisis de manera específica con respecto a parámetro de porcentaje de humedad de sustrato de las piezas de micelio, presentándose así los siguientes resultados con sus respectivas gráficas de cajas y bigotes.

**Tabla 11.**

*Análisis de resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de porcentaje de humedad del sustrato de 55%.*

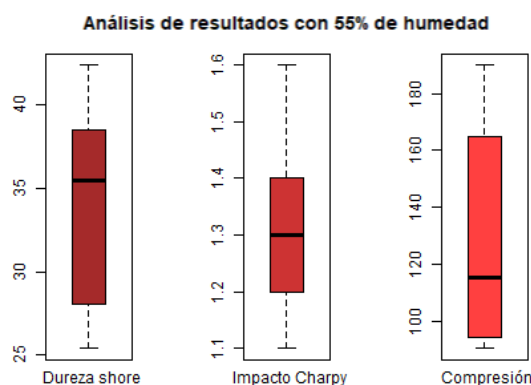
Resultado	Valor mínimo	Valor máximo	Mediana	Media	Primer cuartil	Tercer cuartil
Dureza	25.40	42.40	35.50	33.92	28.05	38.50
Impacto	1.10	1.60	1.30	1.30	1.20	1.40
Compresión	90.35	190.00	115.50	130.19	94.10	165.05

Nota: Autor.

Con respecto a los datos y su distribución no se evidencian valores atípicos que requieran de análisis posterior.

**Figura 11.**

*Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de porcentaje de humedad de sustrato de 55%.*



Nota: Autor.

De la misma manera se representan los datos de dureza, impacto y compresión obtenidos de los ensayos mecánicos bajo los parámetros de porcentaje de humedad de 75% de las piezas de micelio con sus respectivas gráficas de cajas y bigotes.

**Tabla 12.**

*Análisis de resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de porcentaje de humedad del sustrato de 65%.*

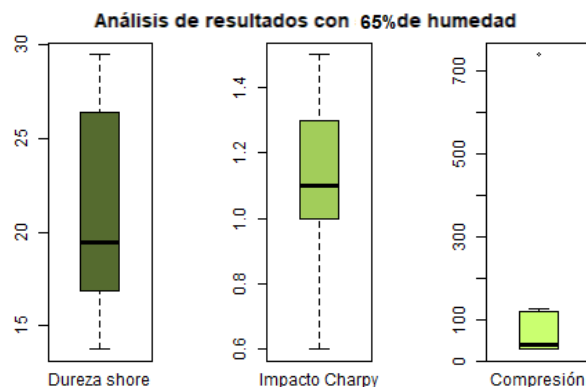
Resultado	V. Min.	V. Max.	Mediana	Media	Cuartil 1	Cuartil 3
Dureza	13.75	29.50	19.50	21.29	16.90	26.38
Impacto	0.60	1.50	1.10	1.10	1.00	1.30
Compresión	28.00	740.5	38.43	139.26	29.70	118.00

Nota: Autor.

De acuerdo con la información presentada se evidencian datos atípicos procedentes de los resultados de compresión, esto se debe a la alteración en la preparación de las probetas empleadas, por lo que esos valores para mejor análisis posterior se suprimen.

**Figura 12.**

*Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de porcentaje de humedad de sustrato de 65%.*



Nota: Autor.

Finalizando el análisis de resultados de dureza, impacto y compresión con respecto al porcentaje de humedad del sustrato se presentan los valores obtenidos de acuerdo al parámetro de 75% de humedad con sus respectivas gráficas de cajas y bigotes.

**Tabla 13.**

*Análisis de resultados de dureza, impacto y compresión de acuerdo al parámetro de porcentaje de humedad del sustrato de 75%.*

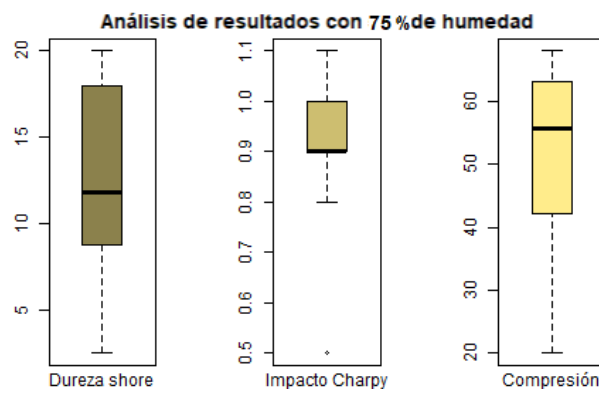
Resultado	V. Min.	V. Max.	Mediana	Media	Cuartil 1	Cuartil 3
Dureza	2.50	20.00	11.80	12.42	8.75	18.00
Impacto	0.50	1.10	0.90	0.90	0.90	1.00
Compresión	20.00	68.00	55.75	50.71	42.20	63.10

Nota: Autor.

De acuerdo con la información presentada se presentan valores atípicos con respecto al impacto que poseen las probetas, esto se debe a la variación del tamaño de las mismas por lo que se toman a consideración para ser suprimidas de los datos para análisis posteriores.

### Figura 13.

*Diagrama de cajas y bigotes de los valores de dureza, impacto y compresión resultantes de los ensayos mecánicos realizados bajo el parámetro de análisis de porcentaje de humedad de sustrato de 75%.*



Nota: Autor.

Con respecto a los datos presentados y de acuerdo con la bibliografía consultada por Bidegain (2017) y Alvarenga (2014), los datos de compresión, impacto y dureza corresponden además de que poseen distribuciones similares sin la presentación de datos atípicos, por lo que se resalta que en la presente investigación se requieren de cambios para la eliminación de aquellos datos atípicos. Con este análisis de cajas y bigotes de la distribución de datos, estos se adecúan para así proceder a la aplicación del modelo de superficie y análisis de Lagrange.

## 4.5 Determinación de procesos de optimización

### 4.5.1 Análisis Lagrange realizado con los datos obtenidos.

Luego del análisis de cajas y bigotes, se procede a realizar los cálculos en base a la interpolación de aquellos valores -compresión, impacto y dureza- con respecto a valor de

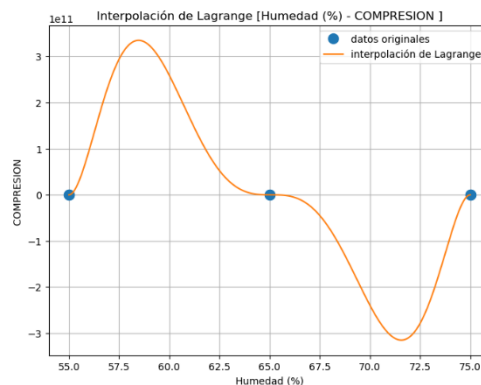
humedad y tiempo, para el efecto se ha planteado la consideración de las condiciones de humedad y tiempo como independientes para generar una interpolación de Lagrange de los conjuntos de datos y su respectiva función para su análisis de máximos, mínimos y correlación con los datos base.

#### 4.5.1.1 Análisis Lagrange en base al parámetro de porcentaje de humedad.

De acuerdo a la primera metodología empleada, se genera el análisis de humedad con los valores de dureza, impacto y compresión. En relación al análisis entre humedad y dureza, se generó la interpolación de Lagrange con los puntos indicados generando la siguiente gráfica.

**Figura 14.**

*Gráfica de análisis de datos de compresión y humedad con valores de interpolación de Lagrange.*



Nota: Autor.

En base a la gráfica presentada, se generó la función de interpolación de Lagrange, la misma que se presenta a continuación.

$$\begin{aligned}
 f(x) = & -354884.424438x^7 + 161543731.36418x^6 - 31443956902.4791x^5 \\
 & + 3392542482952.53x^4 - 219114552706886x^3 + 8.471655129e^{15}x^2 \\
 & - 1.8154585e^{17}x - 1.66347129e^{14}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Al realizar la primera derivada de la función inicial, se genera la función que se cita a continuación, por cuestiones de complejidad de las funciones presentadas se emplea el método gráfico para la definición de los valores correspondientes de x.

$$f'(x) = -2484190.97106755x^6 + 969262388.185098x^5 - 157219784512.396x^4 \quad [2]$$

$$+13570169931810.1x^3 - 657343658120658x^2 + 1.69433102591056e^{16}x$$

$$-1.81545847923302e^{17}$$

$$x_1 = 55.0001 \quad x_2 = 58.4721 \quad x_3 = 64.9943 \quad x_4 = 65.1395 \quad [3]$$

$$x_5 = 71.5662 \quad x_6 = 75.0000$$

Luego de realizar la primera derivada de la función se procede a realizar la segunda derivada de la función previa y la evaluación con el valor de x, generando así valores de máximos y mínimos, de los cuales solo se van a considerar los valores máximos debido que aquellos aportan información para el proceso de optimización, comparándolos con los valores reales presentados como resultado de los ensayos mecánicos, presentando así los valores máximos y mínimos.

$$f''(x) = -14905145.8264x^5 + 4846311940.92549x^4 - 628879138049.583x^3 \quad [4]$$

$$+40710509795430.4x^2 - 1.31468731624132e^{15}x + 1.69433102591056e^{16}$$

**Tabla 14.**

*Valores de x calculados y resultados de su evaluación en la segunda derivada.*

Valor de x calculado	Resultado de evaluación	Criterio de análisis
55.0001	289605042901	Mínimo con valor de segunda derivada
58.4721	-81175904482	Máximo con valor de segunda derivada
64.9944	1544597408	Mínimo con valor de segunda derivada
65.1395	-1543795856	Máximo con valor de segunda derivada
71.5662	78149892516	Mínimo con valor de segunda derivada
75.0000	-278197907440	Máximo con valor de segunda derivada

Nota: Autor.

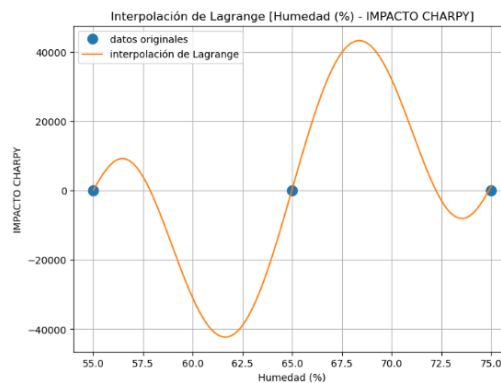


Se evidencia que los valores máximos obtenidos corresponden a los valores reales de 55% de humedad –valores obtenidos de 55.001 y su comparación con el valor real de 55% de humedad-.

Con respecto a los valores de impacto se generó el mismo proceso citado con el cambio de valores de compresión a impacto, generando los siguientes resultados gráficos.

**Figura 15.**

*Gráfica de análisis de datos de impacto y humedad con valores de interpolación de Lagrange.*



Nota: Autor.

Con base en las gráficas presentadas, se generó la función de interpolación de Lagrange, la misma que se presenta a continuación.

$$\begin{aligned}
 f(x) = & -0.028748705x^7 + 13.0806693x^6 - 2542.48242855x^5 & [5] \\
 & +273648.329040x^4 - 17613614.3212891x^3 + 677984090.125x^2 \\
 & -14450437471x + 131562444688
 \end{aligned}$$

Al realizar la primera derivada de la función inicial, se genera la función que se cita a continuación y que presenta los siguientes valores de x.

$$f'(x) = -0.2012409366x^6 + 78.484016072005x^5 - 12712.4121427536x^4 + 1094593.31616211x^3 - 52840842.9638672x^2 + 1355968180.25x - 14450437471 \quad [6]$$

$$x_1 = 54.0119 \quad x_2 = 56.4603 \quad x_3 = 61.6373 \quad x_4 = 68.3649 \quad [7]$$

$$x_5 = 73.5349 \quad x_6 = 75.9910$$

Después de obtener los valores de la primera derivada se requiere despejar los valores de  $x$ , para posteriormente calcular la segunda derivada y la consecuente evaluación de los valores antes obtenidos para la obtención de valores máximos, su comparación con los valores reales y descripción de los valores máximos globales y locales.

$$f''(x) = -1.20744561943502x^5 + 392.4200804x^4 - 50849.6485710144x^3 + 3283779.94848633x^2 - 105681685.927734x + 1355968180.25 \quad [8]$$

**Tabla 15.**

*Valores de  $x$  calculados y resultados de su evaluación en la segunda derivada.*

Valor de $x$ calculado	Resultado de evaluación	Criterio de análisis
54.0119	23139.9852	Mínimo con valor de segunda derivada
56.4603	-10126.5853	Máximo con valor de segunda derivada
61.6373	9127.3927	Mínimo con valor de segunda derivada
68.3649	-9120.7811	Máximo con valor de segunda derivada
73.5349	10134.7419	Mínimo con valor de segunda derivada
75.9910	-23225.3812	Máximo con valor de segunda derivada

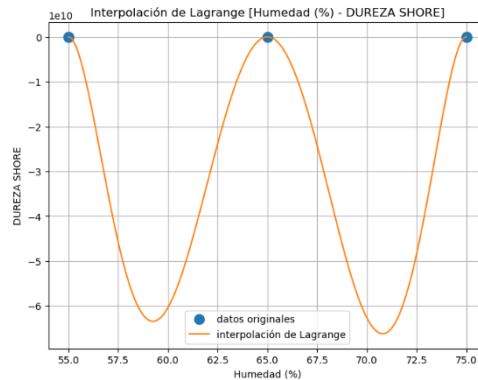
Nota: Autor.

De acuerdo con los valores máximos generados, los valores reales más cercanos y que son aplicables al caso son 55% de humedad –promedio de los valores de 54.0119 y 56.4603 con comparación con los valores reales de 55%-.

Finalizando con el análisis de los resultados en base al parámetro de humedad, se presentan los valores de dureza, los mismos que fueron analizados con el mismo proceso citado, dando lugar a los siguientes resultados gráficos.

**Figura 16.**

*Gráfica de análisis de datos de dureza y humedad con valores de interpolación de Lagrange.*



Nota: Autor.

En función de las gráficas generadas, se elaboró la función de interpolación de Lagrange, la misma que se hace presente a continuación.

$$f(x) = -1626.14218257183x^7 + 302395.155153288x^6 + 26670725.2005322x^5 \quad [9]$$

$$-12114503355.0754x^4 + 1377978960272.72x^3 - 76198480909206.4x^2$$

$$+ 2.12055085730744e^{15}x - 2.38536193784399e^{16}$$

Luego de conocer la función original, se calcula la primera derivada, generando la función y los valores de x que se representan a continuación.

$$f'(x) = -11382.9952780028x^6 + 1814370.93091973x^5 + 133353626.002661x^4 \quad [10]$$

$$-48458013420.3015x^3 + 4133936880818.17x^2$$

$$-152396961818413x + 2.12055085730744e^{15}$$

$$\begin{aligned}
 x_1 = 54.6485 \quad x_2 = 55.0000 \quad x_3 = 59.2477 \quad x_4 = 65.0001 & \quad [11] \\
 x_5 = 70.7937 \quad x_6 = 75.0000 &
 \end{aligned}$$

Posteriormente y con los valores de x, es necesario un despeje de los valores de x para ello es necesario realizar la segunda derivada de la función y evaluación de los valores, mostrando los valores máximos y mínimos.

$$\begin{aligned}
 f''(x) = -68297.9717x^5 + 9071854.6546x^4 + 533414504.0106x^3 & \quad [12] \\
 -145374040260.905x^2 + 8267873761636.33x - 152396961818413 &
 \end{aligned}$$

**Tabla 16.**

*Valores de x calculados y resultados de su evaluación en la segunda derivada.*

Valor de x calculado	Resultado de evaluación	Criterio de análisis
54.6485	7413079509970031	Mínimo con valor de segunda derivada
55.0000	-33699384160.9375	Máximo con valor de segunda derivada
59.2477	11376650482.0625	Mínimo con valor de segunda derivada
65.001	-8749997908.5	Máximo con valor de segunda derivada
70.7937	11960551068.25	Mínimo con valor de segunda derivada
75.0000	-36300562820.625	Máximo con valor de segunda derivada

Nota: Autor.

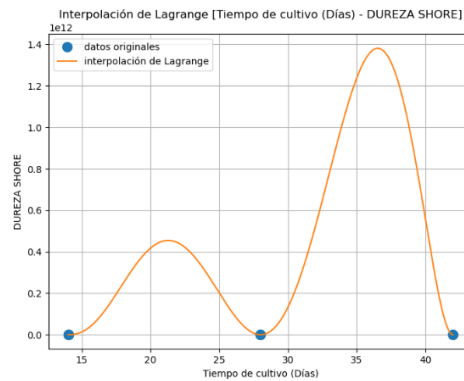
Con respecto a los valores máximos generados, los valores reales más cercanos y que son aplicables al caso son los valores de 55% de humedad –promedio entre 54.6485 y 55 generando valores cercanos al 55% de humedad real planteado-.

#### **4.5.1.2 Análisis Lagrange en base al parámetro de tiempo de maduración.**

En consideración a las condiciones anteriores, se genera el análisis de tiempo de maduración con los valores de dureza, impacto y compresión. En relación al análisis entre tiempo y dureza, se generó la interpolación de Lagrange con los puntos indicados generando la siguiente gráfica.

**Figura 17.**

*Gráfica de análisis de datos de dureza y tiempo de maduración con valores de interpolación de Lagrange.*



Nota: Autor.

En base a las gráficas adjuntas, se elaboró la función de interpolación de Lagrange, la misma que se hace presente a continuación.

$$f(x) = 52921.8697463562x^7 - 9574848.68411043x^6 + 716523413.087115x^5 \quad [13]$$
$$- 28686741405.3314x^4 + 662640061704.393x^3 - 8828232408886.85x^2$$
$$+ 62902166906300.2x - 185399256022782$$

A continuación, y luego del cálculo de la ecuación inicial, se calcula la primera derivada, generando la función y los valores de x.

$$f'(x) = 370453.088224494x^6 - 57449092.1046626x^5 + 3582617065.43557x^4 \quad [14]$$
$$- 114746965621.326x^3 + 1987920185113.18x^2$$
$$- 17656464817773.7x + 62902166906300.2$$

$$x_1 = 13.2655 \quad x_2 = 14.0001 \quad x_3 = 21.2826 \quad x_4 = 28.0000 \quad [15]$$
$$x_5 = 36.5297 \quad x_6 = 42.0000$$

Luego de realizado el proceso y obtenidos los valores de x, se generó el despeje de los valores de x mediante la segunda derivada de la función y evaluación de los valores, evidenciando los valores máximos y mínimos.

$$f''(x) = 2222718.52934x^5 - 287245460.523313x^4 + 14330468261.7423x^3 - 344240896863.977x^2 + 397580370226.36x - 17656464817773.7 \quad [16]$$

**Tabla 17.**

*Valores de x calculados y resultados de su evaluación en la segunda derivada.*

Valor de x calculado	Resultado de evaluación	Criterio de análisis
13.2655	-21489213181.3516	Máximo con valor de segunda derivada
14.0001	17502225601.4375	Mínimo con valor de segunda derivada
21.2826	-45894371752.9375	Máximo con valor de segunda derivada
28.000	61300212630.8438	Mínimo con valor de segunda derivada
36.5297	-138136472478.562	Máximo con valor de segunda derivada
42.0000	472900652626.75	Mínimo con valor de segunda derivada

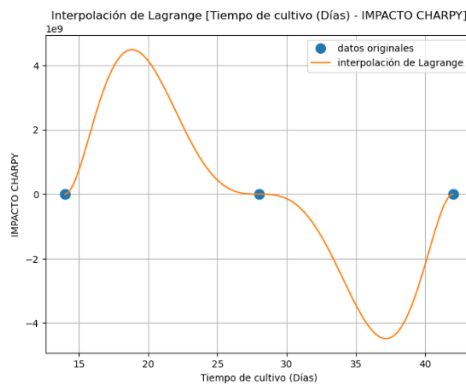
Nota: Autor.

En relación con los valores máximos generados, los valores reales más cercanos y que son aplicables al caso son 42 días de maduración.

En relación a los valores de impacto y su análisis en relación al tiempo de maduración se generó el mismo proceso citado con el cambio de valores de dureza a impacto, generando los siguientes resultados gráficos.

**Figura 18.**

*Gráfica de análisis de datos de impacto y tiempo de maduración con valores de interpolación de Lagrange.*



Nota: Autor.

En relación con las gráficas generadas, se elaboró la función de interpolación de Lagrange, la misma que se hace presente a continuación.

$$f(x) = -464.831597890472x^7 + 91107.0443178697x^6 - 7470783.00751863x^5 + 331630177.677597x^4 - 8589230693.40547x^3 + 129499340540.037x^2 - 1049996185039.6x + 3527992860128.94 \quad [17]$$

Luego de conocer la función original, se calcula la primera derivada, generando la función y los valores de x que se representan a continuación.

$$f'(x) = -3253.8211852333x^6 + 546642.265907218x^5 - 37353915.0375932x^4 + 1326520710.71039x^3 - 25767692890.2164x^2 + 258998681082.074x - 1049996185039.6 \quad [18]$$

$$x_1 = 14.0000 \quad x_2 = 18.3449 \quad x_3 = 37.1651 \quad x_4 = 41.9999 \quad [19]$$

Posteriormente y con los valores de x, se procedió al despeje de los valores de x para ello se llevó a cabo la segunda derivada de la función y evaluación de los valores, mostrando los valores máximos y mínimos.

$$f''(x) = -19522.9271113998x^5 + 2733211.32953x^4 - 149415660.150373x^3 + 3979562132.13116x^2 - 51535385780.4328x + 258998681082.074 \quad [20]$$

**Tabla 18.**

*Valores de x calculados y resultados de su evaluación en la segunda derivada.*

Valor de x calculado	Resultado de evaluación	Criterio de análisis
14.0000	1999982857.3528	Mínimo con valor de segunda derivada
18.8349	-561124008.8965	Máximo con valor de segunda derivada
37.1651	561122303.4307	Mínimo con valor de segunda derivada
41.9999	-1999976428.3301	Máximo con valor de segunda derivada

Nota: Autor.

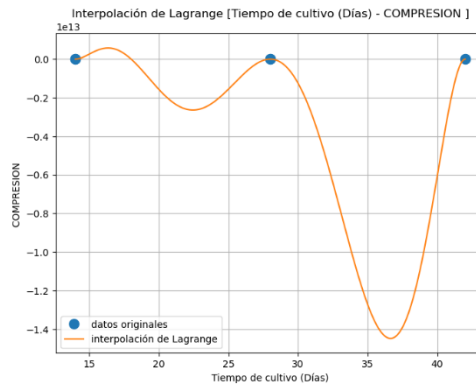
Con respecto a los valores máximos generados, los valores reales más cercanos y que son aplicables al caso son 42 días de maduración -redondeo de 41.9999 a 42-.

Finalizando con el análisis de los resultados en base al parámetro de tiempo de maduración, se presentan los valores de compresión, los mismos que fueron analizados con el mismo proceso citado, dando lugar a los resultados gráficos.



**Figura 19.**

Gráfica de análisis de datos de compresión y tiempo de maduración con valores de interpolación de Lagrange.



Nota: Autor.

En base a las gráficas generadas, se elaboró la función de interpolación de Lagrange, la misma que se hace presente a continuación.

$$f(x) = -707155.209605051x^7 + 13153773.074823x^6 - 10178531122.3306x^5 \quad [21]$$

$$+ 424201423397.139x^4 - 10275367979838.9x^3 + 144628707657159x^2$$

$$- 1.09582308355918e^{15}x + 3.45216822866821e^{15}$$

Luego de conocer la función original, se calcula la primera derivada, generando la función y los valores de x que se representan a continuación.

$$f'(x) = -4950086.467235x^6 + 789226422.44893x^5 - 50892655611.6528x^4 \quad [22]$$

$$+ 1696805693588.56x^3 - 30826103939516.6x^2$$

$$+ 289257415314318x - 1.09582308355918e^{15}$$

$$x_1 = 14.0000 \quad x_2 = 16.3485 \quad x_3 = 22.4448 \quad x_4 = 28.0000 \quad [23]$$

$$x_5 = 36.6435 \quad x_6 = 42.0000$$

Posteriormente y con los valores de x, se calcula la segunda derivada de la función y evaluación de los valores, mostrando los valores máximos y mínimos.

$$f''(x) = -29700518.8034x^5 + 3946132112.24469x^4 - 203570622446.611x^3 + 5090417080765.67x^2 - 61652207879033.2x + 289257415314318 \quad [24]$$

**Tabla 19.**

*Valores de x calculados y resultados de su evaluación en la segunda derivada.*

X calculado	Evaluación	Criterio de análisis
14.0000	871397945376.75	Mínimo con valor de segunda derivada
16.3485	-429885562170.625	Máximo con valor de segunda derivada
22.4448	393079615413	Mínimo con valor de segunda derivada
28.000	-542799090800.5	Máximo con valor de segunda derivada
36.6435	1495424458188	Mínimo con valor de segunda derivada
42.0000	-5213793935898	Máximo con valor de segunda derivada

Nota: Autor.

Con respecto a los valores máximos generados, los valores reales más cercanos y que son aplicables al caso son 42 días de maduración.

Es necesario resaltar que las Figuras 14, 15, 16, 17, 18 y 19 poseen una escala de valores en el eje Y extremadamente altos los mismos que hacen complejo el proceso de visualización directa, por lo cual se ha optado por la visualización de la misma en la función resultante respetando esta; sin embargo, los valores reales de los puntos son reducidos por lo que se genera un cálculo analítico.

De acuerdo con los resultados del análisis de Lagrange, tanto de humedad como temperatura presentan procesos similares a los de las investigaciones de Dubertret y Lelong (2009), Ahmadi *et al.*, (2022) y Sadys *et al.*, (2015), sin embargo, las mismas no poseen un enfoque en la optimización de condiciones de cultivo en placas de micelio, por lo que la temática planteada genera un precedente informativo con respecto a la optimización de condiciones de cultivo y su análisis mediante multiplicadores de Lagrange, en adición a ello y con la información obtenida, se procede al desarrollo del modelo de superficie para generar un análisis global de los resultados.

#### 4.5.2 Modelo de superficie de los datos obtenidos.

Se empleó la metodología de análisis de modelo de superficie de respuesta basada en la consideración de los datos de humedad y tiempo de manera simultánea para su análisis tridimensional con respecto a los valores de humedad, compresión y dureza presentados con la finalidad del análisis de las áreas de superficie óptimas de respuesta.

Se definieron los objetivos de optimización en relación a la necesidad de analizar las condiciones óptimas de tiempo de maduración en días y porcentaje de humedad para la presentación de las mejores propiedades de impacto, compresión y dureza de placas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., se consideró con menos relevancia el proceso de selección de factores significativos debido que con los procesos de arqueo bibliográfico se rescataron los valores de tiempo y humedad como los más esenciales para la determinación del proceso; el establecimiento de la región de operabilidad se centró en la consideración de valores aproximados a las humedades y tiempos de crecimiento estándar para *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., se seleccionó un entorno experimental con consideración de factores de tiempo de 14, 28 y 42 días de maduración y 55,65 y 75% de humedad en el sustrato. Se construyó un diseño experimental de optimización, el mismo que se presenta en capítulos anteriores, generando los datos presentes en la Tabla 5.

**Tabla 20.**

*Diseño del experimento.*

Parámetro	Símbolo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Tiempo de maduración	TIE	14	28	42
Porcentaje de humedad	%HUM	55	65	75

Nota: Autor.

**Tabla 21.***Datos empleados en el modelo de superficie de repuesta codificados.*

Variables naturales		Variables codificadas		Resultados		
Tiempo Días	Humedad %	TIE	%HUM	Impacto (Nm)	Compresión (kPa)	Dureza (Shore A)
14	55	-1	-1	1.20	92.65	26.38
14	65	-1	0	0.90	34.31	15.13
14	75	-1	+1	0.80	63.11	5.63
28	55	0	-1	1.30	120.54	35.00
28	65	0	0	1.10	117.40	21.25
28	75	0	+1	0.90	59.98	13.63
42	55	+1	-1	1.40	177.39	40.25
42	75	+1	+1	1.00	29.03	18.00

Nota: Autor.

Con los datos presentados se van a hacer análisis independientes de las condiciones de respuesta para luego poder analizarlas globalmente.

#### 4.5.2.1 Superficie de respuesta en relación a los datos de impacto.

Con la información propuesta se procedió a analizar los datos y determinar el resultado con las mejores características.

**Tabla 22.***Resultado del ejemplar con las mejores características de impacto.*

Ejemplar con la mejor característica de impacto		
Factor		Mejor rendimiento
A: Tiempo de maduración	+1	1.40
B: Porcentaje de humedad	-1	

Nota: Autor.

Luego del análisis de las mejores características se procedió a realizar el cálculo, aplicando los valores de entrada –tiempo de maduración y porcentaje de humedad- y la variable de salida -impacto-, para luego calcular la varianza mediante Anova, arrojando los siguientes resultados.

## Figura 20.

Resultados del análisis Anova para los resultados de impacto.

```

                Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
TIEMPO          1 0.06782 0.06782  47.23 0.000998 ***
HUMEDAD         1 0.24000 0.24000 167.14 4.93e-05 ***
Residuals       5 0.00718 0.00144
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Nota: Autor.

Como se evidencia en la Figura 20, los valores de p de tiempo  $-0.000998-$  y humedad  $-4.93e-05-$  representados en la imagen como  $Pr(>F)$ , son menores al valor planteado de 0.05 por lo que se afirma que estos valores influyen de manera significativa en el resultado de impacto.

Para el siguiente proceso es necesario analizar la aplicabilidad de un modelo de primer orden o de segundo orden para el procesamiento de la curvatura de datos, por lo que se genera un contraste de los valores de  $R^2$  para emplear el óptimo.

## Figura 21.

Contraste entre valores  $R^2$  de primer orden y segundo orden para los valores de impacto.

```

> summary(modelo2.y2.sinI)
Call:
rsm(formula = y2 ~ FO(x1, x2) + PQ(x1, x2), data = data)

            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 4.16250000 3.65371954  1.1393 0.2688
x1           0.01488095 0.02147074  0.6931 0.4966
x2          -0.08500000 0.11461670 -0.7416 0.4674
x1^2        -0.00012755 0.00038931 -0.3276 0.7468
x2^2         0.00050000 0.00088109  0.5675 0.5770

Multiple R-squared:  0.6131, Adjusted R-squared:  0.5317
F-statistic: 7.528 on 4 and 19 DF, p-value: 0.0008243

Analysis of Variance Table

Response: y2
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
FO(x1, x2)    2 0.92346 0.46173 14.8693 0.0001298
PQ(x1, x2)    2 0.01154 0.00577  0.1858 0.8319396
Residuals    19 0.59000 0.03105
Lack of fit   3 0.01000 0.00333  0.0920 0.9634087
Pure error   16 0.58000 0.03625

Stationary point of response surface:
      x1      x2
58.33333 85.00000

Stationary point in original units:
      TIEMPO HUMEDAD
58.33333 85.00000

> summary(MODELO1)
Call:
rsm(formula = IMPACTO ~ FO(TIEMPO, HUMEDAD), data = TABLA1)

            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1.089744 0.013568  80.3175 5.669e-09 ***
TIEMPO       0.117949 0.017162  6.8726 0.0009975 ***
HUMEDAD     -0.200000 0.015470 -12.9284 4.933e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared:  0.9772, Adjusted R-squared:  0.9681
F-statistic: 107.2 on 2 and 5 DF, p-value: 7.843e-05

Analysis of Variance Table

Response: IMPACTO
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
FO(TIEMPO, HUMEDAD) 2 0.307821 0.153910 107.19 7.843e-05
Residuals          5 0.007179 0.001436
Lack of fit        5 0.007179 0.001436      NaN      NaN
Pure error         0 0.000000      NaN

Direction of steepest ascent (at radius 1):
      TIEMPO HUMEDAD
0.5079850 -0.8613659

Corresponding increment in original units:
      TIEMPO HUMEDAD
0.5079850 -0.8613659

```

Nota: Autor

La comparación entre los valores de  $R^2$  evidencian que para los datos de impacto se requiere la implementación del modelo de primer orden (valor de 0.9772 con respecto al de segundo orden de 0.6131 demostrando mejor análisis del primer orden), por lo que para el subsiguiente análisis se dará con un modelo de primer orden.

De acuerdo con los datos del modelo de primer orden citados en la Figura 21, se evidencia el factor de intersección representado con un valor de p de 5.669e-9, menor en comparación al valor de significancia de 0.05 por lo que es esencial reconocer que se genera una alteración de resultados en el impacto de las piezas de micelio, en adición a ello se presenta la ecuación empleada para el modelo.

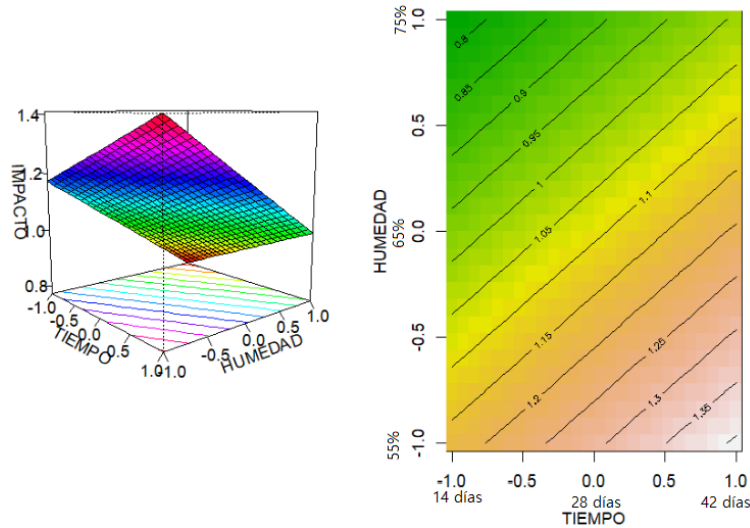
$$y = 1.0897 + 0.1179x_1 - 0.2000x_2 \quad [24]$$

Al analizar el resumen de los datos obtenidos, se observan las coordenadas del punto silla, presenta datos positivos que con probabilidad serían puntos de respuesta media ante el proceso, siendo la combinación de tiempo y humedad de 38 días (correspondiente al valor de 0.5079) y 47% de humedad (correspondiente al  $-0.8614$ ), sin embargo, se requiere experimentación para generar una conclusión con mayor sustento.

Luego del análisis estadístico del proceso, se presenta la imagen correspondiente a los datos de superficie de respuesta que relaciona los datos de tiempo, humedad e impacto, resultando los valores óptimos similares a los de experimentación de 42 días de maduración y 55% de humedad.

**Figura 22.**

*Modelo de superficie de respuesta de los valores de impacto obtenidos.*



Nota: Autor

#### 4.5.2.2 Superficie de respuesta en relación a los datos de compresión.

Con la información citada en la Tabla 21, se procedió a analizar los datos y determinar el resultado con las mejores características.

**Tabla 23.**

*Resultado del ejemplar con las mejores características de compresión.*

Ejemplar con la mejor característica de compresión		
Factor		Mejor rendimiento
A: Tiempo de maduración	+1	177.39
B: Porcentaje de humedad	-1	

Nota: Autor.

Se procede a calcular la varianza de los datos de entrada y salida, presentándose los siguientes resultados.

### Figura 23.

Resultados del análisis Anova para los resultados de compresión.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TIEMPO	1	2183	2183	1.81	0.2363
HUMEDAD	1	9477	9477	7.86	0.0378 *
Residuals	5	6029	1206		

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Nota: Autor.

Como se observa en la Figura 23, el valor de p de humedad -0.0378- representado en la imagen como Pr(>F), es menor al valor planteado de 0.05, por lo que se afirma que los valores de humedad influyen de manera significativa en el resultado de compresión.

Para el siguiente proceso es necesario analizar la aplicabilidad de un modelo de primer orden o de segundo orden para el procesamiento de la curvatura de datos, por lo que se genera un contraste de los valores de  $R^2$  para emplear el óptimo.

### Figura 24.

Contraste entre valores  $R^2$  de primer orden y segundo orden para los valores de compresión.

```
> summary(modelo2.y3.sinI)
Call:
  rsm(formula = y3 ~ FO(x1, x2) + PQ(x1, x2), data = data)

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 592.558472 632.478893 0.9369 0.3606
x1          6.294643   3.716702 1.6936 0.1067
x2         -14.653778  19.840780 -0.7386 0.4692
x1^2        -0.088733  0.067391 -1.3167 0.2036
x2^2         0.082150  0.152521  0.5386 0.5964

Multiple R-squared: 0.6747, Adjusted R-squared: 0.6062
F-statistic: 9.852 on 4 and 19 DF, p-value: 0.0001723

Analysis of Variance Table

Response: y3
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
FO(x1, x2) 2 34979 17489.5 18.7957 3.141e-05
PQ(x1, x2) 2 1692 845.9 0.9091 0.4197
Residuals 19 17680 930.5
Lack of fit 3 16394 5464.6 67.9997 2.527e-09
Pure error 16 1286 80.4

Stationary point of response surface:
  x1 x2
35.46957 89.18915

Stationary point in original units:
  TIEMPO HUMEDAD
35.46957 89.18915

---
> summary(MODELO2)
Call:
  rsm(formula = COMPRESION ~ FO(TIEMPO, HUMEDAD), data = TABLA2)

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 89.446 12.433 7.1941 0.0008081 ***
TIEMPO      21.159 15.727 1.3454 0.2362831
HUMEDAD    -39.743 14.176 -2.8036 0.0378347 *
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.6592, Adjusted R-squared: 0.5228
F-statistic: 4.835 on 2 and 5 DF, p-value: 0.06782

Analysis of Variance Table

Response: COMPRESION
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
FO(TIEMPO, HUMEDAD) 2 11659.8 5829.9 4.835 0.06782
Residuals          5 6028.8 1205.8
Lack of fit        5 6028.8 1205.8 NaN NaN
Pure error         0 0.0 NaN

Direction of steepest ascent (at radius 1):
  TIEMPO HUMEDAD
0.4699446 -0.8826959

Corresponding increment in original units:
  TIEMPO HUMEDAD
0.4699446 -0.8826959
```

Nota: Autor.



La comparación entre los valores de  $R^2$  evidencian que para los datos de compresión se requiere la implementación del modelo de segundo orden (valor de 0.6747 con respecto al de primer orden de 0.6592 demostrando mejor análisis del segundo orden), por lo que para el subsiguiente análisis se dará con un modelo de segundo orden.

De acuerdo con los datos del modelo de segundo orden citados en la Figura 24, se evidencia el factor de intersección representado con un valor de p de 0.3606, mayor en comparación al valor de significancia de 0.05 por lo que es esencial reconocer que no se genera una alteración de resultados en el impacto de las piezas de micelio, en adición a ello se presenta la ecuación empleada para el modelo.

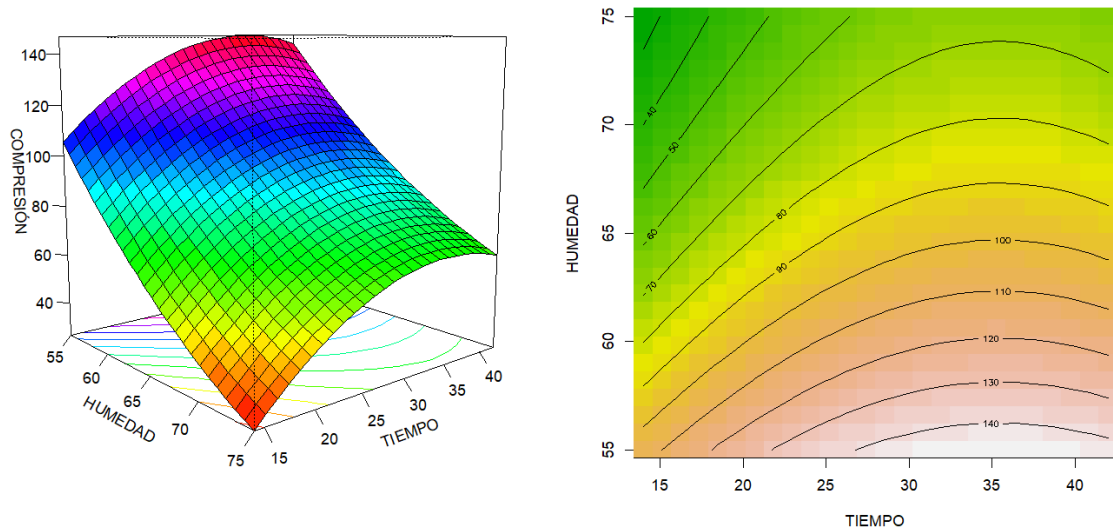
$$y = 592.5585 + 6.2946x_1 - 14.6538x_2 - 0.0887x_1^2 + 0.0822x_2^2 \quad [25]$$

Mediante el análisis del resumen de los datos, se observan las coordenadas de punto mínimo, presenta datos que con probabilidad serían puntos de respuesta mínima, siendo la combinación de tiempo y humedad de 35 días y 89% de humedad, sin embargo, se requiere experimentación para generar una conclusión con mayor sustento.

Luego del análisis estadístico del proceso, se presenta la imagen correspondiente a los datos de superficie de respuesta que relaciona los datos de tiempo, humedad y compresión, resultando los valores óptimos similares a los de experimentación de 42 días de maduración y 55% de humedad.

**Figura 25.**

Gráfica que representa el modelo de superficie de respuesta de los valores de compresión obtenidos como resultado de los ensayos mecánicos.



Nota: Autor.

#### 4.5.2.3 Superficie de respuesta en relación a los datos de dureza.

Con los datos citados en la Tabla 21, se procedió determinar el resultado de dureza de las piezas de micelio con las mejores características.

**Tabla 24.**

Resultado del ejemplar con las mejores características de dureza.

Ejemplar con la mejor característica de dureza		
Factor		Mejor rendimiento
A: Tiempo de maduración	+1	40.25
B: Porcentaje de humedad	-1	

Nota: Autor.

Subsecuentemente al análisis de la característica que presenta mejor rendimiento, se calcula la varianza de los datos de entrada –tiempo de maduración y porcentaje de humedad- y a variable de salida -dureza-, generándose así los siguientes resultados.

## Figura 26.

Resultados del análisis Anova para los resultados de impacto.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TIEMPO	1	223.6	223.6	127.8	9.47e-05 ***
HUMEDAD	1	690.6	690.6	394.5	5.98e-06 ***
Residuals	5	8.8	1.8		

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Nota: Autor.

Como se evidencia en la Figura 26, los valores de p de humedad  $-5.98e-06$  y tiempo  $-9.47e-05$  representados en la imagen como  $Pr(>F)$ , son menores al valor planteado de 0.05 por lo que se afirma que estos valores influyen de manera significativa en el resultado de dureza.

Para el siguiente proceso es necesario analizar la aplicabilidad de un modelo de primer orden o de segundo orden para el procesamiento de la curvatura de datos, por lo que se genera un contraste de los valores de  $R^2$  para emplear el óptimo.

## Figura 27.

Contraste entre valores  $R^2$  de primer orden y segundo orden para los valores de dureza.

```
> summary(modelo2.y1.sinI)
Call:
  rsm(formula = y1 ~ FO(x1, x2) + PQ(x1, x2), data = data)

(Intercept) Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
x1          0.7926091  0.3297848  2.4034  0.02662 *
x2         -3.6368056  1.7604823 -2.0658  0.05276 .
x1^2        -0.0059843  0.0059797 -1.0008  0.32951
x2^2        0.0197083  0.0135333  1.4563  0.16164
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared:  0.9522,    Adjusted R-squared:  0.9422
F-statistic: 94.68 on 4 and 19 DF,  p-value: 2.846e-12

Analysis of Variance Table

Response: y1
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
FO(x1, x2) 2  2754.97  1377.49  188.0273 3.019e-13
PQ(x1, x2) 2    19.49    9.74    1.3299  0.2880
Residuals 19   139.19    7.33
Lack of fit 3     6.80    2.27    0.2739  0.8433
Pure error 16   132.39    8.27

Stationary point of response surface:
      x1      x2
66.22439 92.26568
Stationary point in original units:
```

```
> summary(MODELO3)
Call:
  rsm(formula = DUREZA ~ FO(TIEMPO, HUMEDAD), data = TABLA3)

(Intercept) Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
TIEMPO      22.75538  0.47372  48.035 7.387e-08 ***
HUMEDAD     -10.72833  0.54013 -19.863 5.976e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared:  0.9905,    Adjusted R-squared:  0.9867
F-statistic: 261.1 on 2 and 5 DF,  p-value: 8.756e-06

Analysis of Variance Table

Response: DUREZA
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
FO(TIEMPO, HUMEDAD) 2  914.22  457.11  261.14 8.756e-06
Residuals          5    8.75    1.75
Lack of fit        5    8.75    1.75      NaN      NaN
Pure error         0    0.00    NaN

Direction of steepest ascent (at radius 1):
      TIEMPO  HUMEDAD
0.5338401 -0.8455854

Corresponding increment in original units:
      TIEMPO  HUMEDAD
0.5338401 -0.8455854
```

Nota: Autor.

La comparación entre los valores de  $R^2$  evidencian que para los datos de dureza se requiere la implementación del modelo de primer orden (valor de 0.9905 con respecto al de segundo orden de 0.9522 demostrando mejor análisis del primer orden), por lo que para el subsiguiente análisis se dará con un modelo de primer orden.

De acuerdo con los datos del modelo de segundo orden citados en la Figura 27, se evidencia el factor de intersección representado con un valor de p de 7.387e-8, menor en comparación al valor de significancia de 0.05 por lo que es esencial reconocer que se genera una alteración de resultados en el impacto de las piezas de micelio, en adición a ello se presenta la ecuación empleada para el modelo.

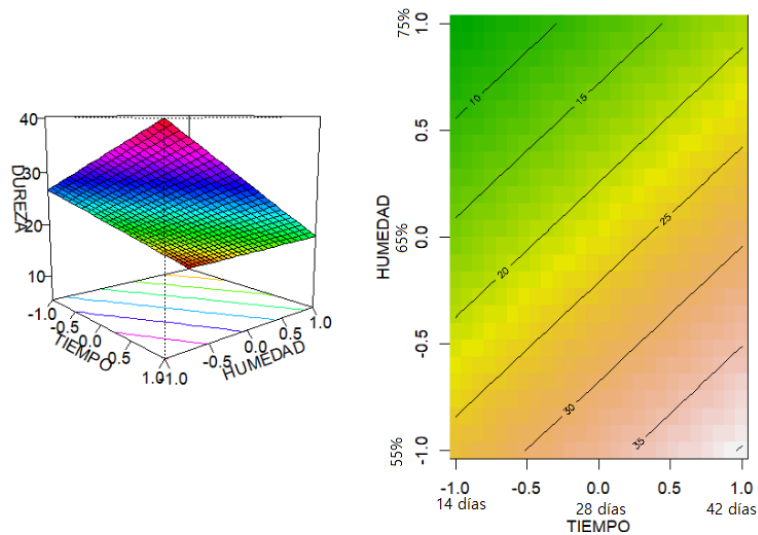
$$y = 22.7554 + 6.7731x_1 - 10.7283x_2 \quad [26]$$

Al analizar el resumen de los datos obtenidos, se observan las coordenadas del punto silla, presenta datos positivos que con probabilidad serían puntos de respuesta media ante el proceso, siendo la combinación de tiempo y humedad de 22 días (correspondiente al valor de 0.5338) y 46% de humedad (correspondiente al  $-0.8456$ ), sin embargo, se requiere experimentación para generar una conclusión con mayor sustento.

Luego del análisis estadístico del proceso, se presenta la imagen correspondiente a los datos de superficie de respuesta que relaciona los datos de tiempo, humedad y dureza, resultando los valores óptimos similares a los de experimentación de 42 días de maduración y 55% de humedad.

## Figura 28.

Gráfica que representa el modelo de superficie de respuesta de los valores de dureza obtenidos como resultado de los ensayos mecánicos.



Nota: Autor.

Con respecto a los resultados del modelo de superficie de respuesta enfocado a las condiciones de tiempo de maduración y porcentaje de humedad de cultivo, se presentan procesos de análisis similares a los de Oludemi (2020), Torres *et al.*, (2011), Ferrer *et al.*, (2019) y Huerta (2015), con metodologías de aplicación de modelos de superficie de respuesta, sin embargo, estas investigaciones poseen enfoques distintos los de la presente investigación, siendo más afines a las temáticas de optimización de condiciones de cultivo para la producción de biomasa y metabolitos secundarios fúngicos además de la optimización mediante uso de sustancias químicas para la obtención de biomasa, por consiguiente, esta temática formulada genera precedente documental con respecto a la aplicación de modelos de superficie de respuesta para la optimización de las condiciones de cultivo con respecto al tiempo de maduración y porcentaje de humedad de placas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

En conclusión, se ha generado una revisión exhaustiva de metodologías de cultivo y expansión de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., y se procedió a la implementación de la metodología que ofreció mejores resultados, estableciendo que la metodología utilizada cumplió con los requerimientos planteados, garantizando que se pueda hacer una replicación en laboratorio.

Se pudo apreciar que uno de los factores esenciales para el desarrollo adecuado con respecto al cultivo y expansión del micelio es el proceso de mezclado de los componentes iniciales para el sustrato para que se presente homogeneidad de estos componentes, además del mantenimiento de la asepsia inicial, garantizando así buenos resultados con las piezas de micelio.

De acuerdo a la metodología implementada, se demuestra que el microorganismo empleado pertenece a la cepa de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., mediante análisis macroscópico y microscópico, la identificación microscópica en cultivos *in vitro* es la metodología más adecuada y rápida para este proceso de identificación.

Se obtuvieron favorablemente piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., con dimensiones de 7cm de alto, 7cm de ancho y 10cm de largo, las mismas que fueron caracterizadas principalmente por sus caracteres organolépticos –coloración y olor-, siendo de colores entre blanquecino –debido a la colonización fúngica- o café –debido a la ausencia de colonización fúngica- y presencia de olores desagradables –causado por la falta de colonización

fúngica y proceso de putrefacción del sustrato- o ausencia del mismo. Estas piezas fueron componentes esenciales para los ensayos mecánicos de compresión, dureza e impacto.

Se emplearon tres metodologías de análisis: cajas y bigotes –análisis gráfico de la distribución de los resultados de las pruebas mecánicas y determinación de valores atípicos-, multiplicadores de Lagrange –análisis numérico detallado del proceso de optimización con la aplicación de máximos y mínimos de los resultados obtenidos- y modelo de superficie de respuesta –metodología matemática y gráfica de análisis de condiciones óptimas en un resultado-, estableciendo así las condiciones de tiempo de maduración y porcentaje de humedad óptimos en el cultivo de piezas de micelio, con resultados unánimes entre las metodologías de análisis, siendo 42 días y 55% respectivamente, estos datos representaron los valores de dureza, compresión e impacto óptimos en relación a los demás -40.25 dureza shore A, 177.39 kPa y 1.40 Nm respectivamente-.

Tomando en cuenta la información anteriormente planteada, se puede afirmar que se ha cumplido con lo planteado en la hipótesis, estableciendo la determinación de las condiciones óptimas de tiempo de maduración y humedad en el cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo alcanzando así las propiedades mecánicas de dureza, compresión e impacto adecuadas de estas piezas de micelio.

Adicionalmente se afirma que con la hipótesis planteada se respondió la pregunta de investigación formulada, debido que se establecieron las condiciones óptimas de tiempo de maduración y porcentaje de humedad –42 días y 55%- en el cultivo de piezas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., en sustrato de afrecho de trigo, obteniendo así las propiedades mecánicas de dureza, compresión e impacto –40.25 Shore A, 177.39 kPa y 1.4Nm- adecuadas de las piezas de micelio obtenidas.

Adicionalmente a lo presentado, es esencial concluir que esta investigación es un precedente de otras investigaciones que permitan llegar a resultados con mayor profundidad en la temática o que requieran estos procesos para objetivos relacionados de manera indirecta con la investigación, aumentando así el conocimiento del tema y su aplicabilidad.

## **5.2 Recomendaciones**

Adquirir una cantidad adecuada de equipos para incubación de las muestras y estufas para el desarrollo correcto de los procesos evitando contaminación cruzada y otras consecuencias semejantes, además de la implementación de sistemas de ventilación y eliminación de olores adecuados.

Emplear moldes con otras medidas que sean más sencillas para poder ser aplicadas como probetas y que las mismas no deban ser cortadas debido que eso afecta a las mediciones y condiciones de análisis, además que faciliten el desarrollo del micelio e intercambio de gases.

Generar pruebas con otros tipos de sustrato más rígidos que presenten menor fragilidad y probabilidad de fragmentación.



## CAPÍTULO 6

### REFERENCIAS

- Aceropedia. (2022, 12 septiembre). *Norma ASTM ¿Qué es y qué relación tiene con la construcción?* <https://bit.ly/3ZylHsS>
- Ahmadi, P., Mansor, S., Farjad, B., & Ghaderpour, E. (2022). *Classification of Ganoderma severity levels based on visual symptoms*. ResearchGate. <https://bit.ly/3rxgtCi>
- Alvarenga, S. (2023, 21 abril). *Optimización del cultivo in vitro del hongo Ganoderma lucidum*. TEC. <http://bit.ly/3DISgBA>
- Armendáriz, J., y Arvizu, V. (2020). Toxicidad en los materiales de construcción. *CICDECH*, 28(174), 12-22. <https://bit.ly/3TNrdXl>
- Asociación Española para la Calidad. (2019). *Normas ASTM*. Infraestructura y normalización. <https://bit.ly/2oEZYdG>
- Asociación Micológica de Fuenlabrada. (2022, 29 noviembre). *Los hongos ¿El nuevo plástico del futuro?* Fungiturismo. <https://bit.ly/3p5KkRq>
- ATRIA Innovations. (2021). *¿Qué son los biomateriales?* Materiales inteligentes. <https://bit.ly/3Zr1QeX>
- Avila, A., y Yáñez, P. (2020). Evaluación de la eficiencia del crecimiento del micelio de *Ganoderma lucidum* (Ganodermataceae), un hongo con alto potencial de uso textil en Ecuador, en tres sustratos orgánicos. *Ciencia Digital*, 4(3), 210-228. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1324>
- Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias. (2023). *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. Biota. <https://bit.ly/40KnzQd>
- Bazan, V. (2020, 26 diciembre). *El diseñador de Stanford fabrica ladrillos con hongos de rápido crecimiento que son más fuertes que el concreto*. Good News Network. <https://bit.ly/3Klrfc6>

- Bidegain, M. (2017). *Optimización del cultivo de Ganoderma lucidum. Evaluación de actividad y Desarrollo de nutraceuticos*. [Tesis doctoral]. Universidad Nacional del Sur.
- Blundell, R., Camilleri, E., Baral, B., Karpinski, T. M., Neza, E., y Atrooz, O. M. (2023). The Phytochemistry of *Ganoderma* Species and their Medicinal Potentials. *The American Journal of Chinese Medicine*, 1-24. <https://doi.org/10.1142/s0192415x23500404>
- Calvo, R. (2021). *Materiales de construcción: propiedades y tipos*. Ferrovial. <https://bit.ly/3ZnnEs3>
- Campusmana, G., y Salazar, C. (2018). *Obtención de fibra ecológica a base de hongos* [Online Issuu]. <http://bit.ly/3Ph2wSL>
- Carrascal, I., Cavia, S., Casado, J., Ferreño, D., y Setién, J. (2020). Caracterización en dureza. En *Caracterización de Materiales* (pp. 29-32). <https://bit.ly/3KgMHsh>
- De Madrignac, B., y Flecha, A. M. (2019). Evaluación del cultivo de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* (Agaricomycetes, Agaricales – Poyporales) empleando sustratos alternativos. *Lilloa*, 1-13. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2019.56.1/1>
- Dubertret, F., & Lelong, C. (2009). Prediction of palm-tree *Ganoderma* affection degree by reflectance spectroscopy: proposed method [Tesis de Grado]. *Montellier SupAgro*.
- Dueñas, N. (2022). El micelio es el biomaterial del futuro. *ACP Agroconsultora Plus*. <https://bit.ly/3Na3nSB>
- Etecé. (2021, 5 agosto). *Microbiología - Concepto, clasificación, ramas, importancia*. Concepto. <https://bit.ly/3N7NEDv>
- Feijoo-Vivas, K., Bermúdez-Puga, S. A., H, R., Figueroa, J. I., Zamora, P., y 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 (Ibarra - Impresa)*, 6(1), 1637-1652. <https://doi.org/10.21931/rb/2021.06.01.29>

- Fernandes, A. (2023). Biología: qué es, qué estudia y su importancia. *Significados*.  
<https://bit.ly/3qNoUZW>
- Fernández, N., Gaggino, R., Positieri, M. J., y Kreiker, J. (2020). Materiales biopoliméricos desarrollados a partir de micelio y residuos lignocelulósicos. Estado de la técnica actual y perspectivas de aplicación en el campo del hábitat. *AJEA*, 5.  
<https://doi.org/10.33414/ajea.5.774.2020>
- Ferrer, J., Mas, S., Beltrán, Y., Rodríguez, Y., & Morris, H. (2019). Optimización del medio de cultivo para la producción de biomasa y compuestos fenólicos por *Pleurotus ostreatus* en fase sumergida utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Tecnología Química*, 39(1), 1-16. <https://bit.ly/3OzdbaV>
- Freire-Vinueza, C., Meneses, K., y Cuesta, G. (2021). América Latina: ¿Un paraíso de la contaminación ambiental? *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 1-18.  
<https://doi.org/10.15359/rca.55-2.1>
- Fuentes, I., y Monereo, C. (2020). *Bio Fabricación, Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos* [Tesis de grado - Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (UPM)].
- Gallegos, A. (2022). *Aplicación de micelio de hongo Pleurotus ostreatus en diferentes residuos lignocelulósicos para la obtención de biomateriales* [Tesis de pregrado]. Universidad Continental.
- González, M., Diamont, D., & Gutiérrez, B. (2011). Técnica de tinción de estructuras fúngicas con colorantes vegetales como una alternativa no contaminante. *Bioagro*, 23(1), 65-68.  
<https://shorturl.at/ioGMW>
- González, R. (2020). *Guía de Microbiología*. <https://bit.ly/3nOgsIt>
- Gutiérrez, S., & Trujillo, L. (2019). *Revisión y análisis macroscópico y microscópico de las cepas de la colección de hongos de la Universidad Católica de Manizales para verificar*

- su contenido, viabilidad y pureza* [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Manizales.
- Hielscher Ultrasonics. (2023). Chitin and Chitosan Production from Mushrooms. *Hielscher Ultrasonics*. <https://bit.ly/3NxIu5n>
- Huerta, I. (2015). *Optimización de la extracción de los principales compuestos bioactivos de Ganoderma curtisii* [Tesis de maestría]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Inarquia. (2022). *Micotectura: Uso del Micelio de los Hongos en la Arquitectura*. <https://bit.ly/3U8ndkt>
- INFINTIA Industrial Consulting. (2021). *Propiedades mecánicas*. <https://bit.ly/3JqwhvV>
- INFINTIA Research. (2020). *Análisis de patologías de materiales*. INFINTIA Industrial Consulting. <https://bit.ly/3K16LOu>
- INTIWASI. (2022). *Kit de Cultivo Ganoderma (Reishi)*. Productos Naturales. INTIWASI. <https://bit.ly/3Lw5fpy>
- Karro, S., y Leet, K. (2022). Materiales de micelio: El futuro de cultivar nuestros hogares. *ArchDaily en español*. <http://bit.ly/3oWYODi>
- Lauric, M., Torres, C. y De Leo, G. (2021). *Utilización de suplementación líquida (melaza) para el ganado bovino en el sudoeste de provincia de Buenos Aires, Argentina. Relevamiento de casos reales*. [Informe técnico]. Estación Experimental Agropecuaria Bordenave, INTA.
- Li, R., Zhang, Z., Su, X., Yu, J., Lu, L. y Liu, T. (2022). Nontargeted metabolomics study and pharmacodynamic evaluation of bidirectional fermentation for *Ganoderma lucidum* with *Marsdenia tenacissima*. *Frontiers in Pharmacology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1012063>
- López, M. (2021). *Tracción y compresión en metales*. <https://bit.ly/3JSreVe>

- Luna, J., y Muñoz, A. (2019). *Elaboración de un material compuesto biodegradable mediante colonización fúngica de Ganoderma lucidum en fibras naturales* [Tesis de grado]. Universidad del Cauca.
- Mariani, M., Juncos, N., Grosso, N., y Olmedo, R. (2021). TENDENCIAS EN LA BIOINDUSTRIA: OBTENCION DE BIOMASA DE HONGOS PARAGENERACION DE PRINCIPIOS ACTIVOS ANTIOXIDANTES PARA SU USO ALIMENTARIO. *Nexo agropecuario*, 9(1), 59-64. <https://bit.ly/3Nuq2u7>
- Martí, M., Alonso, R., & Constans, A. (1998). *Calidad de aire interior: identificación de hongos*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. <https://shorturl.at/oGMVY>
- MDM Científica. (2021, 10 octubre). *Los medios de cultivo para microbiología más usados*. Microbiología. <https://bit.ly/40xKY7T>
- Mejía, A. (2021). *Técnicas de cultivo de actinomicetos y hongos* [Manual de ensayo]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Merino, D. (2020). APORTACIONES MICOLÓGICAS 38. *Micobotánica Jaén, 1*. <https://bit.ly/3ZUW1rq>
- Minitab Statistical Software. (2021). *¿Qué son los diseños de superficie de respuesta, los diseños centrales compuestos y los diseños de Box-Behnken?* Minitab. <https://bit.ly/41cez6F>
- Molina, A., y Sánchez, S. (2021). *Estudio comparativo de los métodos de extracción de polisacáridos del hongo Reishi (Ganoderma lucidum) y Shiitake (Lentinula edodes)* [Tesis de pregrado]. Universidad de Guayaquil.
- Monroy, A. (2018). *Impacto ambiental durante el proceso de construcción*. Colegio Mexicano de Ingenieros Civiles. <https://bit.ly/3LaMrMI>

- Montoya, S., López, D., y Segura, B. (2018). Influencia de la luz azul sobre la productividad del cultivo sólido de *Ganoderma lucidum*. *Revista Colombiana de Biotecnología*. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73674>
- MordorIntelligence. (2022). *Cuota de mercado de biomateriales, tamaño, análisis (2022 - 27)*. Mordor Intelligence. <https://bit.ly/3LgRr27>
- Mycelior. (2018). *Suplementos y aditivos*. Guía de cultivo. <https://bit.ly/3MeCTRf>
- Naranjo, C., y Toro, L. (2021). Obtención y propagación del inóculo primario de tres cepas de *Ganoderma lucidum* recolectada en la Estación Científica Yasuní [Tesis de pregrado]. *PUCE*.
- Naranjo, J. (2014). *Caracterización morfológica y molecular del género Ganoderma en zonas protegidas y ciudades del Valle del Cauca* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. (2019). *Biomateriales*. NCBI. <https://bit.ly/40nanRw>
- Oludemi, T. A. (2020). *Development of cosmeceutical formulations based on mushroom extracts and their individual compounds*. <https://doi.org/10.14201/gredos.140490>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2021). Hongos - Qué es, definición, características y propiedades. *Definición.de*. <https://bit.ly/3Jh7DhV>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2022). Micología - Qué es, definición y concepto. *Definición.de*. <https://shorturl.at/dlpY2>
- Probiotek. (2017). *AGAR DE DEXTROSA Y PAPA*. Probiotek | Productos y Equipos Biotecnológicos. <https://bit.ly/2UB9Ahh>
- Proswersur. (2021). *Afrecho de trigo para ganado*. <https://bit.ly/3zkjvKK>
- Qiu, G., Lan, J., Zhang, W., Wen, L., Keong, C. Y., y Chen, X. (2023). Determination on Tree Species Selection for Lingzhi or Reishi Medicinal Mushroom *Ganoderma lucidum*

- (Agaricomycetes) Cultivation by Fourier Transform Infrared and Two-Dimensional Infrared Correlation Spectroscopy. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 25(1), 65-76. <https://doi.org/10.1615/intjmedmushrooms.2022046594>
- Răut, I., Călin, M., Vuluga, Z., Oancea, F., Paceagiu, J., Radu, N., Doni, M., Alexandrescu, E., Purcar, V., Gurban, A. M., Petre, I., y Jecu, L. (2021). Fungal Based Biopolymer Composites for Construction Materials. *Materials*, 14(11), 2906. <https://doi.org/10.3390/ma14112906>
- Ramírez, J., y Sáinz, R. (2020). Cultivo del hongo Reishi (*Ganoderma lucidum*) en sustratos artificiales. <https://bit.ly/434GFm1>
- Real Academia Española. (2023). *Nocividad*. RAE. <https://bit.ly/3KdJSYX>
- Rivera, L., y Coronel, D. (2022). *APROVECHAMIENTO DEL MICELIO DE HONGOS NATIVOS DE LA ESPOL CON FINES DE MICOTECTURA* [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Roa, A., Camacho, H., Ardila, J., y Nieves, K. (2018). *Viabilidad para la creación de una empresa que fabrique y comercialice el extracto de Ganoderma lucidum* [Tesis para especialización]. Universidad Católica de Colombia.
- Rodríguez, D. (2022). *Tiempo*. Concepto de - Definición de. <https://bit.ly/3U1>
- Rosas, J. C., y Meraz, J. E. V. (2022). Evaluación del cultivo in vitro de una cepa mexicana de *Ganoderma lucidum*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(2), 36-40. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n2.97143>
- Sadys, M., Skjøth, C. A., & Kennedy, R. (2015). Forecasting methodologies for ganoderma spore concentration using combined statistical approaches and model evaluations. *International Journal of Biometeorology*, 60(4), 489-498. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1045-3>

- Salgado, D. (2021). *Materiales ecológicos aplicados al diseño de interior. Caso de estudio: Fundación Pro-Bosque, interiores y exteriores inmediatos* [Tesis de pregrado]. Universidad de Guayaquil.
- Shamim, M. Z., Mishra, A. K., Kausar, T., Mahanta, S., Sarma, B., Kumar, V., Mishra, P. K., Panda, J., Baek, K. H., y Mohanta, Y. K. (2023). Exploring Edible Mushrooms for Diabetes: Unveiling Their Role in Prevention and Treatment. *Molecules*, 28(6), 2837. <https://doi.org/10.3390/molecules28062837>
- Sheldrake, M. (2020). *La red oculta de la vida: de qué manera los hongos crean nuestros mundos, cambian nuestra forma de pensar y moldean nuestro futuro*. <https://bit.ly/42FHKiW>
- Sinailín, K., y Titusunta, D. (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* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Souza, E. (2023, 6 febrero). *¿Qué materiales de construcción pueden ser perjudiciales para nuestra salud?* ArchDaily en español. <https://www.archdaily.cl/cl/978072/que-materiales-de-construccion-pueden-ser-perjudiciales-para-nuestra-salud>
- Suárez, J., Luna, M., Mendoza, G., Salinas, A., Suarez, M., & Trigos, Á. (2012). Caracterización morfológica y molecular de una cepa silvestre mexicana perteneciente al género Ganoderma. *Revista mexicana de micología*, 36(36), 33-39. <https://doi.org/10.33885/sf.2012.3.1103>
- Susel, G. D. E., Domínguez, E. M. H., Fernández, A. G. E., Cervantes, J. L., Medellín, L. D. R., y Mendoza, B. M. (2021). Biomaterial obtenido a partir de micelio de hongo (*Ganoderma lucidum*) y residuos agrícolas. *South Florida Journal of Development*, 2(3), 4663-4681. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-065>



- Torres, A., Quintero, J., & Atehortua, L. (2011). Efecto de nutrientes sobre la producción de biomasa del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(1), 103-109. <http://bit.ly/471ZEiY>
- Wang, Q., Liu, W., Peng, B., Gong, X., Shi, J., Zhang, K., Li, B., Tu, P., Li, J., Jiang, J., Zhao, Y., y Song, Y. (2023). Two-dimensional code enables visibly mapping herbal medicine chemome: an application in *Ganoderma lucidum*. *Chinese Medicine*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13020-022-00702-8>
- Xu, M., Zhu, S., Wang, Q., Chen, L., Li, Y., Xu, S., Gu, Z., Shi, G., y Ding, Z. (2023). Pivotal biological processes and proteins for selenite reduction and methylation in *Ganoderma lucidum*. *Journal of Hazardous Materials*, 444, 130409. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130409>
- YAZIO. (2022). *Melaza: calorías y valor nutricional*. <https://bit.ly/3KqVgRs>
- Zarza, M., Vargas, R., y Acevedo, M. (2018). *Ensayo de impacto Charpy*. <https://bit.ly/3JTFQnl>
- Zhu, Q., Ren, A., Ding, J., He, J., Zhao, M., Jiang, A., Zhou, X., Wang, J., y He, Q. (2022). Cross Talk between G1AQP and NOX Modulates the Effects of ROS Balance on Ganoderic Acid Biosynthesis of *Ganoderma lucidum* under Water Stress. *Microbiology Spectrum*, 10(6). <https://doi.org/10.1128/spectrum.01297-22>
- Zou, P., Guo, Y., Ding, S., Song, Z., Cui, H., Zhang, Y., Zhang, Z., y Chen, X. (2022). Autotoxicity of Endogenous Organic Acid Stress in Two *Ganoderma lucidum* Cultivars. *Molecules*, 27(19), 6734. <https://doi.org/10.3390/molecules27196734>
- ZwickRoell Ecuador. (2019). *Ensayo de impacto*. Ensayo de materiales. <https://bit.ly/40uYXLB>
- ZwickRoell Ecuador. (2021). *Ensayo de compresión*. Ensayo de materiales. <https://bit.ly/3Zy3onw>

# CAPÍTULO 7

## APÉNDICES Y ANEXOS

### FIGURAS

#### Figura 29.

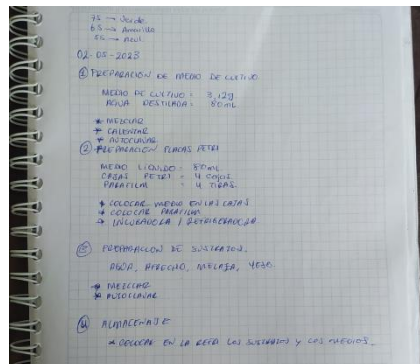
Ficha de registro de referencias bibliográficas empleadas en el desarrollo de la investigación para el análisis documental.

Título	Año	Link	Citas	N
Biomaterial obtenido a partir de micelio de hongo ( <i>Ganoderma lucidum</i> ) y residuos agrícolas	2021	<a href="https://bit.ly/3T55pGm">https://bit.ly/3T55pGm</a>	Corta: (Susael et al., 2021) Larga: Susael, G. D. E., Domínguez, E. M. H., Fernández, A. G. E., Cervantes, J. L., Medellín, L. D. R., & Mendoza, B. M. (2021). Biomaterial obtenido a partir de micelio de hongo ( <i>ganoderma lucidum</i> ) y residuos agrícolas. <i>South Florida Journal of Development</i> , 2(3), 4663-4681. <a href="https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-065">https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-065</a>	1
Elaboración de un material compuesto biodegradable mediante colonización fúngica de <i>Ganoderma lucidum</i> en fibras naturales	2019	<a href="https://bit.ly/41YEml3">https://bit.ly/41YEml3</a>	Corta: (Luna & Muñoz, 2019) Larga: Luna, J., & Muñoz, A. (2019). Elaboración de un material compuesto biodegradable mediante colonización fúngica de <i>Ganoderma lucidum</i> en fibras naturales [Tesis de grado]. Universidad del Cauca.	2
Determinación de las características físicas y mecánicas del material biodegradable obtenido con micelios de <i>Pleurotus ostreatus</i> y <i>Ganoderma lucidum</i> utilizando rastrojo de cebada y rastrojo de trigo como sustrato	2022	<a href="https://bit.ly/3mGfcGs">https://bit.ly/3mGfcGs</a>	Corta: (Sinallin & Titusunta, 2022) Larga: Sinallin, K., & Titusunta, D. (2022). Determinación de las características físicas y mecánicas del material biodegradable obtenido con micelios de <i>Pleurotus ostreatus</i> y <i>Ganoderma lucidum</i> utilizando rastrojo de cebada y rastrojo de trigo como sustrato [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana.	3

Nota: Autor.

#### Figura 30.

Diario de campo con diferentes registros de cambios y procesos realizados en el proceso de investigación.



Nota: Autor.

**Figura 31.**

*Ejemplar de Ganoderma lucidum (Curtis) P. Karst., en su entorno natural.*



Nota: Autor.

**Figura 32.**

*Micelio empleado para el proceso de inoculación procedente de Inti Wasi.*



Nota: Autor.

**Figura 33.**

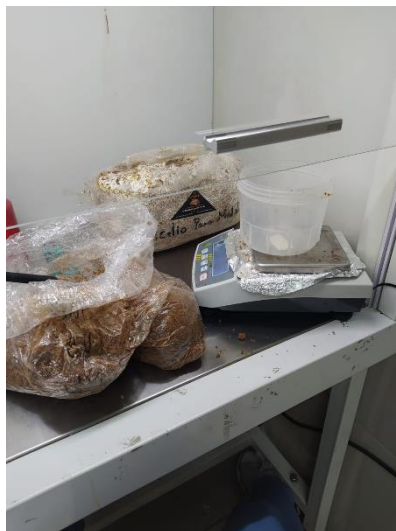
*Proceso de preparación y adecuación del sustrato –pesado del yeso, melaza y afrecho respectivamente-.*



Nota: Autor.

**Figura 34.**

*Proceso de cultivo de micelio en el sustrato de afrecho de trigo.*



Nota: Autor.

**Figura 35.**

*Micelio cultivado empleado en el proceso de expansión del micelio.*



Nota: Autor.

**Figura 36.**

*Proceso de expansión del micelio en las placas designadas.*



Nota: Autor.



**Figura 37.**

*Placas de micelio maduras –bloques de micelio de 14, 28 y 42 días respectivamente–.*



Nota: Autor.

**Figura 38.**

*Piezas de micelio previas al secado.*



Nota: Autor.

**Figura 39.**

*Proceso de secado de las piezas de micelio.*



Nota: Autor.

**Figura 40.**

*Placas de micelio secas.*



Nota: Autor.

**Figura 41.**

*Preparación de las probetas de micelio para los ensayos mecánicos.*



Nota: Autor.

**Figura 42.**

*Probetas de micelio empleadas en los ensayos mecánicos -vista superior y frontal respectivamente-.*



Nota: Autor.



**Figura 43.**

*Ensayo de compresión realizado en las probetas previamente preparadas.*



Nota: Autor.

**Figura 44.**

*Ensayo de dureza realizado en las probetas previamente preparadas.*



Nota: Autor.

**Figura 45.**

*Ensayo de impacto realizado en las probetas previamente preparadas.*



Nota: Autor.

## ANEXOS

### ANEXO A.

**Certificado de la especie del hongo empleado en el proceso de desarrollo de las placas de micelio -*Ganoderma lucidum*- proporcionado por la empresa Inti Wasi**



**Cliente:** María José Montesdeoca González

**Fecha:** 19 de Julio de 2023

Por medio de la presente informo que la especie de hongo utilizada en la elaboración del producto "Micelio listo para Moldear" es *Ganoderma lucidum* con el número de registro IW16 del banco de cepas de IntiWasi Productos Naturales.

Muy cordialmente,



Leado digitalmente por  
WASHINGTON ANDRES  
SALAZAR LOAIZA

Andrés Salazar  
Lic. Ciencias Biológicas  
Técnico de Producción IntiWasi Productos Naturales.

## ANEXO B.

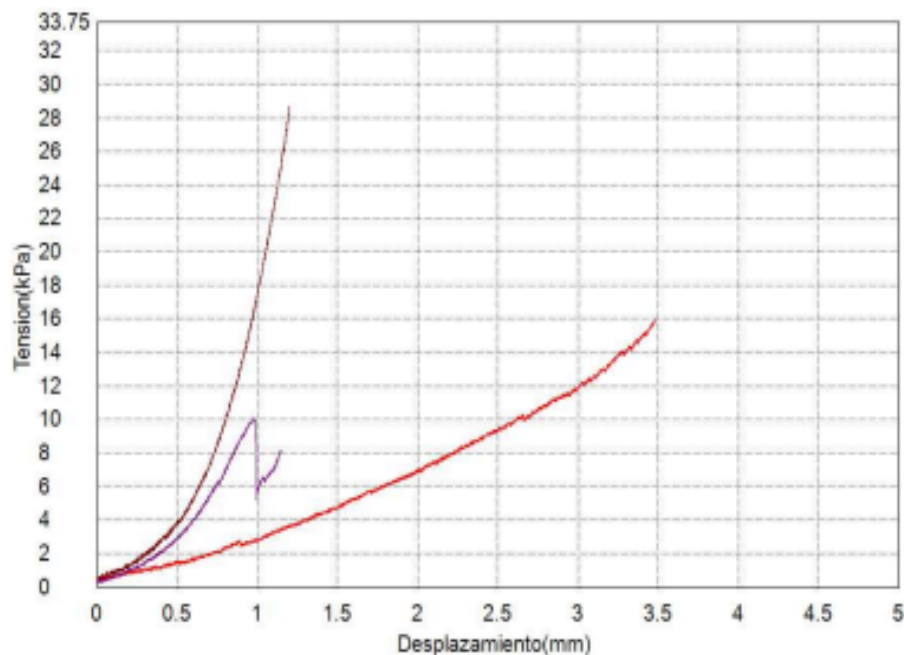
### Resultados de los ensayos de compresión de las probetas de micelio de *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. Desarrollada en sustrato de afrecho de trigo.

Ensayo de compresión de piezas de micelio de *G. lucidum* en sustrato de afrecho de trigo grupo control (14, 28 y 42 días).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	3.xtas	Nombre de metodo de ensayo	COMPRESION SUSTRATOS.xmas
Fecha de informe	7/12/2023	Fecha de ensayo	7/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	1mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	3

Nombre	Dos ptos	Max_Fuerza	Max_Tension	Max_Desplazamiento
Parametros	Fuerza 0.5 – 2 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	kPa	mm
1_1	0.04124	17.8719	15.9428	3.48401
1_1	0.11473	23.2315	28.6809	1.20362
1_1	0.11619	12.4613	10.0576	0.97999

Nombre	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	%
1_1	18.4357
1_1	5.77942
1_1	3.51330

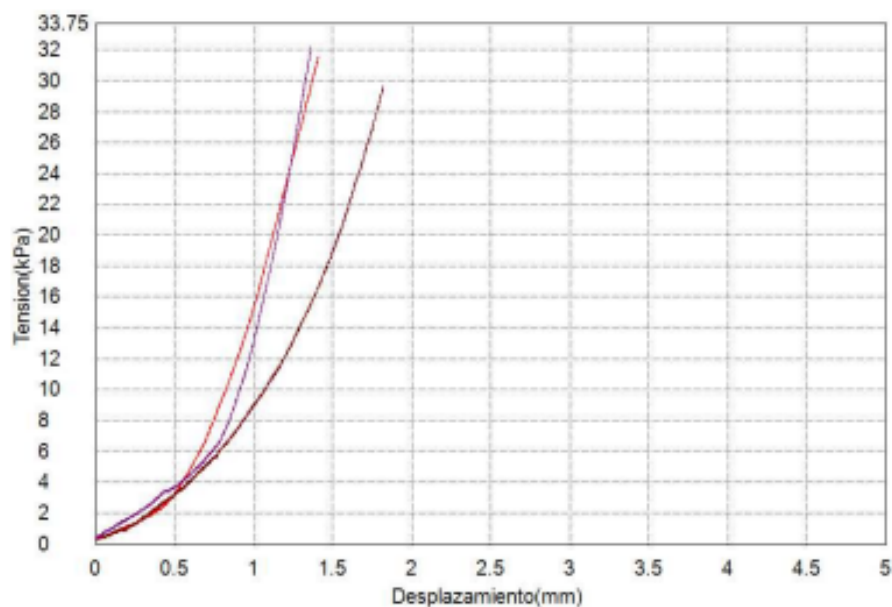


Ensayo de compresión de piezas de micelio de *G. lucidum* en sustrato de afrecho de trigo con humedad 55% (14, 28 y 42 días).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	1.xtas	Nombre de metodo de ensayo	COMPRESION SUSTRATOS.xmas
Fecha de informe	7/12/2023	Fecha de ensayo	7/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	1mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	3

Nombre	Dos ptos	Max_Fuerza	Max_Tension	Max_Desplazamiento
Parametros	Fuerza 0.5 - 2 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	kPa	mm
1_1	0.09265	35.3972	31.5765	1.40933
1_1	0.12054	24.0453	29.6856	1.82162
1_1	0.17739	39.9303	32.2279	1.36263

Nombre	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	%
1_1	7.49307
1_1	8.85877
1_1	4.89692

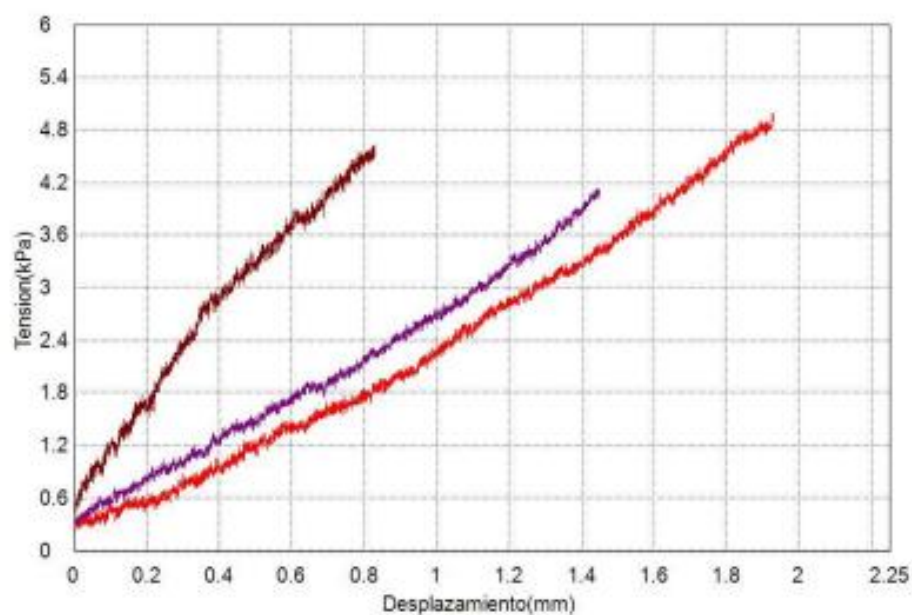


Ensayo de compresión de piezas de micelio de *G. lucidum* en sustrato de afrecho de trigo con humedad 65% (14, 28 y 42 días).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	1.xtas	Nombre de metodo de ensayo	COMPRESION SUSTRATOS.xmas
Fecha de informe	7/12/2023	Fecha de ensayo	7/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	1mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	3

Nombre	Dos ptos	Max_Fuerza	Max_Tension	Max_Desplazamiento
Parametros	Fuerza 0.4 - 0.6 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	kPa	mm
1_1	0.03431	5.59171	4.98815	1.92749
1_1	0.26606	3.74158	4.61924	0.83028
1_1	0.11740	5.11487	4.12823	1.44516

Nombre	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	%
1_1	10.4924
1_1	4.04738
1_1	5.23373



Ensayo de compresión de piezas de micelio de *G. lucidum* en sustrato de afrecho de trigo con humedad 75% (14, 28 y 42 días).

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	1.xtas	Nombre de metodo de ensayo	COMPRESION SUSTRATOS.xmas
Fecha de informe	7/12/2023	Fecha de ensayo	7/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	1mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	3

Nombre	Dos pts	Max_Fuerza	Max_Tension	Max_Desplazamiento
Parametros	Fuerza 0.4 - 0.6 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa	N	kPa	mm
1_1	0.06311	4.49499	4.00980	1.18683
1_1	0.05998	4.12305	5.09019	1.59916
1_1	0.02903	2.36511	1.90889	1.55766

Nombre	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	%
1_1	6.50037
1_1	8.02025
1_1	5.72761

