

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES**

**TEMA:
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**

**AUTORES:
KATHERINE PRISCILA SINAILÍN ALCOCER
DAVID MARCELO TITUSUNTA ARIAS**

**TUTOR:
PATRICIA MARIBEL GUTIÉRREZ SALAZAR**

Quito, marzo del 2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Katherine Priscila Sinailín Alcocer con documento de identificación N° 172458078-0 y David Marcelo Titusunta Arias con documento de identificación N° 172659315-3, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: **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**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....
Katherine Priscila Sinailín Alcocer

172458078-0

Quito, marzo 2022

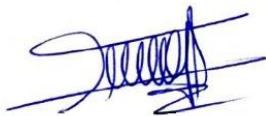
.....
David Marcelo Titusunta Arias

172659315-3

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **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** realizado por Katherine Priscila Sinailín Alcocer y David Marcelo Titusunta Arias, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2022



.....
Patricia Maribel Gutiérrez Salazar
1718427220

DEDICATORIA

A mis padres María del Carmen y Omar, por su apoyo incondicional durante toda mi vida, su esfuerzo es un ejemplo de superación personal, además por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis triunfos son gracias a ustedes.

Gracias, madre y padre.

Katherine

A Silvia y Marcelo, por ese apoyo constante que desde siempre me han brindado para lograr mis metas. Gracias, padres míos.

David

AGRADECIMIENTO

A mis padres, quienes me brindaron el apoyo moral y económico para cumplir con este anhelado sueño.

A la Ingeniera Patricia Gutiérrez, por su disposición y por guiarnos durante el trabajo de titulación.

A mis mejores amigos: Lucho, Jona, Javi y Nico “los peces”, quienes hicieron de mi etapa universitaria una aventura divertida.

A la Msc Ing. Liliana Granda por darme la oportunidad de crecer profesionalmente al tiempo de estar realizando mi trabajo de titulación y al grupo de amigos que hemos formado: Jorge, Emi y Lu.

A todas las personas que me apoyaron moralmente en algún momento oscuro de mi vida: Caro, Sammy, tía Aracely, Edu, Ing, Carlos, Ing Victor, Ing Ronny.

Katherine

A la Ingeniera. Patricia Gutiérrez por su paciencia hacia nosotros durante todo este tiempo de acompañamiento.

A mis hermanos Wladimir y Patricio que me dieron ánimo para seguir en el proceso.

A mis primos Nicole, Marco y Omar por aquellos momentos de ocio que fueron compensados con dedicación.

A los docentes: Ing. Carlos, Ing. Víctor, Ing. Ronny por su apoyo y palabras de en este proceso.

David

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Problema.....	1
1.2.	Delimitación	4
1.3.	Pregunta de investigación	4
1.4.	Objetivos	4
1.5.	Hipótesis.....	5
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1	Contaminación por plásticos.....	6
2.2	Características del EPS	6
2.3	Reino Fungi	7
2.3.1	Generalidades	7
2.3.1.1	Clasificación.....	8
2.3.1.2	Morfología y reproducción	8
2.4	Nutrición y metabolismo	9
2.4.1	Mecanismos de degradación por hongos	10
2.4.1.1	Hongos de pudrición blanca	10
2.4.1.2	Hongos de pudrición blanda	10
2.4.1.3	Hongos de podredumbre parda	10
2.5	Género Ganoderma.....	11
2.6	Género Pleurotus	12
2.7	Aplicaciones de los hongos.....	15
2.7.1	Material Biodegradable	15
2.8	Calidad del material biodegradable.....	16
2.8.1	ASTM D570:.....	16
2.8.2	ASTM D638:.....	16
2.8.3	ASTM D790:.....	16
2.8.4	ASTM D1621:.....	17
2.8.5	ASTM D1622:.....	17
2.9	Demanda del material	17
2.10	Residuos Agroindustriales	18
2.10.1	Generalidades de la paja de trigo y Cebada	18
2.11	Sustrato.....	19
2.11.1	Suplementos usados para el sustrato	20
2.11.1.1	Yeso:	20
2.11.1.2	Melaza:	20
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1	Fase preliminar	22
3.1.1	Micelios	22
3.1.2	Rastrojos.....	22
3.1.3	Molienda.....	22
3.2	Fase de laboratorio	23
3.2.1	Preparación y acondicionamiento de los sustratos	23
3.2.1.1	Materiales	23
3.2.1.2	Preparación.....	25
3.3	Análisis estadístico	30
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31

4.1	Probetas obtenidas	31
4.2	Pruebas realizadas según el estándar de las normas ASTM:	33
4.2.1	Densidad (ASTM D1622).....	34
4.3	Absorción de agua (ASTM D570).....	35
4.4	Resistencia a la compresión (ASTM D1621).....	37
4.5	Resistencia a la flexión (ASTM D790).....	39
4.6	Resistencia a la tensión ASTM D638	40
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1	Conclusiones	44
5.2	Recomendaciones	45
6	BIBLIOGRAFÍA.....	46
7	ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del poliestireno expandido	7
Tabla 2 Valores medios de la composición de los residuos agrícolas.....	19
Tabla 3 Valores medios del contenido de minerales.....	19
Tabla 4 Materiales.....	24
Tabla 5 Equipos.....	24
Tabla 6 Reactivos.....	25
Tabla 7 Valores obtenidos con el 50% de humedad.....	25
Tabla 8 Valores obtenidos con el 60% de humedad.....	26
Tabla 9 Valores obtenidos con el 70% de humedad.....	26
Tabla 10 Valores de las dimensiones de las probetas.....	31
Tabla 11 Valores de las dimensiones de las probetas.....	32
Tabla 12 Numero de probetas requeridas para los ensayos.....	34
Tabla 13 Cuadro de análisis de la varianza.....	34
Tabla 14 Promedio \pm desviación estándar de la densidad.....	35
Tabla 15 Cuadro de Análisis de la Varianza.....	36
Tabla 16 Promedio \pm desviación estándar de la absorción de agua.....	36
Tabla 17 Cuadro de análisis de la varianza.....	37
Tabla 18 Promedio \pm desviación estándar de la resistencia a la compresión.....	38
Tabla 19 Cuadro de análisis de la varianza, micelio de <i>Ganoderma lucidum</i>	39
Tabla 20 Promedio \pm desviación estándar de la resistencia a la flexión, micelio de <i>Ganoderma lucidum</i>	40
Tabla 21 Cuadro de Análisis de la varianza, micelio de <i>Ganoderma lucidum</i>	41
Tabla 22 Promedio \pm desviación estándar de la resistencia a la tensión, con micelio de <i>Ganoderma lucidum</i>	41
Tabla 23 Comparación del material obtenido con el EPS.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Microbasural en Quito (sector: parque El Ejido).....	2
Figura 2 Ganoderma lucidum.....	12
Figura 3 Pleurotus ostreatus.....	13
Figura 4. Pasos ejecutados para la obtención del material biodegradable.....	21
Figura 5 Pacas de trigo y cebada.....	22
Figura 6 Trituración del material.....	23
Figura 7 Rastrojo triturado de trigo y cebada.....	23
Figura 8 Expansión 25 de septiembre, 2021.....	28
Figura 9 Crecimiento Ganoderma lucidum en cebada después de 9 días.....	28
Figura 10 Probetas obtenidas para las pruebas de densidad, absorción de agua y resistencia a la compresión.....	32
Figura 11 Probetas obtenidas para las pruebas resistencia a la flexión y resistencia tensión.....	33
Figura 12 Material obtenido con Pleurotus Ostreatus.....	39
Figura 13 Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 1.....	54
Figura 14 Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 2.....	54
Figura 15 Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 3.....	55
Figura 16. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 4.....	55
Figura 17 Ganoderma Lucidum en cebada al 60%, ensayo 1.....	56
Figura 18. Ganoderma Lucidum en cebada al 60%, ensayo 2.....	56
Figura 19 Ganoderma Lucidum en cebada al 60%, ensayo 3.....	57
Figura 20. Ganoderma Lucidum en cebada al 60%, ensayo 4.....	57
Figura 21. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 1.....	58
Figura 22. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 2.....	58
Figura 23. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 3.....	59
Figura 24 Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 4.....	59
Figura 25 Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 1.....	60
Figura 26. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 2.....	60
Figura 27. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 3.....	61
Figura 28. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 4.....	61
Figura 29. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 1.....	62
Figura 30. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 2.....	62
Figura 31. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 3.....	63
Figura 32. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 4.....	63
Figura 33. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 1.....	64
Figura 34. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 2.....	64
Figura 35. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 3.....	65
Figura 36. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 4.....	65
Figura 37. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 1.....	66
Figura 38. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 2.....	66
Figura 39. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 3.....	67
Figura 40. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 4.....	67
Figura 41. Ganoderma Lucidum en cebada al 60%, ensayo 1.....	68
Figura 42. Ganoderma Lucidum en cebada al 60%, ensayo 2.....	68
Figura 43. Ganoderma Lucidum en cebada al 60%, ensayo 3.....	69
Figura 44. Ganoderma Lucidum en cebada al 60%, ensayo 4.....	69
Figura 45. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 1.....	70

Figura 46. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 2.	70
Figura 47. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 3.	71
Figura 48. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 4.	71
Figura 49. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 1.....	72
Figura 50. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 2.....	72
Figura 51. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 3.....	73
Figura 52. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 4.....	73
Figura 53. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 1.....	74
Figura 54. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 2.....	74
Figura 55. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 3.....	75
Figura 56. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 4.....	75
Figura 57. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 1.....	76
Figura 58. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 2.....	76
Figura 59. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 3.....	77
Figura 60. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 4.....	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos ASTM D790 (Resistencia a la flexión).....	54
Anexo 2. Resultados obtenidos ASTM D638 (Resistencia a la Tensión)	66
Anexo 3. Resultados obtenidos ASTM D 1622 (Densidad) y D 570 (Absorción de agua).....	78
Anexo 4. Resultados obtenidos ASTM D 1621 (Resistencia a la Compresión).....	81

RESUMEN

Durante los últimos años se ha podido evidenciar de manera significativa el uso indiscriminado de plásticos y materiales provenientes del petróleo utilizados para la fabricación de productos tales como: empaques, fundas, desechables varios, entre otros; lo que ha ocasionado el incremento de residuos sólidos en todo el mundo, causando espacios limitados para su almacenamiento, además de la contaminación de los productos manufacturados con plástico y materiales relacionados con el mismo.

En la presente investigación se muestra el análisis físico-mecánico de material biodegradable obtenido a partir de residuos agroindustriales y micelios de hongos, como una alternativa para reducir el uso de productos elaborados a partir de poliestireno expandido (EPS) en el mercado.

Se realiza ensayos físico-mecánicos de las pruebas de densidad, absorción de agua, resistencia a la flexión, resistencia a la tensión y resistencia a la compresión del material hecho a partir de micelio de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* inoculados en sustratos de trigo y cebada en tres porcentajes de humedad. Las pruebas se realizaron bajo el estándar de las normas ASTM D1622, ASTM D570, ASTM D790, ASTM D380 y ASTM D1621.

Los resultados en *Pleurotus ostreatus* en trigo con humedad de 60 y 70%, *Ganoderma lucidum* en trigo y cebada con humedad 60 y 70% alcanzaron una resistencia a la compresión de 81.22 a 131.21kPa, respectivamente. En el ensayo de densidad con *Ganoderma lucidum* en cebada al 70% de humedad se obtuvo 0.2g/cm³. El micelio que obtuvo mejores resultados en el ensayo de absorción de agua fue *Ganoderma lucidum* en cebada al 70% de humedad, con valor de 0.24%. En el ensayo de resistencia a la flexión el mejor material fue el obtenido con *Ganoderma lucidum* en cebada al 70% de humedad

con 189.03 kPa. En el ensayo de resistencia a la tensión el material con *Ganoderma lucidum* en cebada al 70 % de humedad obtuvo un resultado de 62.05 kPa.

Una vez efectuadas las pruebas ASTM, se comprueba que el material resultante del rastrojo de cebada humedecido al 70% y con el micelio de *Ganoderma lucidum* cumple con similares condiciones a las del EPS.

Palabras clave: micelio, *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lucidum*, material biodegradable, EPS, residuos agrícolas.

ABSTRACT

During the last years, the indiscriminate use of plastics and materials from petroleum used for the manufacture of products such as: packaging, covers, various disposables, among others, has been significantly evidenced, which has caused the increase of solid waste throughout the world, causing limited spaces for its storage, in addition to the contamination of products made with plastic and materials related to it.

The present investigation, the physical-mechanical analysis of biodegradable material obtained from agro-industrial residues and fungal mycelia is shown, as an alternative to reduce the use of products made from expanded polystyrene (EPS) in the market.

Physical-mechanical tests of density, water absorption, flexural strength, tensile strength and compressive strength of material made from *Pleurotus ostreatus* and *Ganoderma lucidum* mycelium inoculated in wheat and barley substrates are performed. in three percentages of humidity. The tests were carried out under the standards of ASTM D1622, ASTM D570, ASTM D790, ASTM D380 and ASTM D1621.

The results in *Pleurotus ostreatus* in wheat with humidity of 60 and 70%, *Ganoderma lucidum* in wheat and barley with humidity of 60 and 70% reached a compressive strength of 81.22 to 131.21kPa, respectively. In the density test with *Ganoderma lucidum* in barley at 70% humidity, 0.2g/cm³ was obtained. The mycelium that obtained the best results in the water absorption test was *Ganoderma lucidum* in barley at 70% humidity, with a value of 0.24%. In the flexural strength test, the best material was obtained with *Ganoderma lucidum* in barley at 70% humidity with 189.03 kPa. In the tensile strength test, the material with *Ganoderma lucidum* in barley at 70% humidity obtained a result of 62.05 kPa.

Once the ASTM tests have been carried out, it is verified that the material resulted from barley stubble moistened at 70% and with the *Ganoderma lucidum* mycelium meets conditions similar to those of EPS.

Keywords: mycelium, *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lucidum*, biodegradable material, EPS, agricultural waste.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

El consumo de plásticos de un solo uso ha ido en constante incremento, a pesar de la lucha de diversos países y organizaciones que realizan actividades y campañas en favor del cuidado del medio ambiente (Stockholm Environment Institute, 2017).

El poliestireno ha sido utilizado por aproximadamente más de 50 años. Su bajo costo para producirlo genera que sea utilizado en diferentes mercados tales como; embalaje construcción, desechables, entre otros. Al ser un material versátil, se puede emplear para diferentes aplicaciones (Espinoza, 2019).

A escala global, cada año se producen alrededor de 15 millones de toneladas de poliestireno, el material se usa ampliamente en accesorios para automóviles, ventiladores de hospitales, así como en tazas de café para llevar y empaques de alimentos (The Hindu Business Line, 2020).

La inesperada llegada del COVID19 hizo que se dispare el uso de plásticos de un solo uso, debido a que la población relega las prioridades ambientales para mantenerse alejada del coronavirus, lo cual ha dado impulso a los fabricantes de plástico, convirtiéndose en algo crítico pero indispensable para el cuidado de la salud pública, aunque de igual manera, es un riesgo a largo plazo (Eljarrat, 2020).

Según datos mostrados por el INEC, en el 2018 en Ecuador fueron arrojados 12 739.01 toneladas de basura diarias, de las cuales, el 11,43% era plástico. Este porcentaje representa una cantidad de 531 461 toneladas anuales del material (INEC, 2018).

Los servicios municipales de tratamiento de residuos y recolección se han visto amenazados mientras se produce un aumento sin precedentes en la cantidad de desechos médicos y domésticos generados, esto se ha evidenciado en el Relleno Sanitario El Inga en la Ciudad de Quito, que después de 19 años de operación, llegaría al fin de su vida útil. En el relleno se depositan 2 200 toneladas de basura al día, pero desde la pandemia esta cifra aumentó a 2 800 toneladas, según la Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EMASEO, 2020).

Según expresa Naser et al., (2021), el poliestireno se deriva del petróleo lo que lo hace poco ecológico, pero es seguro para su uso con alimentos lo que incrementa su alta oferta en el mercado, al ser un material ligero, también hace que el mismo sea una buena opción de embalaje para productos electrónicos y otros productos frágiles (Abhijith et al., 2017).

El poliestireno ha sido un componente principal en la basura urbana como lo indica la figura 1; y de los desechos marinos desde que se emplea en exceso para productos de un solo uso como platos o recipientes de comida para llevar (Environmental Protection Agency, 2021).

Figura 1

Microbasural en Quito (sector: parque El Ejido).



Nota: La figura indica la basura urbana en el parque El Ejido. *Fuente:* Autores, 2022.

Los plásticos a base de petróleo utilizados tradicionalmente tardan décadas en descomponerse o fragmentarse por efectos del sol o generalmente son depositados en los vertederos durante un largo período, lo que los hace también perjudiciales para la vida silvestre (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2019).

Una alternativa viable, es el desarrollo de materiales biodegradables a partir de micelios de hongos y residuos agrícolas (Manan et al., 2021). Los materiales a base de micelio tienen una amplia variedad de aplicaciones, con la ventaja del bajo costo de las materias primas y la reducción del uso de poliestireno, que plantea un problema ambiental a escala global (Abhijith et al., 2018). El micelio se puede cultivar en moldes, adaptarse y tomar diferentes formas, además crecen rápidamente hasta convertirse en un material denso (Angelova et al., 2021). Una vez que alcanza la forma deseada, el material se deshidrata para detener su crecimiento. Después de su vida útil, los materiales elaborados con micelio se descomponen en unas pocas semanas, es mucho más fácil de biodegradar que reciclar (Manan et al., 2021).

El presente estudio se realiza con la finalidad de evaluar la obtención de un producto amigable con el ambiente que satisfaga las expectativas del mercado y poco a poco pueda reemplazar a los plásticos convencionales de un solo uso, siendo una alternativa para conservar una ciudad limpia y disminuir el volumen de basura que va a parar en los vertederos y rellenos sanitarios. Estos productos también podrían ayudar a crear una economía circular, cuyo fin es eliminar el desperdicio y cambiar la forma en que producen y usan los bienes.

1.2. Delimitación

La investigación se realizó a nivel de laboratorio utilizando como sustrato rastrojos de trigo y cebada obtenidos de las haciendas de la provincia de Pichincha, cantón Mejía en la región Sierra del Ecuador.

1.3. Pregunta de investigación

Para realizar este estudio se plantea la siguiente pregunta: *¿Cuál es mejor sustrato, humedad y micelio, para obtener un material biodegradable que cumpla con condiciones semejantes a las del poliestireno convencional?*

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar 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.

1.4.2 Objetivos específicos

- Establecer las condiciones óptimas de los sustratos para el crecimiento del micelio de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*
- Evaluar las características del material biodegradable obtenido a partir de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* a través de la norma ASTM.
- Identificar el material elaborado que presente mayor potencial como producto comercial.

1.5. Hipótesis

Se plantea la siguiente hipótesis: *El crecimiento de micelios en los sustratos de trigo y cebada hacen posible formar un material biodegradable capaz de remplazar el uso indiscriminado de poliestireno expandido.*

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Contaminación por plásticos

Los residuos plásticos representan un cuestionable dilema debido a que no se degradan en su entorno, su eliminación por lo tanto es un problema de gran dimensión, ya que es acumulativo, ligado a esto se presenta la dificultad de contención y disposición final de los mismos (López y Laines, 2013).

Según un estudio elaborado por el programa de las Naciones Unidas que buscan el cuidado del medio ambiente, indica que año tras año se generan alrededor de más de ocho millones de toneladas de plástico, las mismas que llegan al mar (Bonat, 2019).

El poliestireno al ser un material económico y multifuncional se encuentra lejos de ser eliminado por completo de la industria (García, 2019).

El EPS, es considerado un material químicamente inerte por ende no es biodegradable, esto quiere decir que no se desintegra, descompone ni desaparece del medio ambiente, además no posee (CFC), por ende los EPS no contaminan el suelo, agua o aire, sin embargo presentan una gran problemática ambiental si no se recicla ya que se considera un material eterno (López y Laines, 2013).

Actualmente, el EPS no ha recibido atención en cuanto al proceso de reciclaje, teniendo como resultado altos volúmenes de este material en los rellenos sanitarios (ANAPE, 2016) .

2.2 Características del EPS

Es un material plástico de espuma blanca producida a partir de perlas sólidas de poliestireno. Se utiliza principalmente para embalaje, aislamiento, etc. Es un material de espuma rígida de celda cerrada producida a partir del estireno, material que forma una

estructura celular; y el pentano que es un compuesto utilizado como agente espumante (Omnexus, 2020).

La expansión se logra en virtud de pequeñas cantidades de gas contenidas dentro de la perla de poliestireno. El gas se expande cuando se aplica calor en forma de vapor, formando así celdas cerradas de EPS (British Plastic Federation, 2021).

Estas celdas ocupan aproximadamente 40 veces el volumen de la perla de poliestireno original. Las perlas de bloques de EPS grandes se pueden fabricar según la especificación para formar formas personalizadas (British Plastic Federation, 2021).

Las propiedades típicas del poliestireno expandido se detallan en la tabla 1:

Tabla 1

Propiedades del poliestireno expandido

PROPIEDADES DE EPS	
Absorción de agua	2%
Densidad	0.016-0.048g/cm ³
Resistencia a la compresión	70-110 kPa
Resistencia a la flexión	140-375 kPa
Resistencia a la tensión	110-580 kPa

Nota: Esta tabla indica las propiedades del poliestireno expandido. *Tomado de (ANAPE, 2004; ASTM C578, 2004b; Brydson, 1999).*

2.3 Reino Fungi

2.3.1 Generalidades

Los hongos no se consideran ni plantas ni animales, ellos poseen su propio reino, pertenecen al Reino Fungi (Papinutti et al., 2007).

Los hongos se encuentran en todas partes en grandes cantidades: suelo, aire, lagos, ríos y mares, en plantas y animales y dentro de ellos, en alimentos y ropa, y en el cuerpo humano. Las bacterias en conjunto con los hongos son responsables de la

descomposición de la materia orgánica, además al realizar esta acción liberan carbono, oxígeno, nitrógeno y fósforo que van al suelo y la atmósfera (Alexopoulos, 2020).

2.3.1.1 Clasificación

El reino fungi, actualmente consta de ocho grupos principales (phyla): Microsporidia, Blastocladiomycota (al que pertenecen *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus*), Neocallimastigomycota, Chytridiomycota, Glomeromycota, Zygomycota, Ascomycota y Basidiomycota. De estos, solo Ascomycota y Basidiomycota (y el género de trufas Zygomycote *Endogone*) forman cuerpos fructíferos, y estos también son, con mucho, los grupos más grandes de hongos (Petersen, 2013).

2.3.1.2 Morfología y reproducción

Cuando una espora de un hongo germina, forma células largas, cilíndricas y ramificadas llamadas hifas. Estos crecen en un sustrato nutritivo (tierra, madera, estiércol, etc.), donde forman un micelio. Las hifas exudan enzimas que se dispersan en el sustrato, donde se descompone el material orgánico (Petersen, 2013).

Mientras el hongo crece, acumula energía en el micelio y se propaga a nuevas fuentes de alimento, a menudo por medio de hifas más gruesas (Watkinson et al., 2015).

Después de un período de tiempo (semanas, meses, años), el micelio puede comenzar a producir cuerpos fructíferos, que, aunque parecen bastante robustos, se construyen a partir de hifas entrelazadas, casi como una bola de hilo (Petersen, 2013).

En su mayoría, los hongos se encuentran formados por estructuras filamentosas que reciben el nombre de hifas, las cuales crecen en diferentes direcciones, generalmente son alargadas y uniformes (Garcés y Granada et al., 2015).

El propósito de los cuerpos fructíferos es permitir la mezcla sexual de dos o más tipos genéticos y producir esporas para su dispersión (Papinutti et al., 2007).

2.4 Nutrición y metabolismo

Los hongos son considerados organismos heterótrofos y varios de ellos se caracterizan por absorber componentes orgánicos que obtienen del mismo sustrato en el cual se desarrollan y crecen. Existe varios sustratos que el hongo puede utilizar como fuente de nutrición (Garcés y Granada et al., 2015).

Los mecanismos de degradación de la lignina se dan por las principales enzimas ligninolíticas, incluidas la lacasa (Lac), la manganeso peroxidasa (MnP) y la lignina peroxidasa (LiP) (Abdel-hamid et al., 2013). Los LiP son oxidantes fuertes con alto potencial redox que oxidan las principales estructuras no fenólicas de la lignina. MnP es una enzima dependiente de Mn que cataliza la oxidación de varios sustratos fenólicos pero no es capaz de oxidar la lignina (Domine, 2013). Las enzimas que degradan la lignina han atraído la atención por sus valiosas aplicaciones biotecnológicas, especialmente en el tratamiento de biomasa con alto contenido de lignina y celulosa para producir biocombustibles (Hyde et al., 2019).

Los hongos son los primeros en invadir y colonizar la materia orgánica debido a su alta capacidad degradadora de la pared celular y liberación de protoplasma, son considerados como los principales agentes de descomposición, también llamados saprófitos (Papinutti, 2014).

La degradación de los nutrientes por acción enzimática es altamente eficiente indicando la importancia de los hongos durante su proceso descomponedor (Papinutti, 2014).

2.4.1 Mecanismos de degradación por hongos

2.4.1.1 Hongos de pudrición blanca

Son un grupo heterogéneo de hongos que pertenecen a los basidiomicetos, su característica principal es poseer un grupo enzimático capaz de degradar la lignina que se encuentra en la madera, conocidas como enzimas ligninolíticas o lignilasas (Langer et al., 2021).

En este grupo de enzimas hay oxidasas y peroxidasas que cumplen la función de atacar a la lignina por medio de fuertes oxidaciones (Papinutti, 2014), literalmente quemar la estructura de dicho polímero, pues estos hongos atacan inicialmente a la lignina y luego a la hemicelulosa y la celulosa, a menudo dejando residuos enriquecidos con celulosa (Langer et al., 2021).

2.4.1.2 Hongos de pudrición blanda

El término “podredumbre blanda” hace referencia a la penetración y el crecimiento característicos de las hifas dentro de las paredes celulares secundarias de la madera, ya sea que el ablandamiento de la superficie sea evidente o no. Es causada por micro hongos, miembros de los Ascomicetos (Levy, 1966).

Los hongos de pudrición blanda suelen atacar la madera con mayor humedad y menor contenido de lignina y pueden crear cavidades únicas en la pared celular de la madera (Goodell et al., 2008).

2.4.1.3 Hongos de podredumbre parda

Los hongos de pudrición parda (BRF) se asignan a los Basidiomicetos, pero no producen enzimas que degradan la lignina (Zabel y Morrel, 2020).

Como resultado de este tipo de descomposición, la madera se contrae, muestra una decoloración marrón debido a la lignina oxidada y se agrieta en pedazos aproximadamente cúbicos (Abdel-hamid et al., 2013).

Esta madera marrón podrida está manchada por lignina oxidada y no tiene textura fibrosa debido a la pérdida de celulosa. Se encoge al secarse y, a menudo, se rompe en forma cúbica. Cuando los hongos de la pudrición parda finalmente han descompuesto su sustrato, la mayoría de las veces los restos de la madera se pueden triturar manualmente hasta convertirlos en polvo (Schlosser, 2021).

2.5 Género Ganoderma

Consideradas especies lignícolas, saprofitos, parásitos o parásitos facultativos de troncos vivos o muertos. Tienen un cuerpo fructífero de consistencia dura, además poseen una textura opaca o brillante con colores amarillos, ocreos y rojizos (Santos, 2019).

Según Kirk (2016), en Catalogue of Life, un proyecto llevado a cabo por Species 2000 e ITIS, el género *Ganoderma* abarca más de 300 especies y su clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Agaricomycetes

Orden: Polyporales

Familia: Ganodermataceae

Género: *Ganoderma*

Especie: *G. lucidum*

Figura 2

Ganoderma lucidum.



Nota: Esta figura es el hongo *Ganoderma lucidum*. Tomado de: Intiwasi, 2021.

El género *Ganoderma*, llamado Reishi en China, Ganoderma en EE. UU. y Lingzhi en japon, es de los más conocidos por sus propiedades medicinales en la cultura oriental. Aunque *Ganoderma lucidum* es la especie con mayor popularidad de este género, varias especies de la familia Ganodermataceae son productores de sustancias con componentes biológicamente activos relacionados con funciones farmacológicas, por ejemplo, *Ganoderma Sinense*, que también es una de las especies más representativas (Zhou et al., 2007).

2.6 Género Pleurotus

Según (Kirk, 2016), en Catalogue of Life, un proyecto llevado a cabo por Species 2000 e ITIS, la clasificación taxonómica del género *Pleurotus* es la siguiente:

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Agaricomycetes

Orden: Agaricales

Familia: Pleurotaceae

Género: *Pleurotus*

Especie: *P. ostreatus*

Figura 3

Pleurotus ostreatus.



Nota: Esta figura es el hongo *Pleurotus ostreatus*. Tomado de: Intiwasi, 2021.

P. Ostreatus es un hongo considerado lignícola y saprófito, es más conocido con el nombre de hongo ostra. Forma parte de la clase de los Basidiomicetes, del orden Agaricales y pertenece a la familia Pleurotaceae (Donoso, 1980).

El hongo denominado *Pleurotus Ostreatus*, es también llamado Hongo de Cazahuate, Cazahuananácatl, Seta de Olmo, hongo Ostra, u Hongo de Maguey, es en el mundo el segundo hongo comestible más cultivado, debido a sus propiedades medicinales y valor comercial y ecológico. El hongo que se encuentra en primer lugar es el *Agaricus bisporus* (González Silva, 2017). Este tipo de hongos saprófitos posee la capacidad de colonizar y degradar sustratos lignocelulósicos, que cuentan con pocos nutrientes y poseen bajos niveles de minerales y vitaminas, estos sustratos son resultado de las actividades agroindustriales o del procesamiento de alimentos (Toledo, 2008).

Los hongos están formados por una serie de filamentos finos llamados hifas, la unión de dichas hifas forman un micelio. En un ecosistema que se encuentre en condiciones favorables de temperatura y humedad, el micelio puede crecer en un sustrato adecuado, una vez que el hongo haya formado su sombrero y su pie, procede a la siguiente función que es producir esporas cuyo objetivo es perpetuar la especie. Las esporas se van formando en la cara inferior del hongo (en el sombrero), van desde la parte superior del pie del hongo hasta el borde del sombrero (Sánchez, 2010).

Los hongos son conocidos por su forma, parecida a un paraguas, con un sombrero parecido a un círculo y un eje o pie que sirve de sostén, la forma del *Pleurotus* es como la de una ostra u oreja, el término *Pleurotus* se deriva del griego pleurá o pleurón, costado o lado y del latín otus, oreja (Sánchez, 2010).

Los hongos se alimentan del mismo material orgánico en la que están habitando, durante su crecimiento se encuentran degradando las sustancias con enzimas que son liberadas al medio en el cual se están desarrollando, por ello es importante que el material que sirve como sustrato cuente con los nutrientes adecuados para el crecimiento de este (Sánchez, 2010).

El *Pleurotus* crece en ramas de árboles frondosos que están muertos o debilitados. El desarrollo se da durante el otoño y en los primeros días de primavera. Sin embargo, en lugares que se conservan húmedos, también es posible encontrar este hongo durante todas las estaciones del año (Varnero et al., 2010). El *P. ostreatus* es un hongo con la capacidad de fácil adaptabilidad, en consecuencia, puede tolerar un intervalo amplio de temperaturas; incluso en ocasiones se muestra resistente ante enfermedades y plagas, siendo una característica muy importante para realizar el cultivo de esta especie de hongo (Varnero et al., 2010).

2.7 Aplicaciones de los hongos

Debido a la inmensa variedad de hábitats que habitan y la consiguiente necesidad de competir contra una gran variedad de otros hongos, bacterias y animales, los hongos han desarrollado numerosos mecanismos de supervivencia, estos atributos únicos son una gran promesa para su aplicación en la biotecnología y la industria (Bal, 2018).

De tal importancia son que nos han ayudado en estrategias contra enfermedades humanas, de las plantas; mejora en cultivos y silvicultura, elaboración de alimentos y bebidas, a salvar el planeta con micorremediación, eliminando desechos agrícolas y contribuyendo al ciclo del carbono (Hyde et al., 2019), y actualmente el micelio de algunos de estos organismos tienen el potencial de crear materiales con aplicación en construcción, arquitectura y como sustituto de plásticos para elaboración de material biodegradable.

2.7.1 Material Biodegradable

“Biodegradable” se refiere a la capacidad de descomponer de forma aeróbica ó anaeróbica un material por acción enzimática de microorganismos que pueden ser bacterias, hongos y algas, este proceso sucede bajo condiciones normales del medio ambiente (Ruiz et al., 2013).

“La American Society for Testing and Materials (ASTM), define biodegradable a un tipo de plástico en el que su degradación resulta por la acción natural entre microorganismos, bacterias y hongos que se encuentran en un medio” (ASTM, 2004b).

Según Álvarez, 2016, indica que:

El proceso de compostaje se define como una descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas como consecuencia de una producción biológica de

calor, que da un producto final estable, libre de patógenos y semillas de malas hierbas y que aplicado al terreno produce un beneficio.

2.8 Calidad del material biodegradable

Las normas de ASTM son empleadas en proyectos de desarrollo e investigaciones, que buscan la comprobación y aprobación de productos comerciales para todo el mundo. (Asociación Española para la Calidad, 2013).

Para evaluar la calidad del material se pueden utilizar las siguientes normas:

2.8.1 ASTM D570:

Este método de prueba se lleva a cabo para la determinación de la tasa relativa de absorción de agua por los plásticos cuando están sumergidos. Está destinado a aplicarse a la prueba de todo tipo de plásticos (ASTM, 1998).

2.8.2 ASTM D638:

Este método de prueba permite determinar las propiedades de tracción de plásticos, con probetas estándar cuando se prueban en condiciones definidas de pretratamiento, temperatura, humedad y velocidad de la máquina de ensayo (ASTM, 2015).

2.8.3 ASTM D790:

Es un método de prueba diseñado para determinar las propiedades de flexión de plásticos, el cual se utiliza con fines de especificación y control de calidad, las muestras se desvían hasta que se deforme el material con un método de prueba de carga con 3 puntos (ASTM, 2004).

2.8.4 ASTM D1621:

Es un método de prueba para determinar la resistencia a la compresión de un material celular rígido, particularmente plásticos expandidos; aplicando determinada carga a una muestra de prueba con una sección transversal cuadrada o circular (ASTM, 1991).

2.8.5 ASTM D1622:

Este método de prueba cubre la densidad de un plástico celular. La densidad se puede evaluar como general aparente o central pronunciada. Este ensayo también se aplica a los materiales de espuma en aerosol (ASTM, 2004).

2.9 Demanda del material

Según Maveda (2016), "El mercado de polímeros biodegradables todavía es joven y muy pequeño, pero las cifras están fuera de serie en términos de crecimiento esperado de la demanda y potencial de estos materiales en los próximos años".

En una investigación realizada por Cerimi et al., (2019), indica que en la actualidad se han registrado 48 solicitudes de patente o patentes con respecto a la elaboración de materiales fúngicos para diversas áreas. La fabricación de biomateriales con micelio de hongos lideran las siguientes industrias: Ecovative Design LLC (USA) con el 45% de todas las patentes seguido por Ford Global Tech (USA) con 19 %, Shenzhen Tech (China) con 17%, MycoWorks Inc. (USA) con 6% y Spora Biotech (Chile) con 0,48%. La mayoría de estas patentes están distribuidas en Estados Unidos (60%) y China (30%).

2.10 Residuos Agroindustriales

En Ecuador, el sector agrícola es considerado uno de los principales factores de la economía, además contribuye con la seguridad alimentaria de la nación (Monteros et al., 2014).

Anualmente este sector genera grandes cantidades de residuos producto de las cosechas agrícolas, esta biomasa es utilizada para diferentes actividades dependiendo del país y región del que resulta; se estima que aproximadamente el 80% de los residuos agrícolas son quemados en los países en vías de desarrollo, el 15% sirve como alimento para animales, el 4.5% se devuelve al suelo sin realizar una descomposición previa y el 0.5% restante se usa como materia prima en industrias como la papelera, aglomerados, etc (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016).

Partiendo de esto, las cadenas de producción y servicios de la agroindustria, producen una cantidad considerable de residuos con calidad no comercial, que bien podrían ser aprovechados para la generación de alternativas ecológicas, dándoles un valor agregado (Mejía et al., 2016).

2.10.1 Generalidades de la paja de trigo y cebada

La paja de cereales, tales como cebada y trigo, son un subproducto fibroso altamente disponible, principalmente en la región sierra de nuestro país. Ambas tienen similar composición, siendo superior el valor energético en la cebada (FEDNA, n.d.).

En la tabla 2, se muestra la composición de las pajas de trigo y cebada, respectivamente:

Tabla 2

Valores medios de la composición de los residuos agrícolas.

Componentes (%)	Residuos Agrícolas	
	Paja de Cebada	Paja de Trigo
Humedad	13.81	13.61
Nitrógeno	0.84	0.46
Fibra	51.89	57.71
Celulosa	47.14	52.11
Lignina	10.53	10.68
Hemicelulosa	21.35	20.09

Nota: Esta tabla indica los valores de la composición de los residuos agrícolas Tomado de: (Ruilova Cueva y Hernández Monzón, 2014).

En la tabla 3, se muestra el contenido de los minerales de las pajas de trigo y cebada, respectivamente:

Tabla 3

Valores medios del contenido de minerales.

Minerales	Residuos Agrícolas	
	Paja de Cebada	Paja de Trigo
Calcio (%)	0.29	0.14
Fósforo (%)	0.14	0.03
Magnesio (%)	0.06	0.03
Potasio (%)	2.96	0.92
Sodio (%)	0.07	0.03
Hierro (ppm)	461.44	416.89
Azufre (ppm)	0.08	0.04
Cobre (ppm)	6.47	12.55
Zinc (ppm)	22.11	17.88
Manganeso (ppm)	59	63.4

Nota: Esta tabla indica los valores medios del contenido de minerales. Tomado de: (Ruilova Cueva y Hernández Monzón, 2014).

2.11 Sustrato

El sustrato es la materia prima, superficie o material del que un organismo crece u obtiene su alimento (Louna, 2019).

2.11.1 Suplementos usados para el sustrato

Los suplementos que se usan para la preparación del sustrato son los siguientes:

2.11.1.1 Yeso:

Es un antiaglutinante, proporciona azufre y calcio en cantidades considerables. Se suele añadir un máximo del 5% en los sustratos hidratados antes de esterilizarlo. Puede aumentar el rendimiento del sustrato en un 20 a 30% (Mycelior, 2018).

2.11.1.2 Melaza:

Es un subproducto de la refinación del azúcar, de textura viscosa y color oscuro. Los azúcares que constituyen la melaza incluyen: sacarosa, glucosa, levulosa, maltosa, lactosa y azúcares reductoras (Talavera et al., 1998).

Según un reporte de Healthline Media UK Ltd, (2021), 20 gramos de melaza contienen las siguientes cantidades de cada nutriente:

- manganeso: 13%
- magnesio: 12%
- cobre: 11%
- vitamina B-6: 8%
- selenio: 6%
- potasio: 6%
- hierro: 5%
- calcio: 3%

3 MATERIALES Y MÉTODOS

En esta fase del proyecto se detalla todos los materiales y métodos que fueron empleados durante la etapa de investigación. Cabe recalcar que el uso de laboratorio fue indispensable para obtener el material biodegradable, así como para determinar cada parámetro físico-mecánico del producto obtenido.

El fin del presente proyecto, es la propuesta de la elaboración de material biodegradable que pueda reemplazar o reducir el uso convencional de plástico y productos derivados de polietileno, para lo cual, el trabajo se lo ha dividido en tres fases, las que se detallan a continuación:

Figura 4.

Pasos ejecutados para la obtención del material biodegradable.



Nota: Esta figura indica los pasos ejecutados para la obtención del material biodegradable. *Fuente:* Autores, 2022.

3.1 Fase preliminar

3.1.1 Micelios

Para la obtención de información se realiza una revisión bibliográfica sobre los hongos más utilizados para investigación y elaboración de material de biodegradable, para lo cual se eligió dos cepas comerciales: *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus*, obtenidas en la empresa de cultivo de hongos Inti Wasi.

3.1.2 Rastrojos

Para la selección de residuos de trigo y cebada se toma en cuenta, que estos desechos agroindustriales son de los más comunes en las haciendas del sector de Machachi, en la región sierra del Ecuador, como se puede ver en la figura 5.

Figura 5

Pacas de trigo y cebada.



Nota: En la figura se observa las pacas de trigo y cebada. *Fuente:* Autores, 2022.

3.1.3 Molienda

Una vez adquiridas las pacas de trigo y cebada, se llevaron a un molino como lo indica la figura 6, donde fueron triturados por el impacto generado entre los martillos y la parte superior del molino.

Figura 6

Trituración del material.



Nota: En la figura se puede observar la trituración del material. *Fuente:* Autores, 2022.

Además, se colocó una rejilla de control de tamaño con la finalidad de obtener la paja con la medida deseada, de aproximadamente 2-3 cm de largo como lo indica la figura 7.

Figura 7

Rastrojo triturado de trigo y cebada.



Nota: En la figura se observa el rastrojo triturado de trigo y cebada. *Fuente:* Autores, 2022.

3.2 Fase de laboratorio

3.2.1 Preparación y acondicionamiento de los sustratos

3.2.1.1 Materiales

En la tabla 4 se detalla los materiales utilizados:

Tabla 4*Materiales.*

MATERIAL	CANTIDAD
Fundas de polifan	50
Fundas Ziploc	50
Fundas de basura	20
Rollo de papel absorbente	2
Mechero	2
Tapones de algodón	25
Guantes (caja)	1
Mushbags	24
Marcadores	2
Planchas de acetato de 50 x 70 cm	5
Tinas grandes	3
Jarros	1
Bisturí	2
Regla	2
Moldes de madera	8

Nota: En la tabla se observa los materiales utilizados. *Fuente:* Autores, 2022.

En la tabla 5 se detalla los equipos utilizados:

Tabla 5*Equipos.*

EQUIPO	CANTIDAD
Balanza analítica	2
Autoclave	1
Molino de martillos	1
cocineta	1

Nota: La tabla indica los equipos utilizados. *Fuente:* Autores, 2022.

En la tabla 6 se detalla los reactivos utilizados

Tabla 6*Reactivos.*

REACTIVOS	CANTIDAD
Micelio de <i>Pleurotus ostreatus</i>	2kg
Micelio de <i>Ganoderma lucidum</i>	2kg
Rastrojo de trigo	1 costal
Rastrojo de cebada	1 costal
Melaza	1 caneca
Yeso	2 lb
Aceite de cocina	1lt

Nota: La tabla indica los reactivos utilizados. *Fuente:* Autores, 2022.

3.2.1.2 Preparación

Se prepara el sustrato manteniendo constantes los porcentajes de yeso y melaza, el agua se añade respecto a la humedad requerida (50%, 60% y 70%), se adiciona la cantidad de paja para completar el 100% de los 2000g de sustrato a preparar.

Para esto se lleva a cabo los siguientes cálculos, con el fin de obtener un sustrato equilibrado, capaz de brindar los nutrientes que el hongo requiere para un óptimo crecimiento.

En la tabla 7, se indica los valores requeridos para preparar el sustrato con una humedad del 50%.

Tabla 7*Valores obtenidos con el 50% de humedad.*

Humedad 50%	Cantidad (g)	%
Paja	965	48,25%
Agua	1000	50,00%
Yeso	20	1,00%
Melaza	15	0,75%
TOTAL	2000	100,00%

Nota: En la tabla se indica los valores obtenidos con el 50% de humedad. *Fuente:* Autores, 2022.

En la tabla 8, se indica los valores requeridos para preparar el sustrato con una humedad del 60%.

Tabla 8

Valores obtenidos con el 60% de humedad.

Humedad 60%	Cantidad (g)	%
Paja	765	38,25%
Agua	1200	60,00%
Yeso	20	1,00%
Melaza	15	0,75%
TOTAL	2000	100,00%

Nota: La tabla indica los valores obtenidos con el 60% de humedad. *Fuente:* Autores, 2022.

En la tabla 9, se indica los valores requeridos para preparar el sustrato con una humedad del 70%.

Tabla 9

Valores obtenidos con el 70% de humedad

Humedad 70%	Cantidad (g)	%
Paja	565	28,25%
Agua	1400	70,00%
Yeso	20	1,00%
Melaza	15	0,75%
TOTAL	2000	100,00%

Nota: La tabla indica los valores obtenidos con el 70% de humedad. *Fuente:* Autores, 2022.

La metodología se establece según Hernández (2006) y Merino (2020), donde indican el procedimiento paso a paso para la preparación de sustrato y cultivo de hongos.

A continuación, se detalla los pasos a seguir, los cuales se basan en lo anteriormente mencionado.

Una vez obtenidas las cantidades de los elementos que sirven para el sustrato, se procede a la preparación de este de la siguiente forma:

1. Se inicia pesando el rastrojo, la melaza, el yeso y el agua, de acuerdo con los valores anteriormente mencionados, este procedimiento se realiza con la ayuda de una balanza analítica.
2. A continuación, se procede a mezclar todos los materiales anteriormente pesados. Para esta actividad se requiere una tina grande en donde se pueda realizar dicha mezcla. Es importante verificar que la mezcla sea homogénea.
3. Se procede a recoger el material resultado de la mezcla en fundas de polifan y pesar el sustrato obtenido.
4. Se lleva al autoclave cada uno de los sustratos preparados con el fin de esterilizar el producto obtenido, se lo realiza a una temperatura de 121°C , por 20 minutos.
5. Una vez esterilizados los sustratos se realiza la expansión de los micelios al 10%: en 900g de sustrato se añadió 100g de semilla, para lo cual se añade primero una capa de 10g de semilla y 100g de sustrato, así sucesivamente hasta completar los 1000g, cabe resaltar que la última capa es de semilla para el crecimiento uniforme del micelio, este procedimiento se realiza según las recomendaciones recibidas en la visita a la granja Intiwasi. Para la expansión se utilizaron *mushbags* como indica la figura 8, las cuales cuentan con filtro microporoso, para que el hongo pueda tener intercambio gaseoso manteniendo el interior libre de agentes contaminantes y conservando la humedad.

Figura 8

Expansión 25 de septiembre, 2021.



Nota: En la figura se observa la expansión del micelio. Fuente: Autores, 2022.

6. Una vez inoculados los hongos en los sustratos, se procedió a guardarlos en un cuarto oscuro que cumple con las condiciones óptimas para su crecimiento, se lo dejó reposar a una temperatura de 26°C.
7. Luego de 9 días se observa el crecimiento que tienen los micelios en cada sustrato, como se puede observar en la figura 9 el hongo ha tenido un crecimiento óptimo.

Figura 9

Crecimiento *Ganoderma lucidum* en cebada después de 9 días



Nota: En la figura se observa el crecimiento de *Ganoderma lucidum* en cebada. Fuente: Autores, 2022.

8. Para el modelamiento de cada pieza requerida en función de realizar las pruebas mecánicas, se empieza a romper el sustrato invadido con micelio y se recolecta el material en una tina.

9. Una vez que se tiene el sustrato partido, se procede a modelar cada pieza de acuerdo con el molde requerido. Se coloca sustrato colonizado, presionando hasta que tome la forma, en cada molde.

Para las pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua y densidad se elabora moldes cilíndricos en acetato. En cuanto a las pruebas de resistencia a la flexión y resistencia a la tensión se elaboran planchas de madera.

10. Obtenidas las piezas, se deja secar de 2 a 3 días, hasta que el producto pierda el 70% de humedad.

11. Con las probetas secas, se realizan las pruebas ASTM que determinan las propiedades físicas y mecánicas del material obtenido, es importante mencionar que todas las probetas fueron diseñadas con el fin de cumplir con las dimensiones requeridas por cada norma ASTM, cada prueba se llevó a cabo con 4 repeticiones, bajo las condiciones de velocidad y contando con los equipos necesarios, los resultados de todas las pruebas realizadas se encuentran en los anexos.

Los resultados de la prueba resistencia a la flexión se encuentran en el anexo 1, los resultados de la prueba de resistencia a la tensión se encuentran en el anexo 2, los resultados de la prueba de densidad y absorción de agua se encuentran en el anexo 3 y los resultados de la prueba de resistencia a la compresión se encuentran en el anexo 4.

3.3 Análisis estadístico

Este trabajo se desarrolló mediante diseño experimental factorial 4×3 con 4 repeticiones y 5 pruebas a analizar, dando un total de 240 muestras; sin embargo, para las pruebas de densidad y absorción de agua se usa las mismas probetas, dando un total de 192 piezas.

Estadísticamente se realizó el análisis de varianza ANOVA con respecto a los tres factores que influyen en el modelo: Micelio, Sustrato, y Humedad.

El test de Duncan se realizó para comparaciones múltiples entre las medias de las variables respuesta a fin de establecer un orden de méritos (Aldanalisis, 2018), que son los ensayos a los que el material fue sometido.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Probetas obtenidas

El crecimiento de los micelios inició con la inoculación, dejando colonizar durante 9 días.

Después del modelamiento, se deja recolonizar por 11 días. Posteriormente, se quita el acetato de los moldes elaborados para las pruebas de resistencia a la compresión, densidad y absorción de agua como indica la tabla 10.

En la tabla 10 se presentan las dimensiones para las probetas de los ensayos de resistencia a la compresión, absorción de agua y densidad.

Tabla 10

Valores de las dimensiones de las probetas

Ensayo	Dimensiones	
	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
Resistencia a la compresión (ASTM D1621)	4.5	5
Absorción de agua (ASTM D570)	4	5
Densidad (ASTM D1622)	5	5

Nota: En la tabla se encuentran los valores de las dimensiones de las probetas. *Fuente:* Normas ASTM

Las probetas para resistencia a la flexión y resistencia a la tensión se adaptan cortando las planchas de acuerdo con las medidas que requiere la norma como indica la tabla 11.

En la tabla 11 se presentan las dimensiones para las probetas de los ensayos de resistencia a la flexión y resistencia a la tensión.

Tabla 11

Valores de las dimensiones de las probetas

Ensayo	Dimensiones		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
Resistencia a la flexión (ASTM D790)	30	2	1
Resistencia a la tensión (ASTM D624)	30	2.5	1

Nota: La tabla indica los valores de las dimensiones de las probetas. *Fuente:* Normas ASTM.

Una vez que se realiza este procedimiento, se dejan recolonizar durante 42 días.

El crecimiento del micelio duró 62 días.

En la figura 10, se puede apreciar las probetas obtenidas para las pruebas de densidad, absorción de agua y resistencia a la compresión.

Figura 10

Probetas obtenidas para las pruebas de densidad, absorción de agua y resistencia a la compresión



Nota: En la figura se observa las probetas obtenidas. *Fuente:* Autores, 2022.

En la figura 11, se puede apreciar las probetas obtenidas para las pruebas resistencia a la flexión y resistencia tensión.

Figura 11

Probetas obtenidas para las pruebas resistencia a la flexión y resistencia tensión.



Nota: En la figura se observa las probetas obtenidas. *Fuente:* Autores, 2022.

4.2 Pruebas realizadas según el estándar de las normas ASTM:

Para las 5 pruebas (densidad, absorción, resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión) se elaboraron 4 probetas por cada ensayo, tomando en cuenta las siguientes variables: humedad (50%, 60% y 70%), sustrato (trigo y cebada) y micelio (*Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*), en total se obtuvieron 192 piezas, ya que el ensayo de densidad y absorción de agua fue realizado con las mismas probetas.

En la tabla 12 se indica el cálculo empleado para la elaboración de probetas requeridas para los 5 ensayos.

Tabla 12*Numero de probetas requeridas para los ensayos*

Tratamiento	Densidad y absorción de agua	Resistencia a la tensión	Resistencia a la flexión	Resistencia a la compresión	TOTAL
50% GL trigo	4	4	4	4	16
60% GL trigo	4	4	4	4	16
70% GL trigo	4	4	4	4	16
50% GL cebada	4	4	4	4	16
60% GL cebada	4	4	4	4	16
70% GL cebada	4	4	4	4	16
50% PO trigo	4	4	4	4	16
60% PO trigo	4	4	4	4	16
70% PO trigo	4	4	4	4	16
50% PO cebada	4	4	4	4	16
60% PO cebada	4	4	4	4	16
70% PO cebada	4	4	4	4	16
TOTAL	48	48	48	48	192

PO: *Pleurotus ostreatus*GL: *Ganoderma lucidum*

Nota: La tabla indica el número de probetas requeridas. Fuente: Autores, 2022.

4.2.1 Densidad (ASTM D1622)

En la tabla 13, se presenta el análisis de varianza, con el fin de determinar la significancia de las variables (sustrato, micelio y humedad), en el ensayo de densidad:

Tabla 13*Cuadro de análisis de la varianza*

F.V.	gl	F	p-valor
Micelio	1	16.67	0.0002*
Sustrato	1	2.08	0.1582
% Humedad	2	8.35	0.001*
Micelio*Sustrato	1	12.98	0.0009*
Micelio*% Humedad	2	0.27	0.7619
Sustrato*% Humedad	2	13.02	0.0001*
Micelio*Sustrato*% Humedad	2	13.02	0.0001*
Error	36		
Total	47		

Nota: * efecto significativo ($p < 0,05$) Fuente: Autores, 2022.

Se encontró un efecto significativo de la interacción del micelio, sustrato y humedad ($F=13.02$; $p=0.0001$) sobre el ensayo de densidad del producto obtenido.

En la tabla 14 se presenta la prueba de comparación de medias de Duncan.

Tabla 14

Promedio \pm desviación estándar de la densidad

Micelio	Sustrato	% Humedad	Densidad (g/cm³)
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	50	0.14 \pm 0.01 b
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	60	0.14 \pm 0.02 b
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	70	0.2 \pm 0.02 a
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	50	0.15 \pm 0.01 b
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	60	0.15 \pm 0.01 b
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	70	0.13 \pm 0.01 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	50	0.13 \pm 0.02 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	60	0.13 \pm 0.03 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	70	0.14 \pm 0.01 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	50	0.14 \pm 0.02 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	60	0.14 \pm 0.03 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	70	0.15 \pm 0.01 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (*Test: Duncan*).
Fuente: Autores, 2022.

La densidad del material biodegradable obtenida con el micelio de *Ganoderma lucidum* en rastrojo de cebada con una humedad del 70% fue mayor (0.2g/cm³) que los demás tratamientos.

Los materiales obtenidos no presentan mayor variación en el ensayo de densidad, sin embargo, son más densos y en consecuencia menos ligeros que el EPS, el cual tiene una densidad de 0.016 g/cm³ como lo indica la tabla 1.

4.3 Absorción de agua (ASTM D570)

En la tabla 15 se presenta el análisis de varianza, con el fin de determinar la significancia de las variables (sustrato, micelio y humedad) en el ensayo de absorción de agua:

Tabla 15*Cuadro de Análisis de la Varianza*

F.V.	gl	F	p-valor
Micelio	1	2775.94	<0,0001*
Sustrato	1	103.72	<0,0001*
% Humedad	2	40.41	<0,0001*
Micelio*Sustrato	1	49.98	<0,0001*
Micelio*% Humedad	2	14.67	<0,0001*
Sustrato*% Humedad	2	8.11	0.0012*
Micelio*Sustrato*% Humedad	2	15.58	<0,0001*
Error	36		
Total	47		

Nota: * efecto significativo ($p < 0,05$) Fuente: Autores, 2022.

Se encontró un efecto significativo de la interacción del micelio, sustrato y humedad ($F= 15.58$; $P= <0.0001$) sobre el ensayo de absorción de agua del producto obtenido.

En la tabla 16 se presenta la prueba de comparación de medias de Duncan.

Tabla 16*Promedio \pm desviación estándar de la absorción de agua*

Micelio	Sustrato	% Humedad	Abs. de Agua (%)
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	50	0.83 \pm 0.054 e
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	60	0.63 \pm 0.2 ef
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	50	0.44 \pm 0.46 ef
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	60	0.34 \pm 0.49 f
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	70	0.33 \pm 0.23 f
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	70	0.24 \pm 0.27 f
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	50	5.59 \pm 0.08 a
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	60	5.46 \pm 0.04 ab
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	70	5.13 \pm 0.03 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	50	5.04 \pm 0.04 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	60	4.26 \pm 0.06 c
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	70	2.72 \pm 0.05 d

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (Test: Duncan). Fuente: Autores, 2022.

La absorción de agua del material biodegradable fue menor con el micelio de *Ganoderma lucidum* en rastrojo de cebada con una humedad del 60% y 70% (0.34 y 0.24% respectivamente), en trigo con el 70% de humedad (0.33%), a diferencia del resultado obtenido con el micelio de *Pleurotus ostreatus* en trigo al 50% de humedad (5.59%), que absorbe mucha agua y pierde su forma inicial después del ensayo.

El menor valor obtenido en este ensayo fue para el *Ganoderma lucidum* en cebada al 70% pero este no llega al del EPS, que presenta una absorción del 2% como indica la tabla 1.

4.4 Resistencia a la compresión (ASTM D1621)

En la tabla 17 se presenta el análisis de varianza, con el fin de determinar la significancia de las variables (sustrato, micelio y humedad) en el ensayo de resistencia a la compresión.

Tabla 17

Cuadro de análisis de la varianza.

F.V.	gl	F	p-valor
Micelio	1	43.67	<0.0001*
Sustrato	1	4.73	0.0363*
% Humedad	2	96.23	<0.0001*
Micelio*Sustrato	1	23.92	<0.0001*
Micelio*% Humedad	2	2.3	0.115
Sustrato*% Humedad	2	2.68	0.0824
Micelio*Sustrato*% Humedad	2	8.83	0.0008*
Error	36		
Total	47		

Nota: * efecto significativo ($p < 0,05$) Fuente: Autores, 2022.

Se encontró un efecto significativo de la interacción del micelio, sustrato y humedad ($F= 8.83$; $P=0.0008$), sobre el ensayo de resistencia a la compresión del producto obtenido.

En la tabla 18 se presenta la prueba de comparación de medias de Duncan.

Tabla 18

Promedio \pm desviación estándar de la resistencia a la compresión.

Micelio	Sustrato	% Humedad	Resistencia a la compresión (KPa)
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	70	131.21 \pm 1.68 a
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	70	122.75 \pm 12.17 b
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	60	103.67 \pm 11.86 b
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	60	59.47 \pm 1.97 cd
<i>Ganoderma lucidum</i>	Trigo	50	45.43 \pm 3.6 de
<i>Ganoderma lucidum</i>	Cebada	50	44.17 \pm 10.75 def
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	70	89.13 \pm 40.12 c
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	70	67.63 \pm 22.64 c
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	60	81.22 \pm 8.34 c
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	60	35.6 \pm 6.41 ef
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Trigo	50	28.08 \pm 6.06 ef
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Cebada	50	21.4 \pm 3.96 f

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (*Test: Duncan*).
Fuente: Autores, 2022.

La resistencia a la compresión del material biodegradable obtenida con el micelio de *Ganoderma lucidum* en rastrojo de trigo con una humedad del 70% fue mayor (131.21kPa) que los demás tratamientos como indica la tabla 18.

El material obtenido con micelio de *Ganoderma lucidum* en trigo y cebada con una humedad del 70% presenta una resistencia a la compresión superior al EPS. Los ensayos hechos en el material de *Pleurotus ostreatus* en trigo con una humedad del 70%, *Ganoderma lucidum* en cebada con una humedad del 60% y *Pleurotus ostreatus* en trigo con una humedad del 60% se encuentran dentro del rango de los valores del EPS, que van de 70 a 110kPa con respecto a los demás materiales en los que se obtuvieron valores inferiores al rango mencionado.

4.5 Resistencia a la flexión (ASTM D790)

Para el ensayo ASTM D790 se realizaron 48 piezas, sin embargo, no se pudo efectuar la prueba de flexión con el material obtenido con *Pleurotus Ostreatus* debido a la fragilidad e inconsistencia que presentó el biomaterial al momento de montarlo en la máquina de ensayo como lo indica la figura 12.

Figura 12

Material obtenido con *Pleurotus Ostreatus*



Nota: En la figura se observa el material obtenido con *Pleurotus ostreatus*. *Fuente:* Autores, 2022.

En la tabla 19 se presenta el análisis de varianza con micelio *Ganoderma lucidum*, con el fin de determinar la significancia de las variables (sustrato, micelio y humedad) en el ensayo de resistencia a la flexión.

Tabla 19

Cuadro de análisis de la varianza, micelio de Ganoderma lucidum

F.V.	gl	F	p-valor
Sustrato	1	3.27	0.0874
% Humedad	2	6.19	0.009*
Sustrato*% Humedad	2	0.45	0.6443
Error	18		
Total	23		

Nota: * efecto significativo ($p < 0,05$) *Fuente:* Autores, 2022.

La interacción entre humedad y sustrato no tuvo un efecto significativo ($F= 0.45$; $P=0.6443$), sin embargo, la humedad presentó un efecto significativo ($F= 6.19$; $P=0.009$) sobre el ensayo de resistencia a la flexión del producto obtenido como indica la tabla 19.

En la tabla 20 se presenta la prueba de comparación de medias de Duncan.

Tabla 20

Promedio \pm desviación estándar de la resistencia a la flexión, micelio de Ganoderma lucidum

Sustrato	% Humedad	Resistencia a la flexión (kPa)
Trigo	70	189.03 \pm 59.06 a
Trigo	60	98.66 \pm 63.74 ab
Trigo	50	88.56 \pm 0.95 ab
Cebada	70	57.84 \pm 123.78 b
Cebada	60	37.89 \pm 45.96 b
Cebada	50	3.29 \pm 69.34 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (*Test: Duncan*).
Fuente: Autores, 2022.

La resistencia a la flexión del material biodegradable obtenida con el micelio de *Ganoderma lucidum* en rastrojo de trigo con una humedad del 70% fue mayor (180.03kPa), con respecto a los tratamientos en cebada al 50, 60 y 70% de humedad (3.29 kPa; 37.89 kPa; 57.84 kPa) respectivamente.

El resultado del ensayo de resistencia a la flexión es bastante bajo al comparar con el valor del EPS que se indica en la tabla 1.

4.6 Resistencia a la tensión ASTM D638

Para el ensayo ASTM D638 se realizaron 48 piezas, sin embargo, no se pudo efectuar la prueba de resistencia a la tensión con el material obtenido con *Pleurotus Ostreatus* debido a la fragilidad que presentó el biomaterial al momento de ajustar las mordazas de la máquina de ensayos.

En la tabla 21 se presenta el análisis de varianza con micelio *Ganoderma lucidum*, con el fin de determinar la significancia de las variables (sustrato, micelio y humedad) en el ensayo de resistencia a la tensión.

Tabla 21

Cuadro de Análisis de la varianza, micelio de Ganoderma lucidum.

F.V.	gl	F	p-valor
Sustrato	1	1.75	0.2025
% Humedad	2	8.04	0.0032*
Sustrato*% Humedad	2	1.15	0.3399
Error	18		
Total	23		

Nota: * efecto significativo ($p < 0,05$) *Fuente:* Autores, 2022.

La interacción entre humedad y sustrato no tuvo un efecto significativo ($F= 0.45$; $P=0.6443$), sin embargo, la humedad presentó un efecto significativo ($F= 8.04$; $P=0.0032$) sobre el ensayo de resistencia a la flexión del producto obtenido.

El resultado del ensayo de resistencia a la tensión es bastante bajo al comparar con el valor del EPS que indica en la tabla 1.

En la tabla 22 se presenta la prueba de comparación de medias de Duncan.

Tabla 22

Promedio \pm desviación estándar de la resistencia a la tensión, con micelio de Ganoderma lucidum

Sustrato	% Humedad	Resistencia a la tensión
Cebada	70	62.05 \pm 6.22 a
Cebada	60	57.5 \pm 11.53 a
Trigo	60	48.28 \pm 26.26 ab
Trigo	70	38.39 \pm 6.39 abc
Trigo	50	22.13 \pm 17.69 bc
Cebada	50	18.48 \pm 27.19 c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) (*Test:* Duncan). *Fuente:* Autores, 2022.

La resistencia a la tensión del material biodegradable que se obtuvo con el micelio de *Ganoderma lucidum* en rastrojo de cebada con una humedad del 60 y 70% fueron mayores (62.05 y 57.5 kPa) respectivamente, con respecto al tratamiento en cebada al 50% de humedad (18.48 kPa).

Como indica la tabla 23 el micelio de *Ganoderma lucidum*, aunque colonizó bien en el sustrato, al ser expandido en los moldes para las pruebas de resistencia a la flexión y resistencia a la tensión, crecieron de manera irregular, para lo cual en la comparación con el EPS no se tomará en cuenta estos ensayos.

Tabla 23

Comparación del material obtenido con el EPS

Ensayo	Ganoderma lucidum 70% humedad		
	Trigo	Cebada	EPS
Densidad (g/cm ³)	0.2	0.13	0.016
Absorción de agua (%)	0.33	0.24	0.02
Resistencia a la compresión (kPa)	131.21	122.75	70-110

Nota: La tabla indica la comparación del material obtenido con el EPS. *Fuente:* Autores, 2022.

La humedad es un factor importante en el crecimiento de los hongos, las esporas deben contar con la humedad suficiente para germinar y alimentarse. De no haber humedad, las esporas permanecerán inactivas hasta que se presenten las condiciones favorables para su desarrollo (National Archives, 1993).

Esto ocurre solo cuando el hongo se encuentra en óptimas condiciones para su crecimiento, ya que al ser deficiente la humedad las hifas se cutinizan y deseca (Fuentes-Cantillana, 2020).

El mejor sustrato para el crecimiento de *Ganoderma lucidum* es con el 70% de humedad, indistintamente si es paja de trigo o cebada, ya que son los que mejores resultados obtuvieron en los ensayos mostrados en la tabla. Presentan mayor resistencia

a la compresión que el EPS, sin embargo, su densidad y absorción de agua son elevados en comparación a los valores del EPS.

El material obtenido tiene características para poder ser usado como embalaje o como empaque en alimentos con bajo contenido de humedad.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones:

Las condiciones óptimas para el crecimiento del hongo en el sustrato son: melaza al 0.75%, yeso 1% y manteniendo la humedad al 70%, sea en paja de trigo o cebada, ya que este factor tuvo significancia en todos los ensayos. Con el micelio de *Pleurotus ostratus* no se obtuvo resultados satisfactorios, mientras que con micelio de *Ganoderma lucidum* los resultados fueron satisfactorios, el uso de este último se puede constatar ya que algunas empresas referentes a investigación y elaboración de biomateriales con micelio, como Mycoworks, Bolt Threads, lo tienen presente en sus patentes, así lo menciona Feijóo (2021).

Una vez realizadas las pruebas ASTM, el material resultante con *Ganoderma lucidum* en trigo y cebada con 70% de humedad presentó mejores características en cuanto a las propiedades de resistencia a la compresión obteniendo como resultado: 131kPa en trigo y 122.75kPa en cebada, es decir que puede soportar más carga previo a su rotura; para la absorción de agua se obtuvo: 0.33% en trigo y 0.24% en cebada; densidad: 0.2g/cm³ en trigo y 0.13g/cm³ en cebada. Por otro lado, los ensayos de resistencia a la flexión y resistencia a la tensión tuvieron valores inferiores en comparación con los del EPS, debido a que los moldes no aportaban aireación y los micelios no colonizaron uniformemente para poder mantener compactas las probetas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que el material elaborado que presenta mejores características para ser presentado como producto comercial es el *Ganoderma lucidum* en trigo y cebada con 70%, ya que posee propiedades que le confieren características para ser utilizado como material para embalaje y empaque de alimentos con bajo contenido de humedad.

Los materiales hechos a base de micelio podrían llegar a convertirse en una posible compensación a los efectos del poliestireno, lo que hace que se empiece a reemplazar materiales sintéticos por materiales responsables con el medio ambiente. Además, simplemente se necesita de desechos orgánicos y no requieren costo de eliminación final.

5.2 Recomendaciones

Conservar la cepa madre en condiciones aptas para evitar que se degrade rápidamente para su posterior uso.

Para la paja se recomienda que sean cortados en segmentos de 3 a 4 cm con el fin de retener mayor humedad y facilitar la invasión del micelio.

Adecuar moldes que permitan un mejor crecimiento del micelio y permitan mayor intercambio gaseoso.

Probar otro sustrato para mejorar las propiedades analizadas y realizar ensayos que determinen el tiempo de biodegradación del producto obtenido.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-hamid, A. M., Solbiati, J. O., Cann, I. K. O., & Peroxidases, D. (2013). Insights into Lignin Degradation and its Potential Industrial Applications. In *BS:AAM* (Vol. 82). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407679-2.00001-6>
- Abhijith, R., Ashok, A., & Rejeesh, C. R. (2017). *Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene*.
- Abhijith, R., Ashok, A., & Rejeesh, C. R. (2018). Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: A review. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2139–2145. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.09.211>
- Aldanalysis. (2018). *Análisis Estadísticos para Ensayos Clínicos y Estudios Epidemiológicos*. <http://aldanalysis.blogspot.com/2019/04/test-de-duncan.html>
- Alexopoulos, C. J. (2020). *Enciclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/fungus/Importance-of-fungi>
- Álvarez de la Puente, J. M. (2016). *Compostaje para Agricultura Ecológica* (Issue February 2010). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20182.24647>
- ANAPE. (2004). *Propiedades físicas del EPS*. <https://www.serina.es/escaparate/verpagina.cgi?idpagina=2947&ref>
- ANAPE. (2016). El Poliestireno expandido y el Medioambiente. In *Asociación Nacional de Poliestireno Expandido* (p. 14).
- Angelova, G. V, Brazkova, M. S., & Krastanov, A. I. (2021). Renewable mycelium based composite – sustainable approach for lignocellulose waste recovery and alternative to synthetic materials – a review. *De Gruyter*, 3.
- Asociación Española para la Calidad. (2013). *Normas ASTM*. <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>
- ASTM. (1991). Standard test method for compressive properties of rigid cellular plastics.

- ASTM Standards, D*, 1621–1673.
- ASTM. (1998). *Designación : D 570 – 98 Método de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos.*
- ASTM. (2004a). Apparent Density of Rigid Cellular Plastics 1. *ASTM International*, 14, 3–6.
- ASTM. (2004b). *ASTM C578.*
- ASTM. (2004c). *ASTM C578 , Types and Physical Properties for Foamular Extruded Polystyrene. I(63).*
- ASTM. (2004d). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. *ASTM Standards, January*, 1–15.
- ASTM. (2015). Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulation Materials. *ASTM Standards*, 1–11.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Standard+Test+Methods+for+Flexural+Properties+of+Unreinforced+and+Reinforced+Plastics+and+Electrical+Insulating+Materials#0>
- Bal, C. (2018). Benefits and uses of mushroom. *Journal of Bacteriology & Mycology: Open Access*, 6(2), 11–13. <https://doi.org/10.15406/jbmoa.2018.06.00194>
- Bonat. (2019). *¿Cuáles son los efectos que causa el unicel en el medio ambiente?*
<https://www.bonat.com.mx/blogs/biodegradables/cuales-son-los-efectos-que-causa-el-unicel-en-el-medio-ambiente>
- British Plastic Federation. (2021). *Expanded Polystyrene (EPS).*
<https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/expanded-and-extruded-polystyrene-eps-xps.aspx>
- Brydson, J. (1999). Plastics Materials. In *Plastics Materials* (Seventh). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-35824-8.00001-3>

- Cerimi, K., Akkaya, K. C., Pohl, C., Schmidt, B., & Neubauer, P. (2019). Fungi as source for new bio - based materials : a patent review. *Fungal Biology and Biotechnology*, 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40694-019-0080-y>
- Domine, M. (2013). Lignin, Structure and Applications Depolymerization Methods for Obtaining Aromatic Derivatives of Industrial Interest. In *Avances en Ciencias e Ingeniería* (Vol. 4, Issue 4).
- Eljarrat, E. (2020). *El resurgir del plástico*. https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/resurgir-plastico-por-culpa-coronavirus_15488
- EMASEO. (2020). *Durante los seis meses de emergencia sanitaria EMASEO EP recogió 357 mil toneladas de residuos*. <http://www.emaseo.gob.ec/durante-los-seis-meses-de-emergencia-sanitaria-emaseo-ep-recogio-357-mil-toneladas-de-residuos/>
- Environmental Protection Agency. (2021). *Containers and Packaging: Product-Specific Data*. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/containers-and-packaging-product-specific-data>
- Espinoza, R. (2019). *Análisis de la generación de polímeros como residuos sólidos provenientes del patio de comidas del Mall del Río de la ciudad de Cuenca* [Universidad Católica de Cuenca]. [https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/8192/1/ESPINOZA ESPINOZA RAUL RICARDO.pdf](https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/8192/1/ESPINOZA_ESPINOZA_RAUL_RICARDO.pdf)
- FEDNA. (n.d.). *Paja de cereales*. Composición de Alimentos Para Nutrición Animal. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/paja-de-cereales-trigo-y-cebada
- Feijóo Vivas, K., Rebolledo, H., Bermúdez Puga, S., Figueroa, J. M., Zamora, P., & Naranjo Briceño, L. (2021, January). Bioproductos desarrollados a partir de micelio

de hongos. *Revista Bionatura*, 6, 1638–1639. <https://doi.org/DOI.10.21931/RB/2021.06.01.29>

Fuentes-Cantillana, I. (2020). *Bio Fabricación: Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos*. 116.

Garcés- Granada, E., Correa de Restrepo, M., Cova de Gutierrez, B., Orozco de Amézquita, B., Zapata, A., Anacona-Chingana, A., & Sbogal, S. (2015). Morfología y Clasificación de los Hongos. *Departamento De Biología Facultad De Ciencias Universidad Nacional De Colombia*, 01–103. http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/imagenes/Portadas_Libros/Biologia/Morfologia_y_Clasificacion_de_los_Hongos/Morfologia_y_clasificacion_de_los_hongos_libro.pdf

García, N. (2019). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA APLICACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN POSCONSUMO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) UTILIZADO EN EL ENVASE DE ALIMENTOS EN COLOMBIA* [Universidad EAN]. <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/9794/GarciaNatalia2019.pdf;jsessionid=AF3FABDB547B46CA6D8C01020F4083AB?sequence=1>

González Silva, Y. I. (2017). *Generacion De Un Material Plastico Conformado Por Pleurotus Ostreatus Y Plagas Vegetales*. 34.

Goodell, B., Goodell, B., Qian, Y., & Jellison, J. (2008). *Fungal Decay of Wood : Soft Rot — Brown Rot — White Rot This PDF copy is for the author ' s own use for academic purposes , and it is not for mass dissemination . It should be used only by academic students and colleagues . Readers are encouraged to view . April*. <https://doi.org/10.1021/bk-2008-0982.ch002>

Healthline Media UK Ltd. (2021). *Which is better for you?* Medical News Today.

- Hyde, K. D., Xu, J., Rapior, S., Jeewon, R., Lumyong, S., Niego, A. G. T., Abeywickrama, P. D., Aluthmuhandiram, J. V. S., Brahamanage, R. S., Brooks, S., Chaiyasan, A., Chethana, K. W. T., Chomnunti, P., Chepkirui, C., Chuankid, B., de Silva, N. I., Doilom, M., Faulds, C., Gentekaki, E., ... Stadler, M. (2019). The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Diversity*, 97(1), 1–136. <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00430-9>
- INEC. (2018). *Boletín Técnico*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2018/Residuos_solidos_2018/Boletin_Tecnico_Residuos_2018.pdf
- Kirk, P. (2016). *Species Fungorum*. Catalogue of Life. <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2016/details/species/id/751540a32049d67f20f6b15c9bda1c81>
- Langer, G. J., Bußkamp, J., Terhonen, E., & Blumenstein, K. (2021). Fungi inhabiting woody tree tissues. *Forest Microbiology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822542-4.00012-7>
- Levy, J. (1966). The Soft Rot Fungi: Their Mode of Action and Significance in the Degradation of Wood. *Advances in Botanical Research*, 2(C), 323–357. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60253-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60253-0)
- López, C., & Laines, R. (2013). Poliestireno Expandido (EPS) y su problemática ambiental. *División Académica de Ciencias Biológicas Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*, 63, 64, 65. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n36.339>
- Louna, J. (2019). *Know The Types Of Substrates For Plants (Part 1)*. Bonnes Pratiques. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114189>
- Manan, S., Ullah, M. W., Ul-Islam, M., Atta, O. M., & Yang, G. (2021). Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials. *Journal of*

- Bioresources and Bioproducts*, 6(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.01.001>
- Mejías, N., Orozco, E., & Galáan, H. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27–41.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). Resumen del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador. *Serie Temporal 1994-2012*, 28.
<https://bit.ly/2ExOuu0>
- Monteros, A., Simba, L., & Salvador, S. (2014). *Productividad Agrícola en el Ecuador*.
<https://docplayer.es/33681542-Productividad-agricola-en-el-ecuador.html>
- Mycelior. (2018). *Guía de Cultivo. Micelio y Micología*.
<https://mycelior.com/suplementos-y-aditivos>
- Naser, A. Z., Deiab, I., & Darras, B. M. (2021). Poly(lactic acid) (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHAs), green alternatives to petroleum-based plastics: a review. *RSC Advances*, 11(28), 17151–17196. <https://doi.org/10.1039/d1ra02390j>
- National Archives. (1993). *Moho y enmohecimiento*.
<https://www.archives.gov/preservation/spanish/spanish-mold-and-mildew-prevention.html>
- Omnexus. (2020). *Selection Guides: EPS*. Ultimate Guide on Foam Insulation Material.
<https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/expanded-polystyrene-eps-foam-insulation>
- Papinutti, L. (2014). *Hongos causantes de pudrición blanca: la utilización de sus enzimas ligninolíticas para el desarrollo de diversas tecnologías de biorremediación. January 2011*.

- Papinutti, L., Kuhar, F., & Castiglia, V. (2007, February). Reino Fungi : morfologías y estructuras de los hongos. *Boletín Biológica*, 2.
- Petersen, J. H. (2013). *The Kingdom of Fungi*. ProQuest Ebook Central. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsal/detail.action?docID=1114888>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). Plásticos De Un Solo Uso. In *Tecnology for Enviroment* (Vol. 227, Issue 5).
- Ruilova Cueva, M., & Hernández Monzón, A. (2014). Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 48(1), 54–59.
- Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2013). Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. *Informacion Tecnologica*, 24(2), 47–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200007>
- Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5), 1321–1337. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>
- Santos, J. J. (2019). *Amanitacesarea*. Guía Micológica. <http://www.amanitacesarea.com/ganoderma.html>
- Schlosser, D. (2021). Cultivation of filamentous fungi for attack on synthetic polymers via biological Fenton chemistry. In *Enzymatic Plastic Degradation* (1st ed., Vol. 648). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2020.12.006>
- Stockholm Environment Institute. (2017). Reducing Plastic Pollution. *Alternatives Journal (AJ) - Canada's Environmental Voice*, 43(2), 68–69. <https://ezproxy.southern.edu/login?qurl=http%3A%2F%2Fsearch.ebscohost.com%2Flogin.aspx%3Fdirect%3Dtrue%26db%3Da9h%26AN%3D127198058%26site%3Dehost-live%26scope%3Dsite>

- Talavera, V., Zapata, L., & Sánchez, D. (1998). *Utilización de melaza en estanques de cultivo de camarón*. Boletín Nicovita. https://www.alicorp.com.pe/ohs_images/nicovita/boletines/calidad_de_agua/bole_9803_02.pdf
- The Hindu Business Line. (2020). *Single-use plastics like polystyrene make a comeback during Covid-19 pandemic*. <https://www.thehindubusinessline.com/news/single-use-plastics-like-polystyrene-make-a-comeback-during-covid-19-pandemic/article31478603.ece>
- Toledo, M. F. (2008). *Residuos de maíz y quinua como potenciales sustratos para el cultivo de hongos comestibles Pleurotus Ostreatus* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822542-4.00012-7>
- Varnero, M. T., Quiroz, M. S., & Álvarez, C. H. (2010). Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Informacion Tecnologica*, 21(2), 13–20. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4154it.09>
- Watkinson, S., Lynne, B., & Money, N. (2015). *The Fungi* (Elsevier Science & Technology (ed.)). ProQuest Ebook Central. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsal/detail.action?docID=4188455>.
- Zabel, R., & Morrel, J. (2020). Chemical changes in wood caused by decay fungi. *Science Direct*, 215–244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819465-2.00008-5>
- Zhou, X., Lin, J., Yin, Y., & Zhao, J. (2007). *Ganodermataceae : Natural Products and Their Related Pharmacological Functions*. 35(4), 559–574.

7 ANEXOS

Anexo 1. Resultados obtenidos ASTM D790 (Resistencia a la flexión)

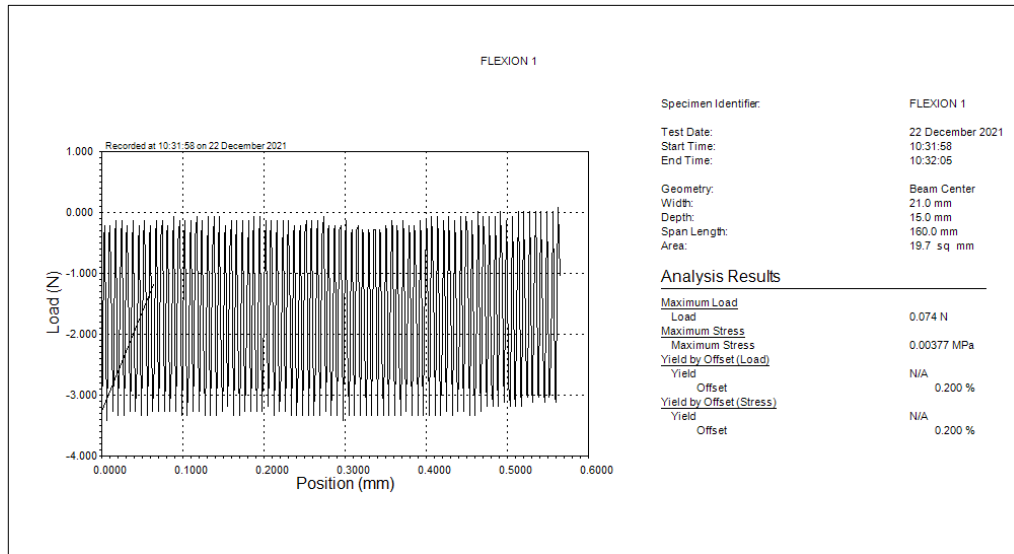


Figura 13 Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 1.

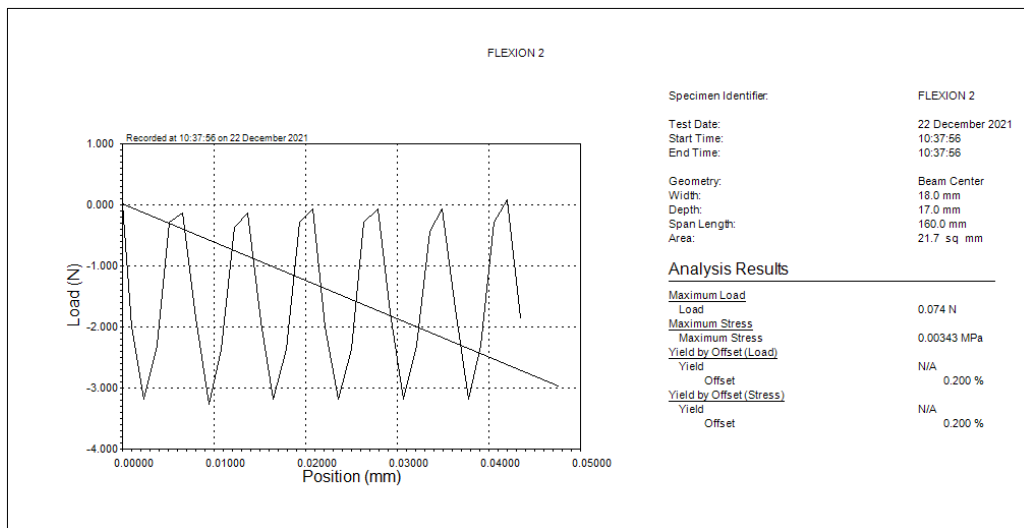


Figura 14 Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 2.

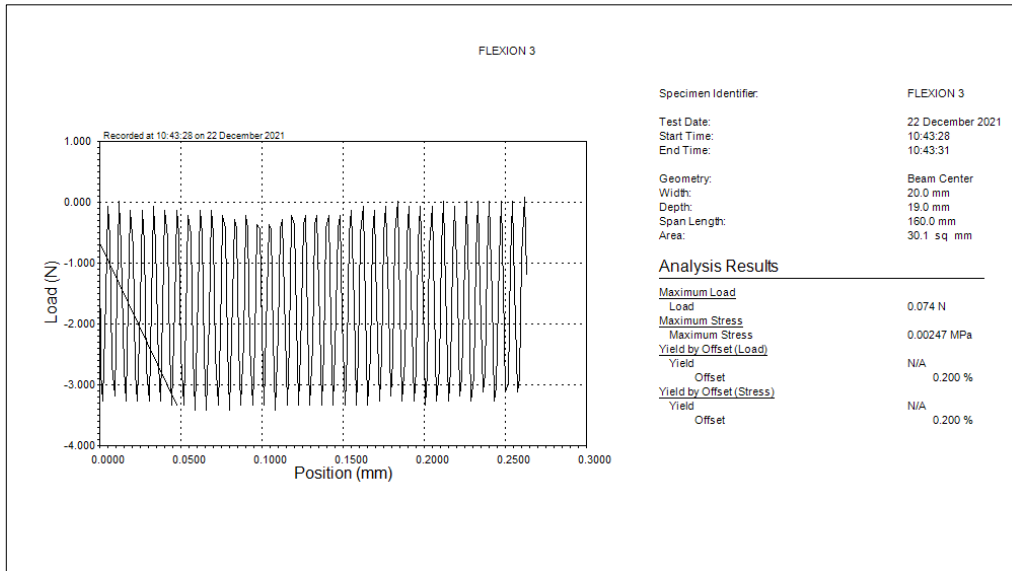


Figura 15 *Ganoderma Lucidum* en cebada al 50%, ensayo 3.

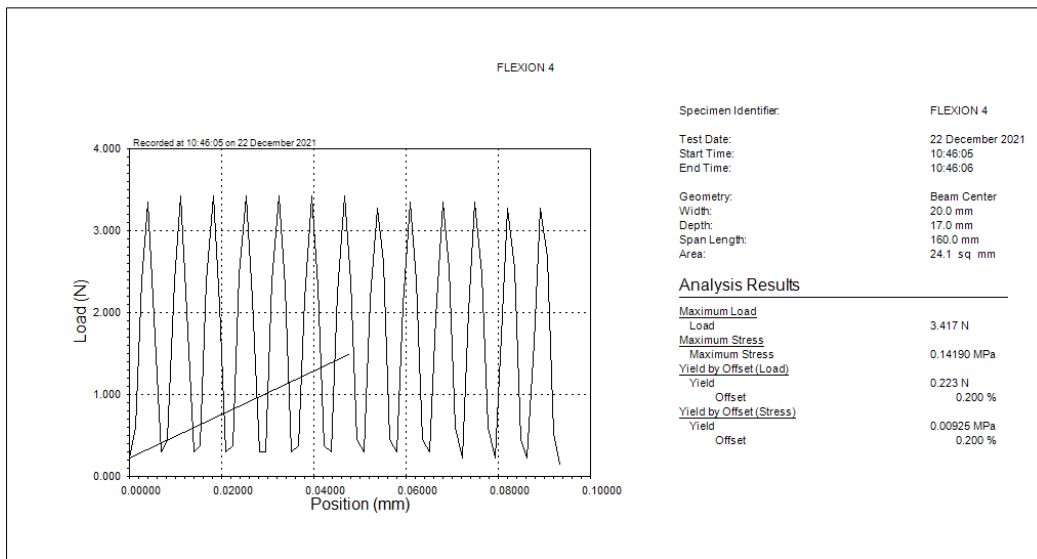


Figura 16. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 50%, ensayo 4.

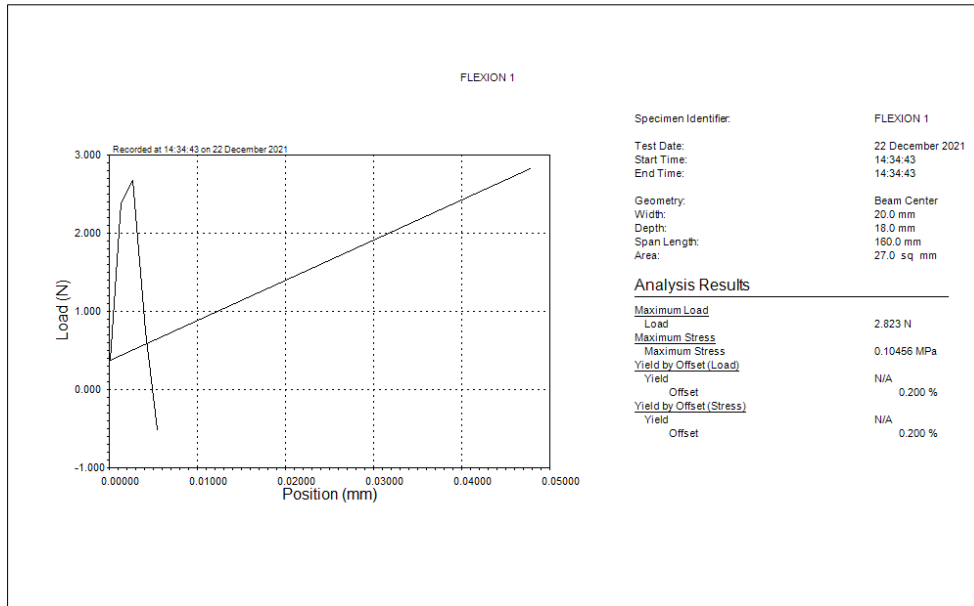


Figura 17 *Ganoderma Lucidum* en cebada al 60%, ensayo 1.

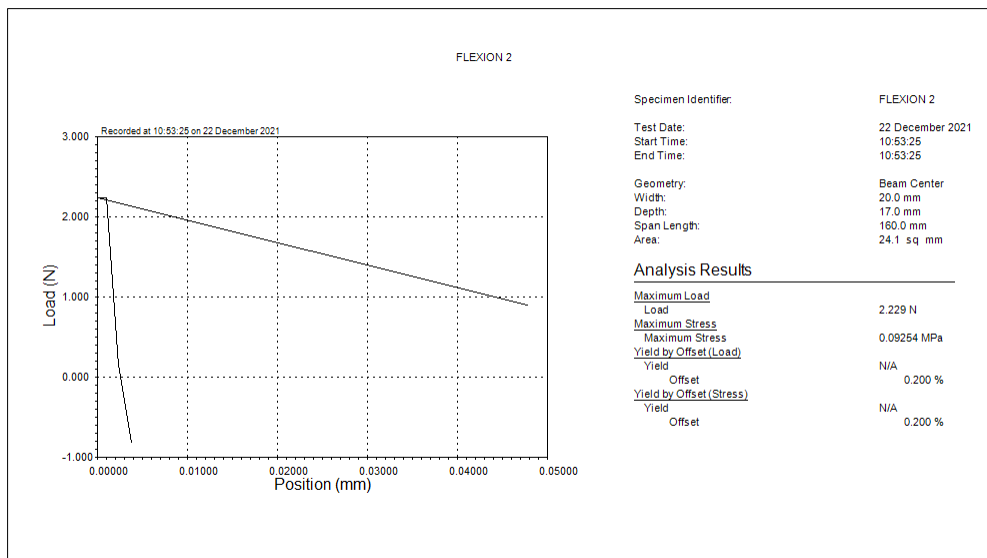


Figura 18. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 60%, ensayo 2.

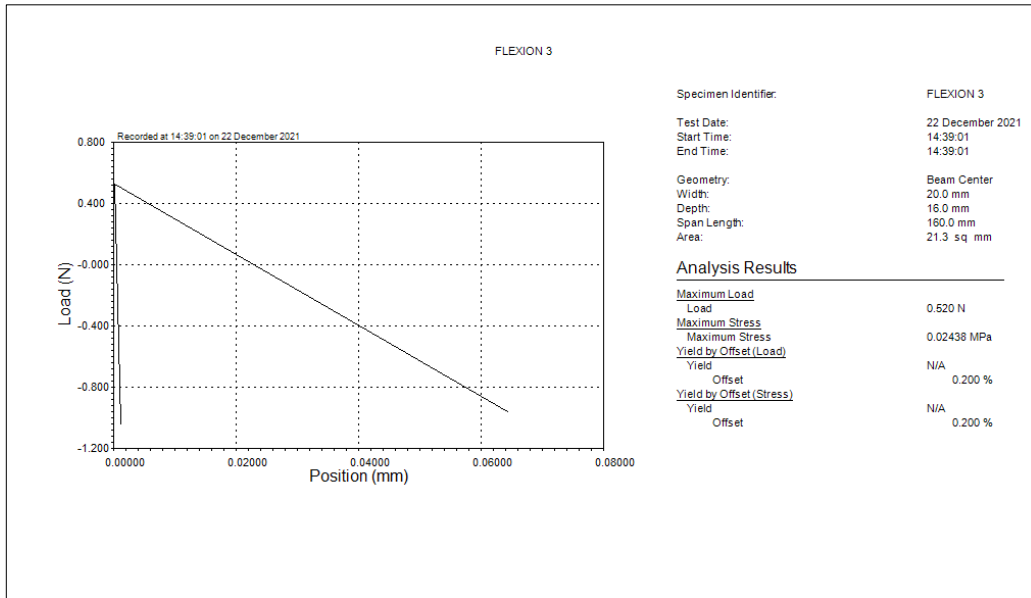


Figura 19 *Ganoderma Lucidum* en cebada al 60%, ensayo 3.

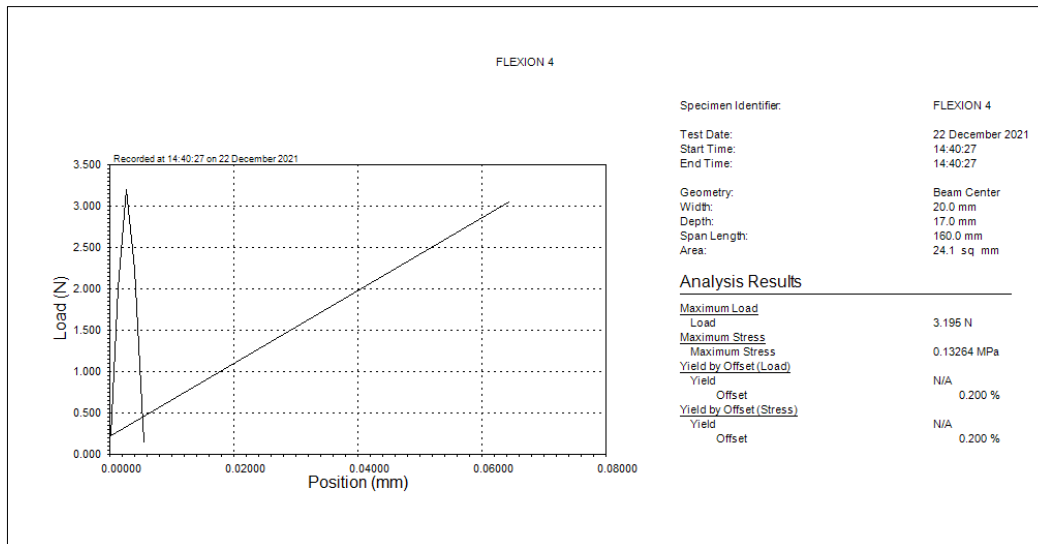


Figura 20. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 60%, ensayo 4.

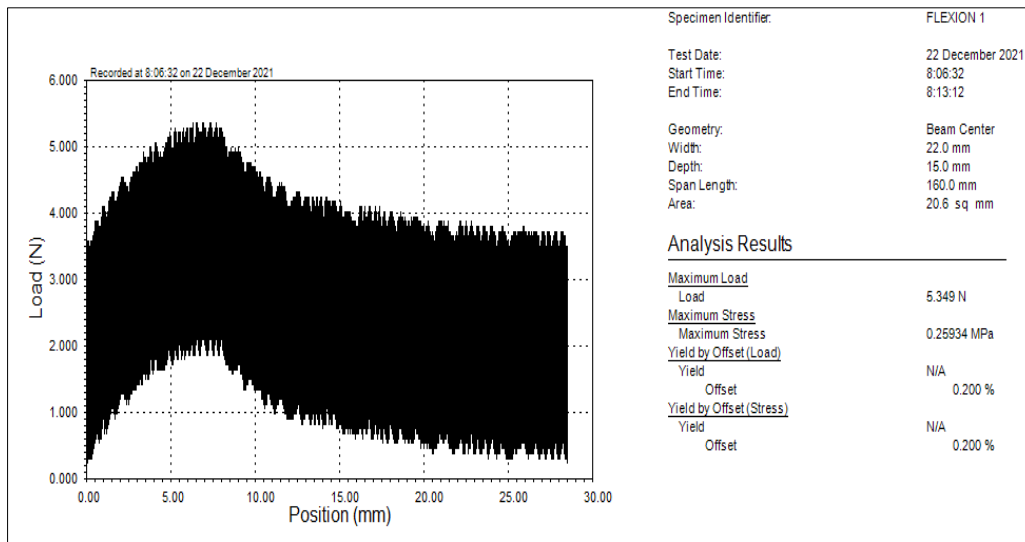


Figura 21. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 70%, ensayo 1.

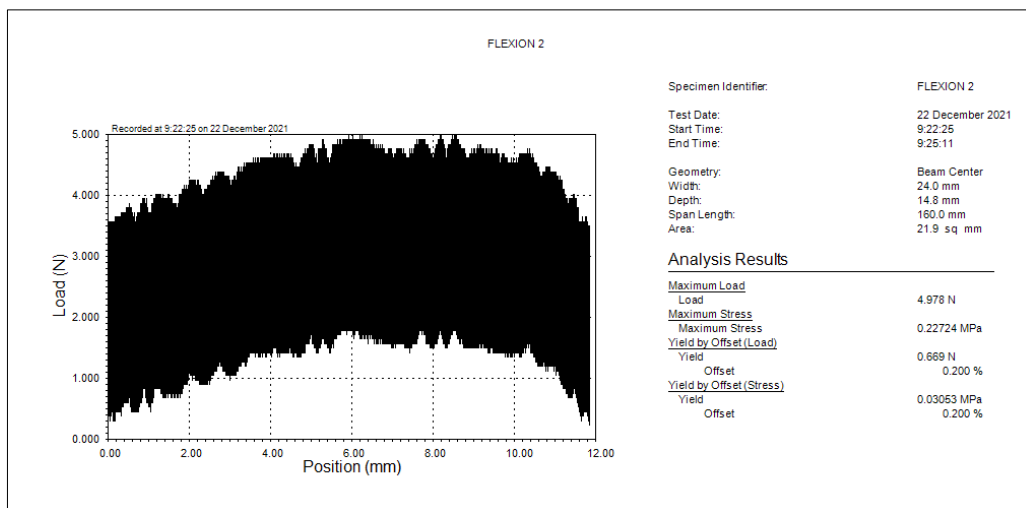


Figura 22. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 70%, ensayo 2.

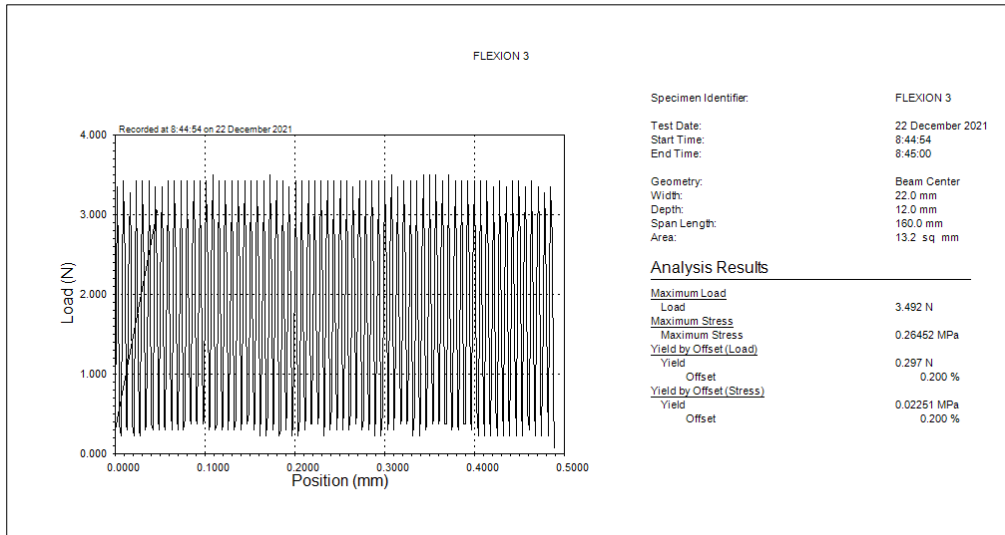


Figura 23. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 3.

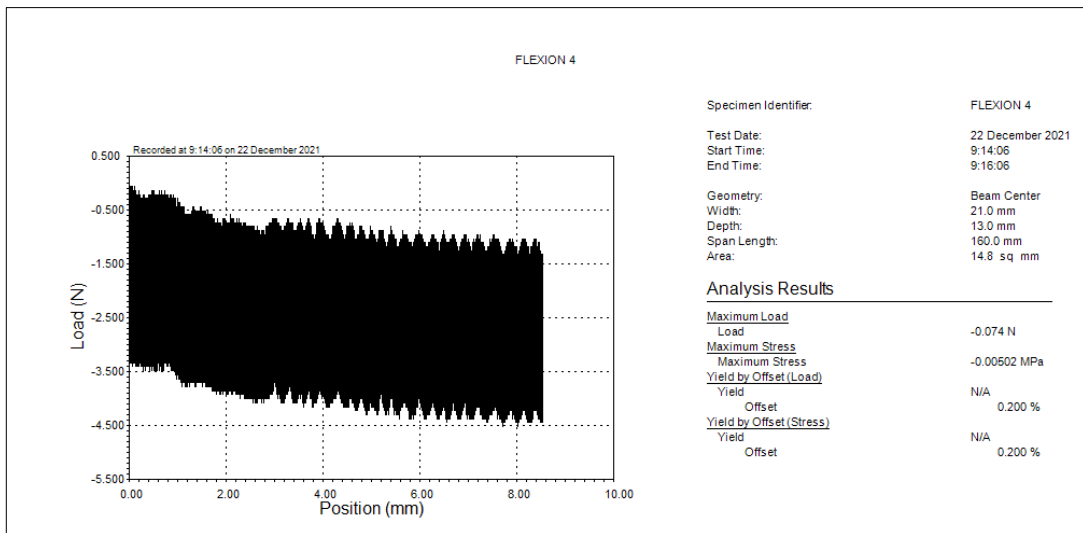


Figura 24 Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 4.

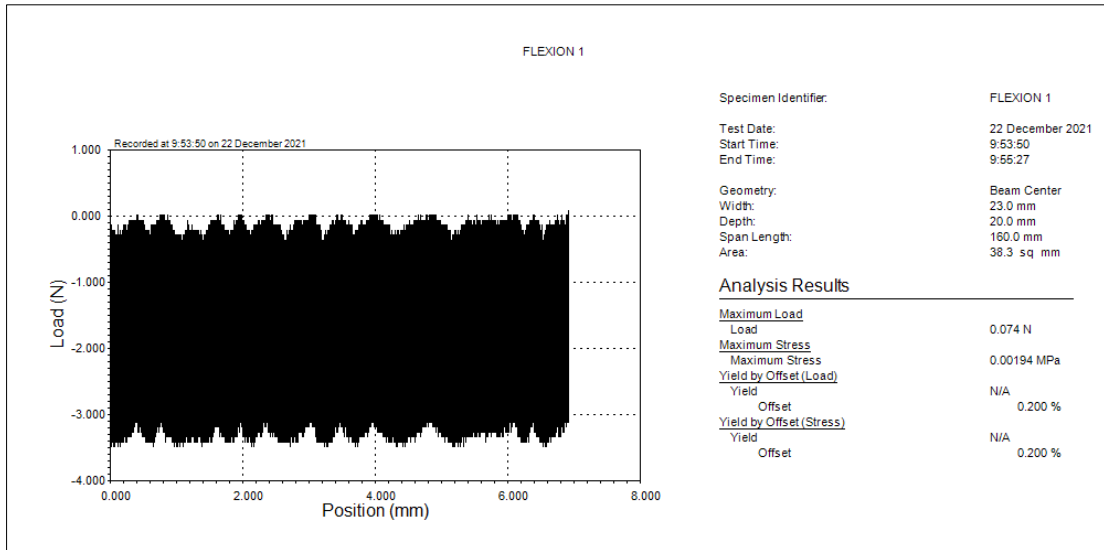


Figura 25 Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 1.

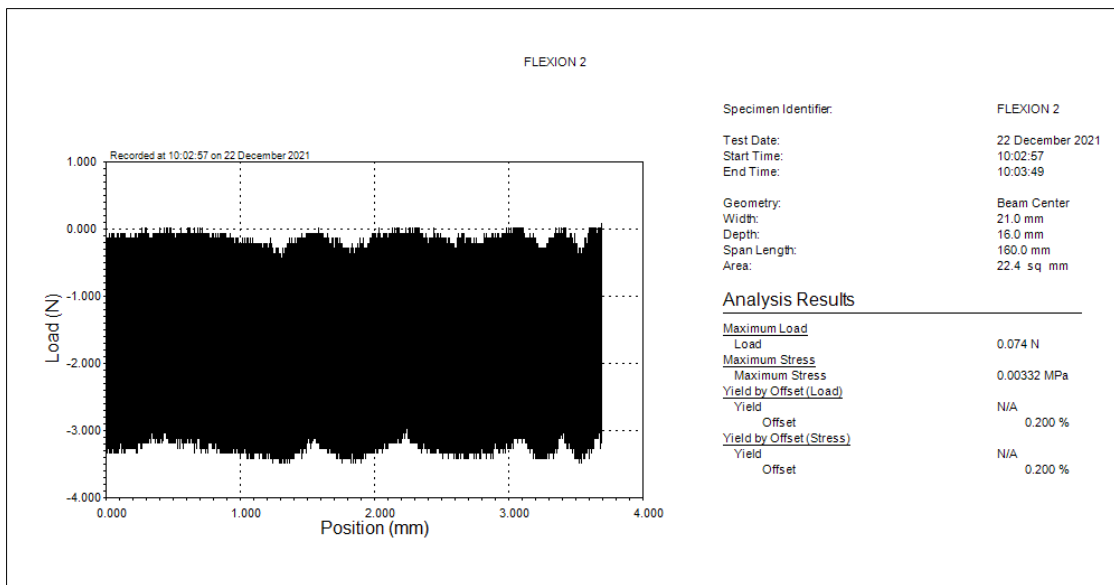


Figura 26. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 2.

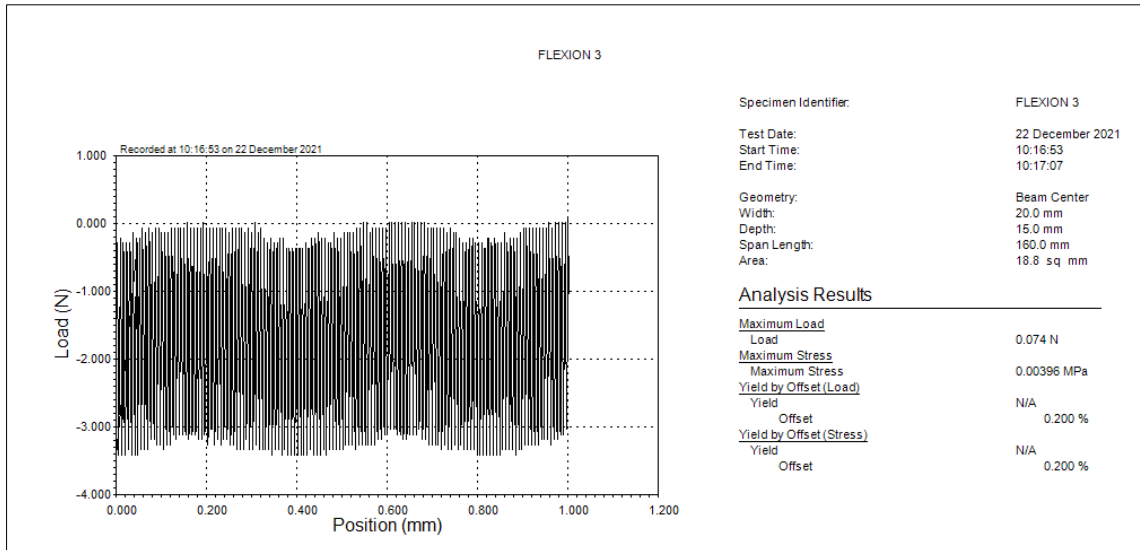


Figura 27. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 50%, ensayo 3.

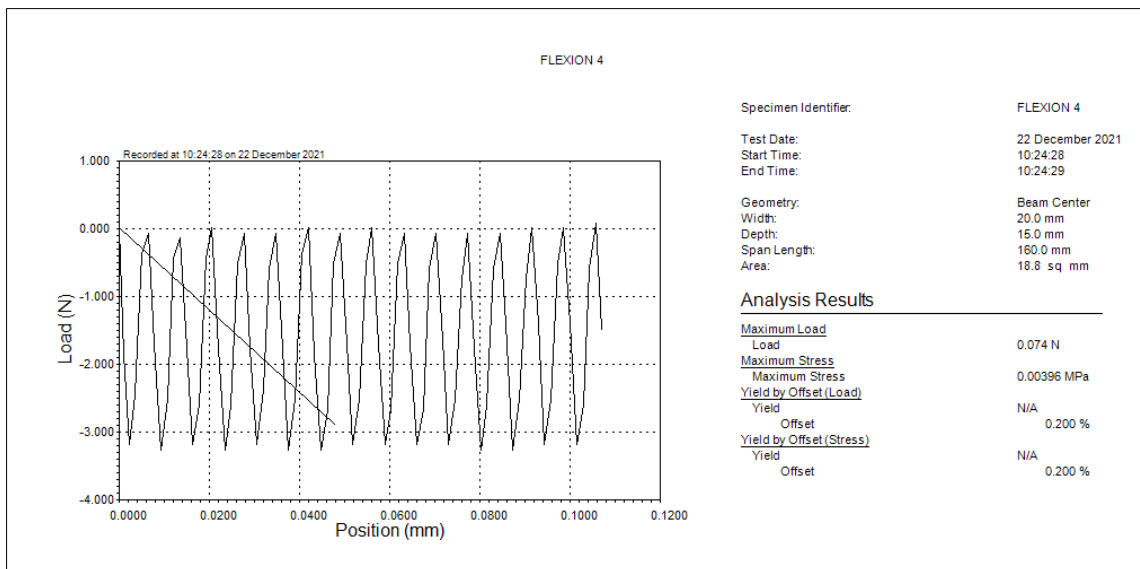


Figura 28. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 50%, ensayo 4.

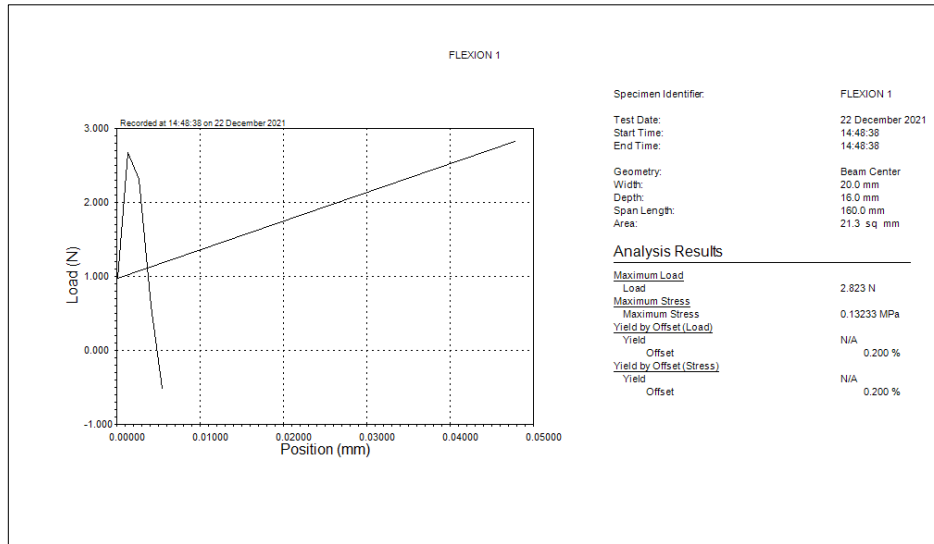


Figura 29. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 60%, ensayo 1.

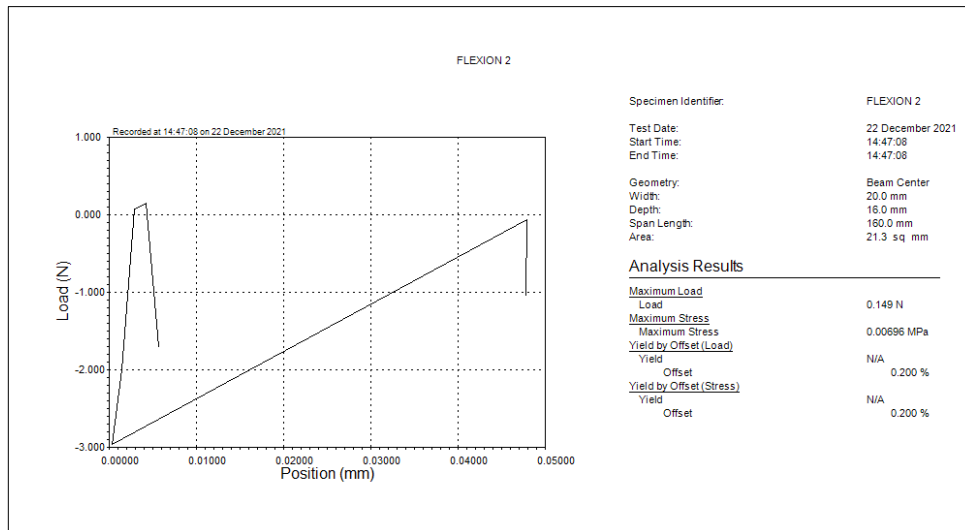


Figura 30. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 60%, ensayo 2.

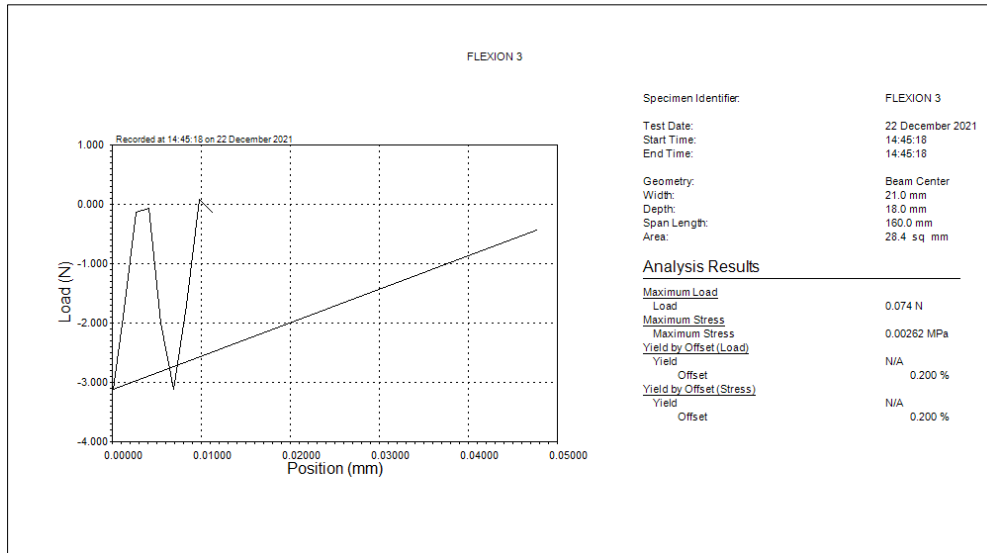


Figura 31. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 60%, ensayo 3.

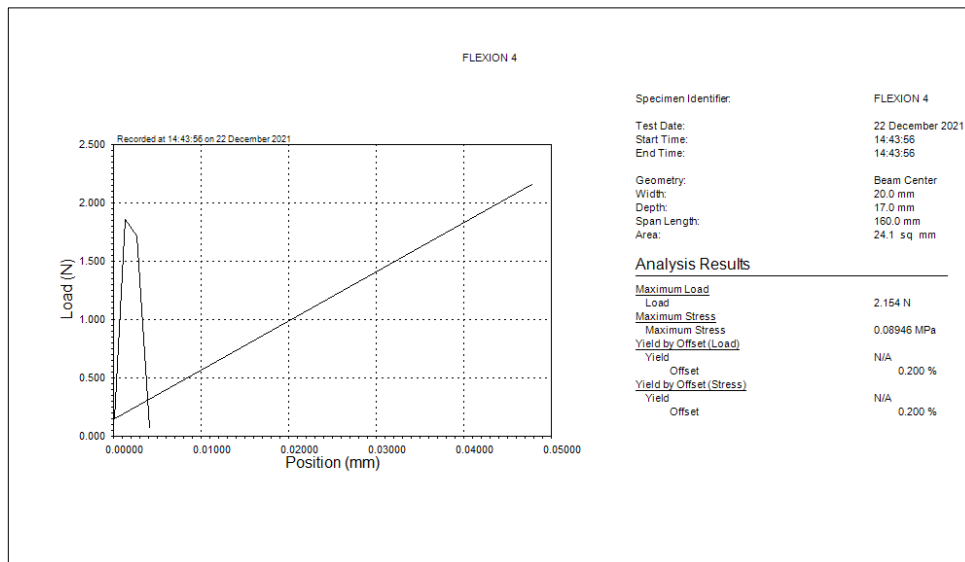


Figura 32. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 60%, ensayo 4.

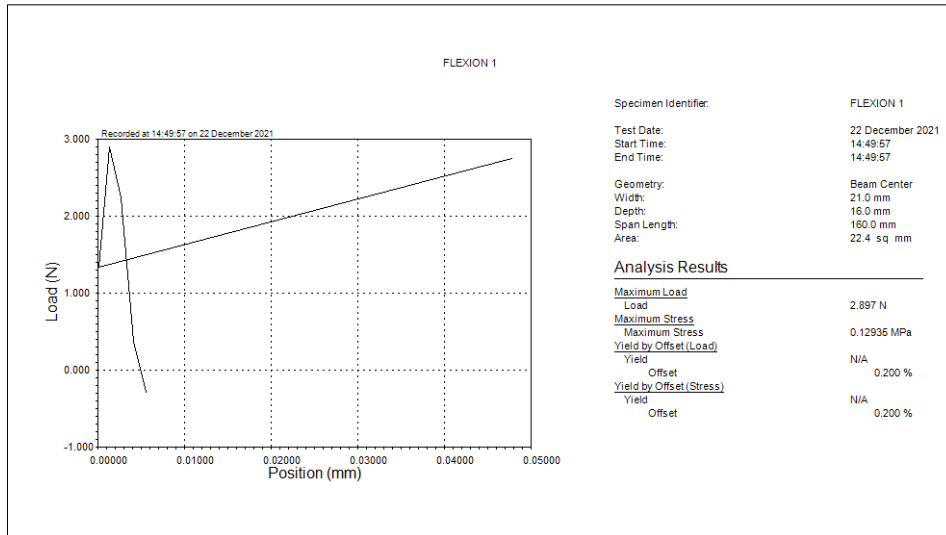


Figura 33. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 70%, ensayo 1.

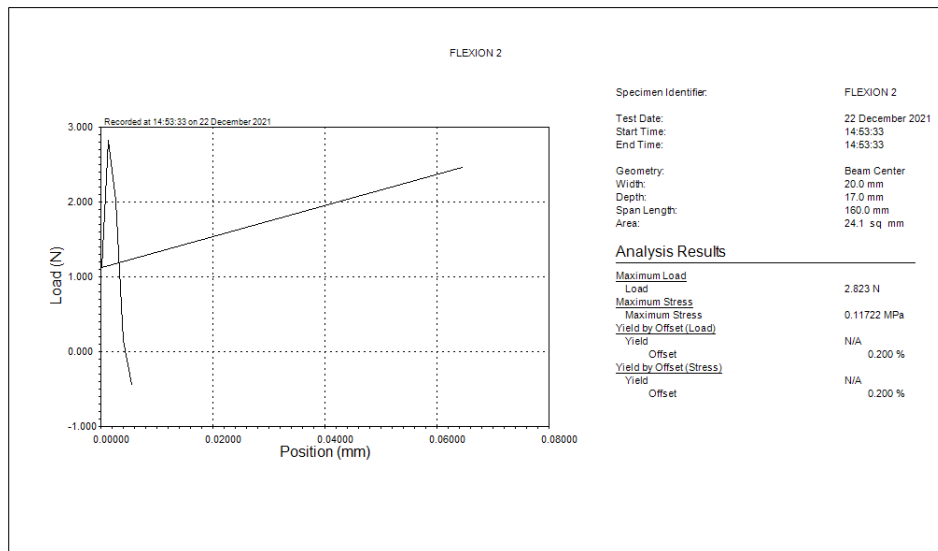


Figura 34. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 70%, ensayo 2.

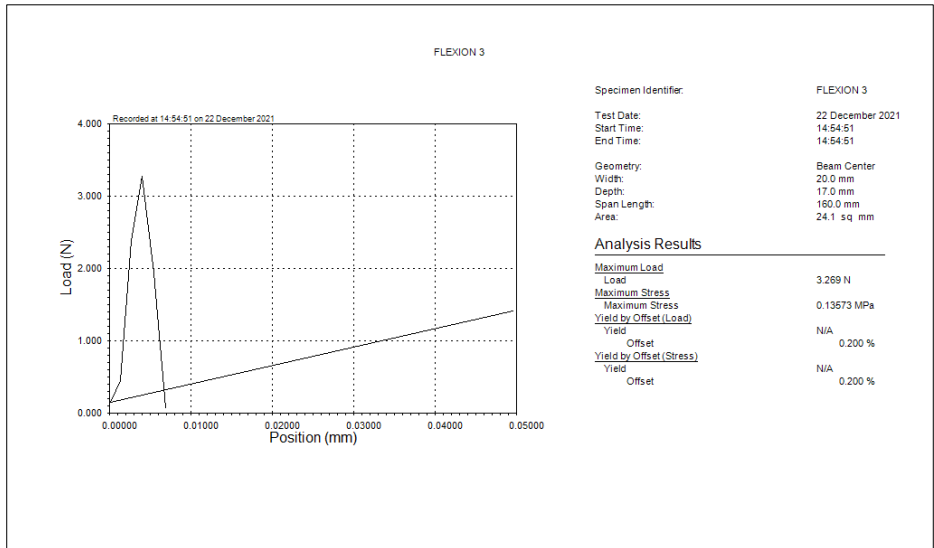


Figura 35. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 70%, ensayo 3.

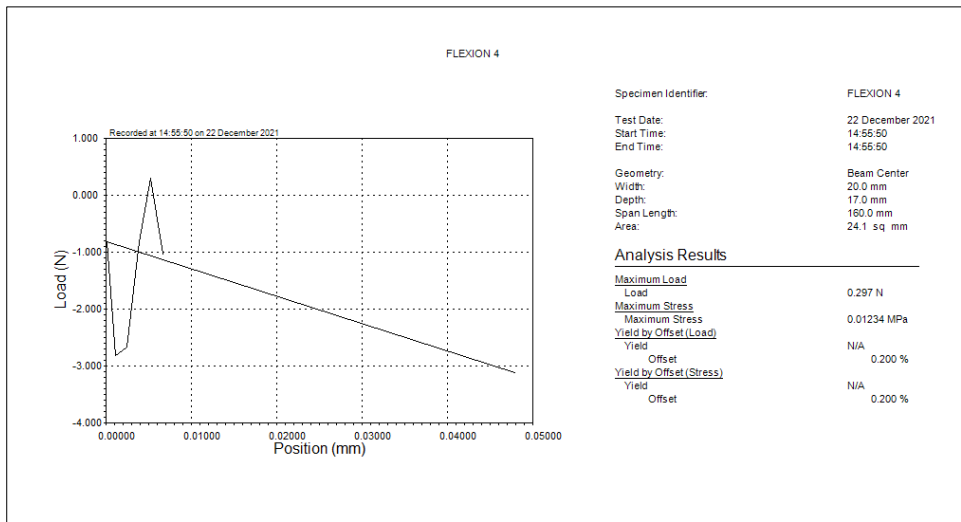


Figura 36. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 70%, ensayo 4.

Anexo 2. Resultados obtenidos ASTM D638 (Resistencia a la tensión)

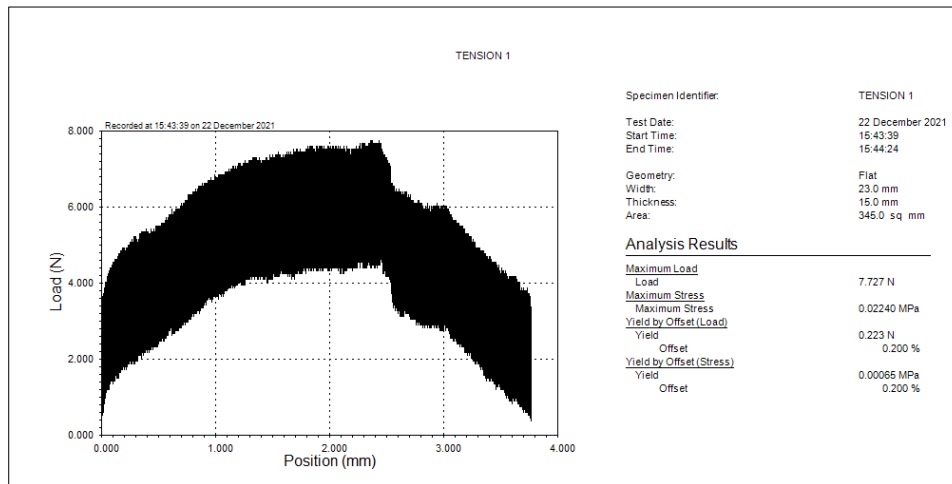


Figura 37. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 1.

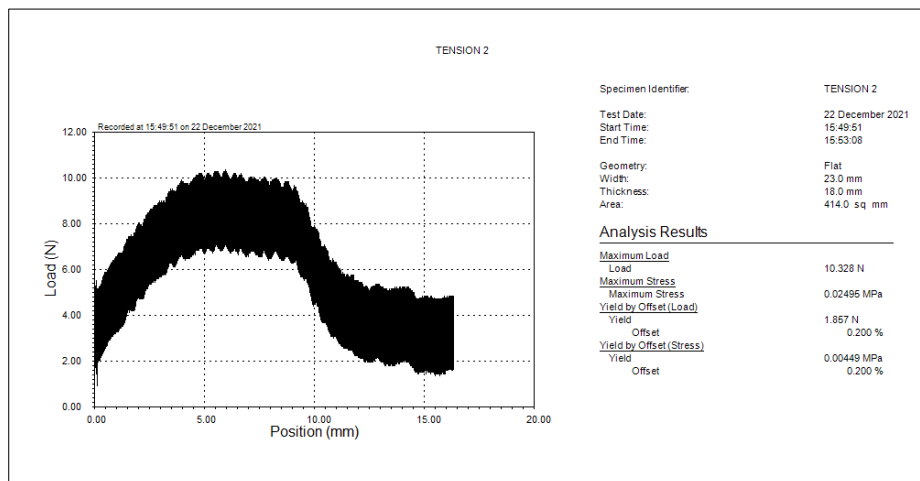


Figura 38. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 2.

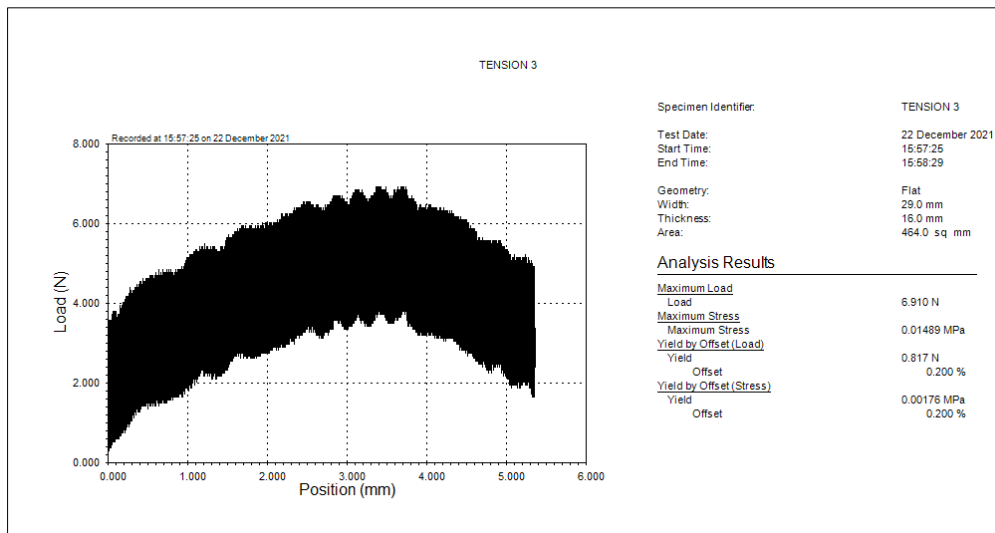


Figura 39. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 3.

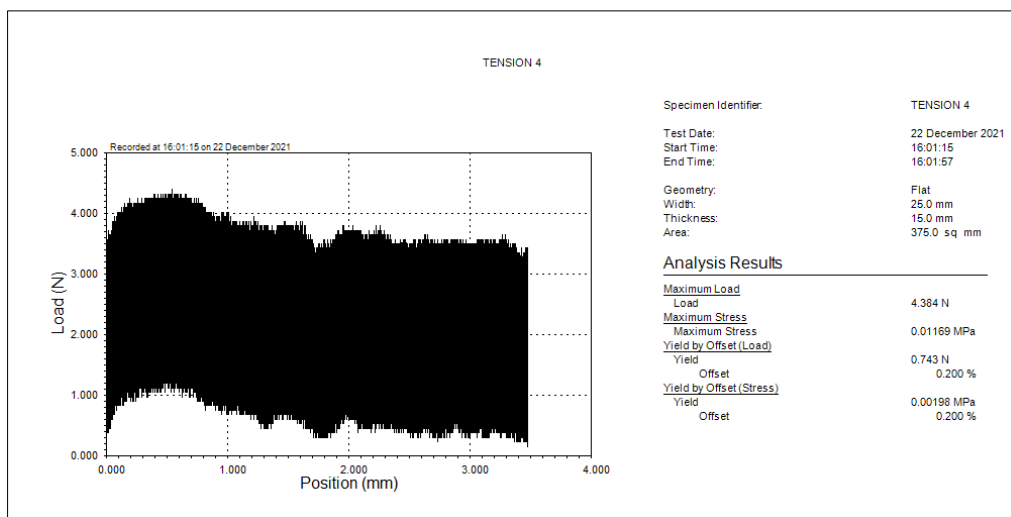


Figura 40. Ganoderma Lucidum en cebada al 50%, ensayo 4.

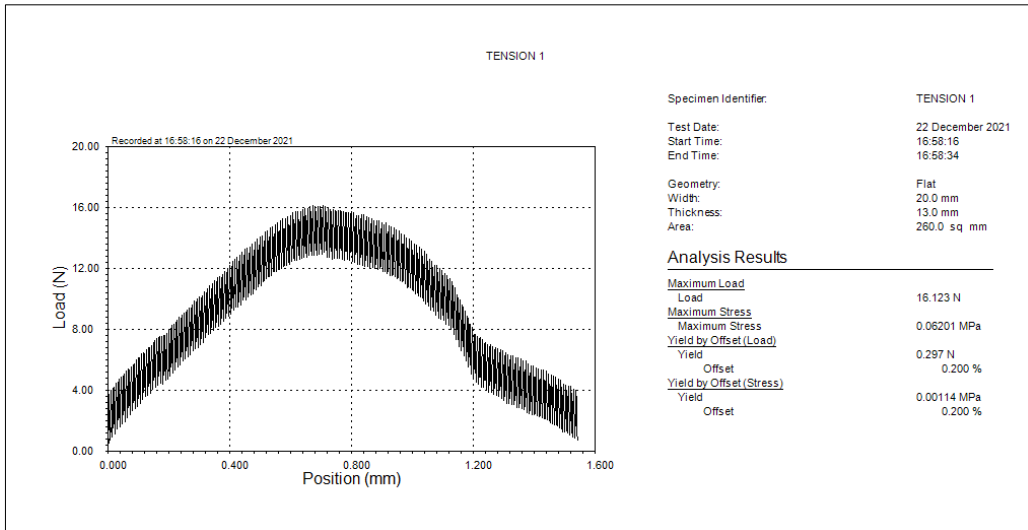


Figura 41. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 60%, ensayo 1.

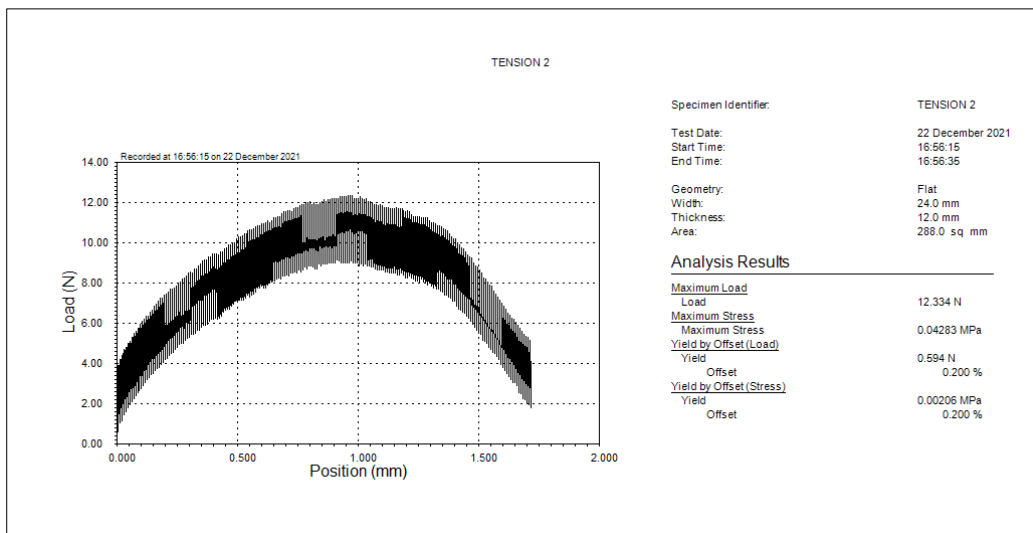


Figura 42. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 60%, ensayo 2.

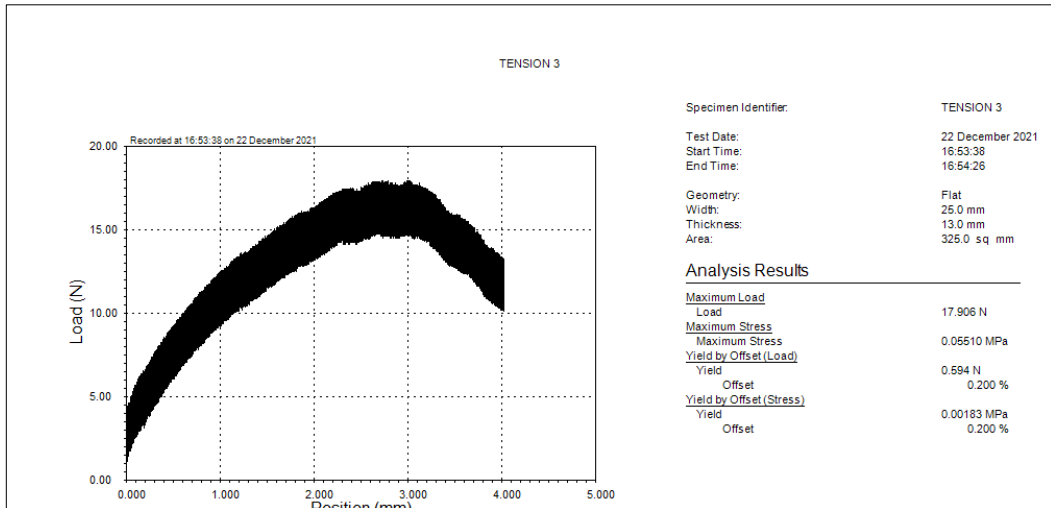


Figura 43. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 60%, ensayo 3.

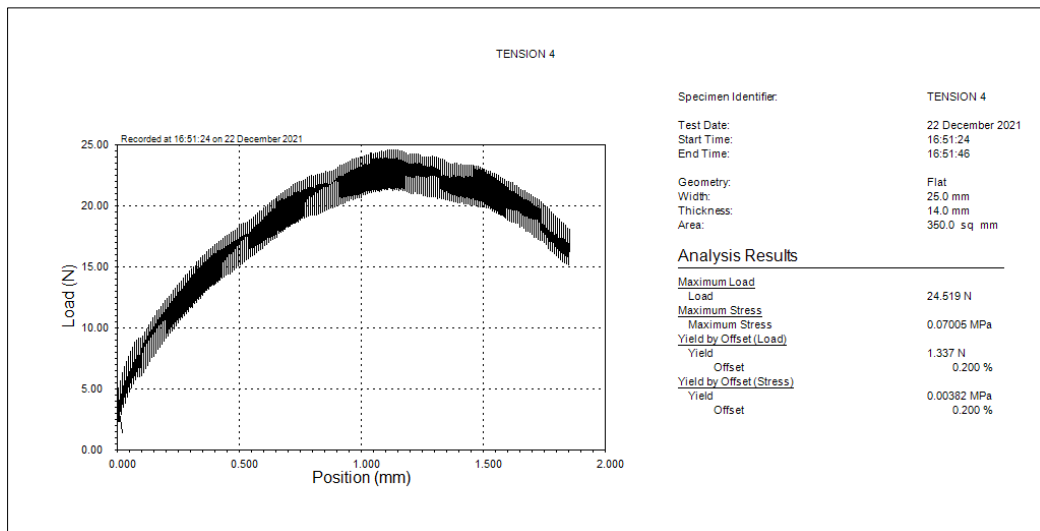


Figura 44. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 60%, ensayo 4.

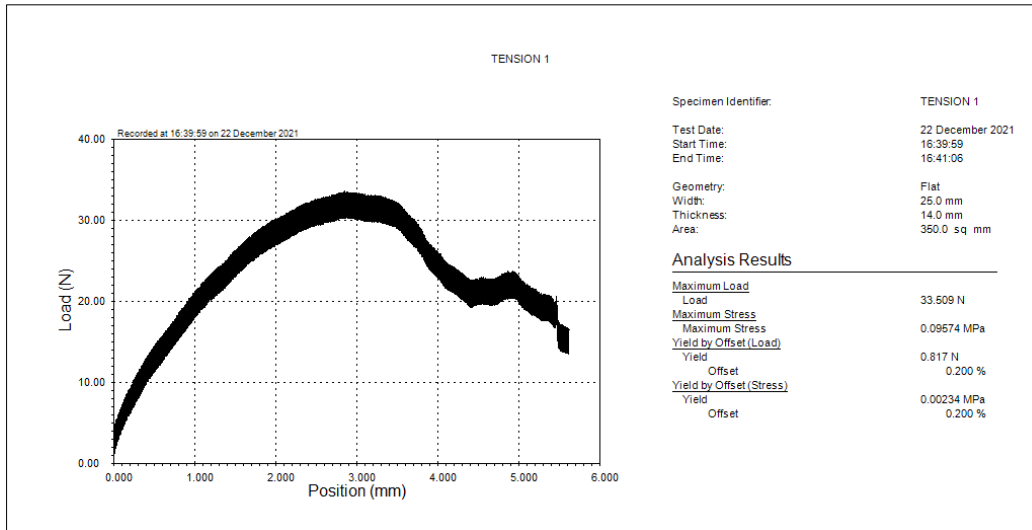


Figura 45. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 70%, ensayo 1.

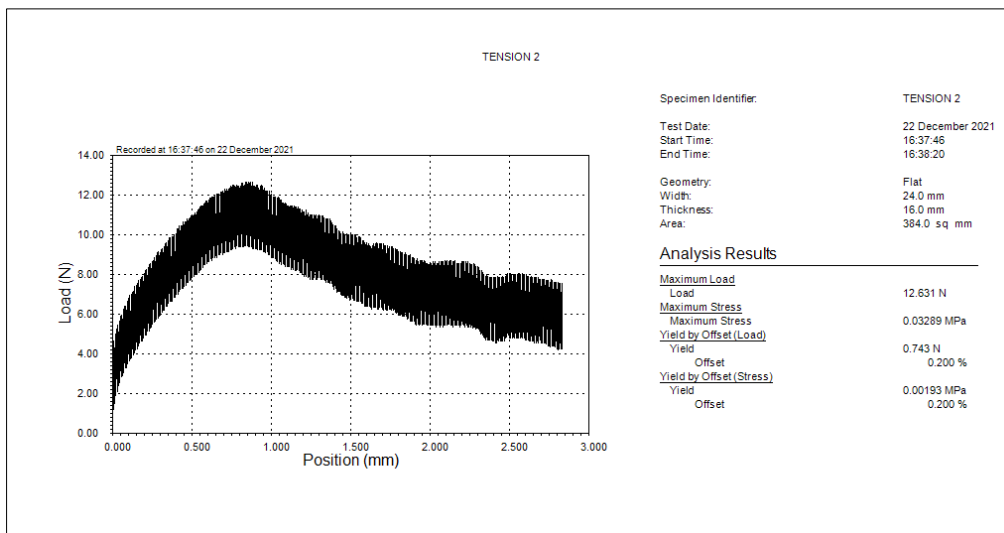


Figura 46. *Ganoderma Lucidum* en cebada al 70%, ensayo 2.

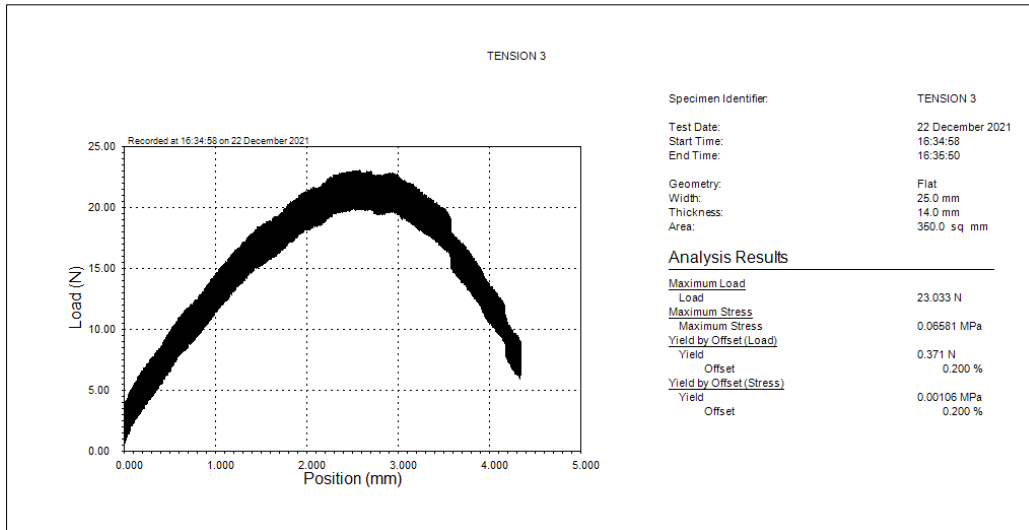


Figura 47. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 3.

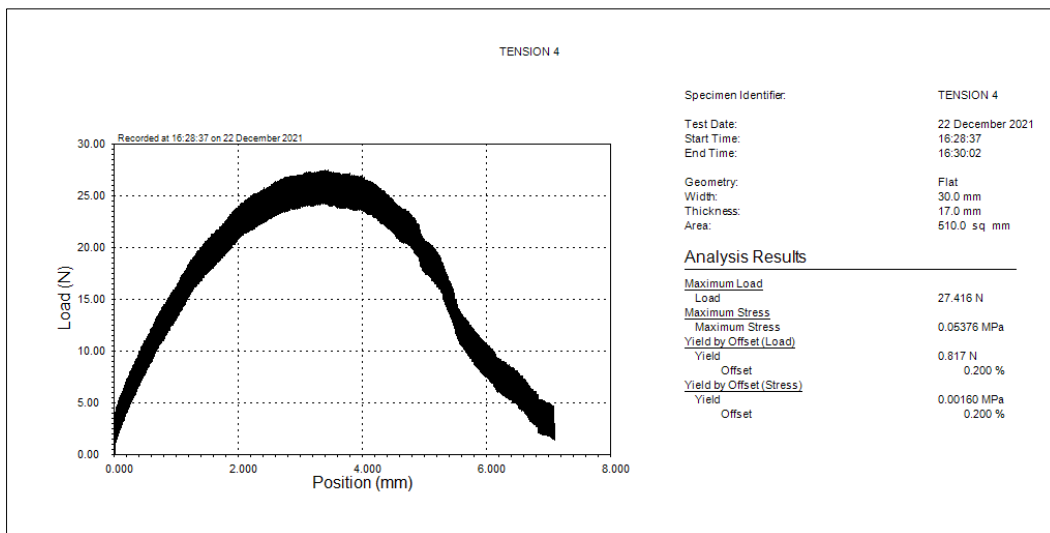


Figura 48. Ganoderma Lucidum en cebada al 70%, ensayo 4.

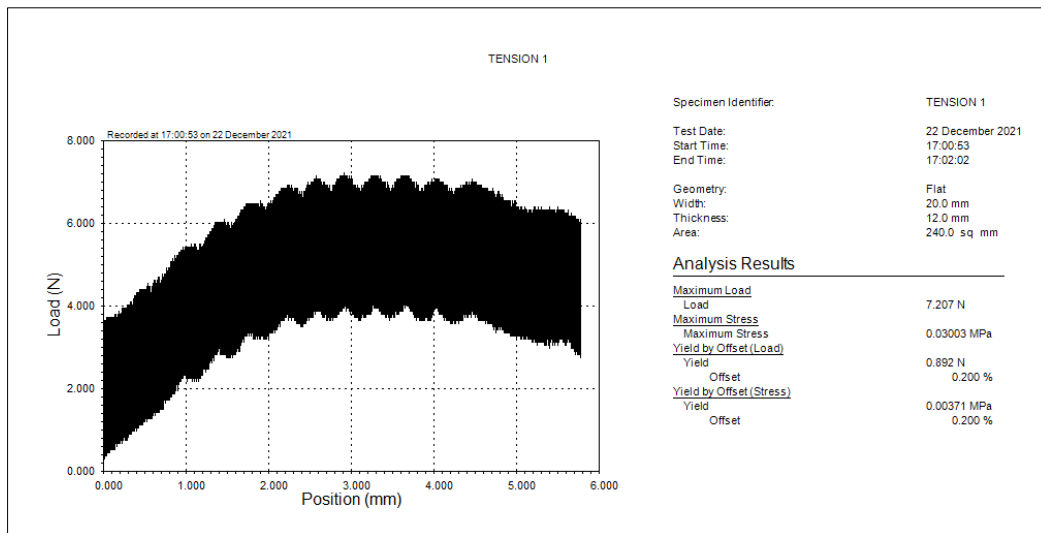


Figura 49. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 1.

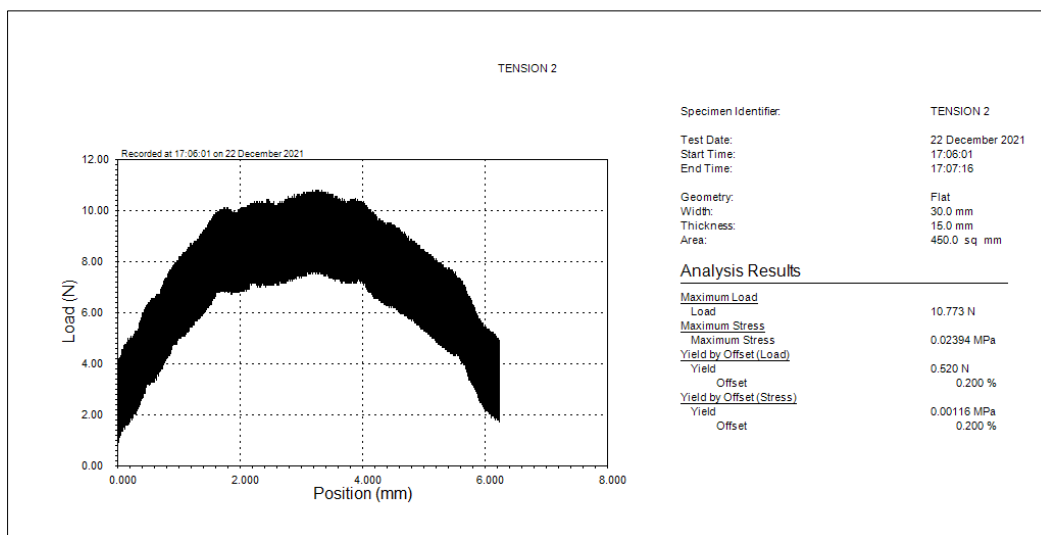


Figura 50. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 2.

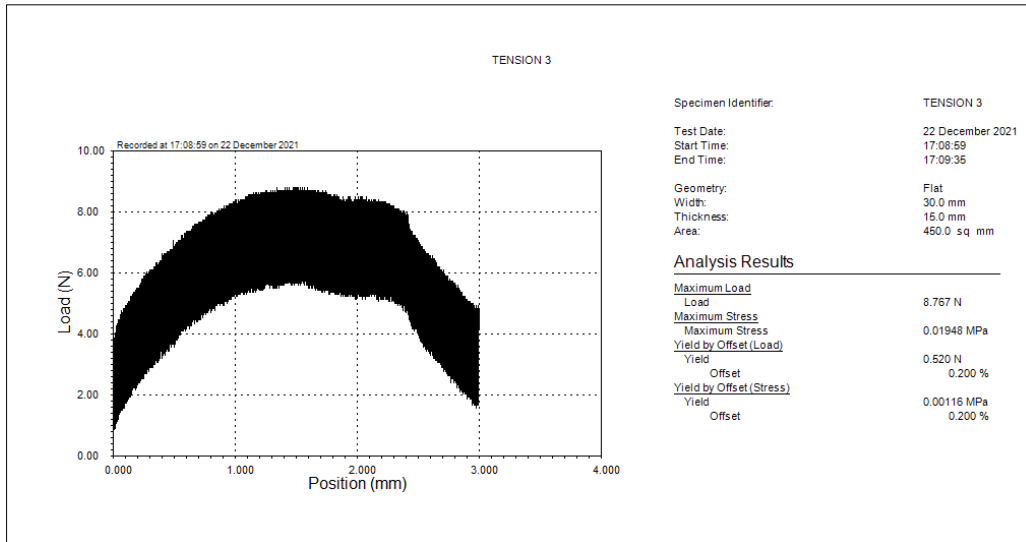


Figura 51. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 3.

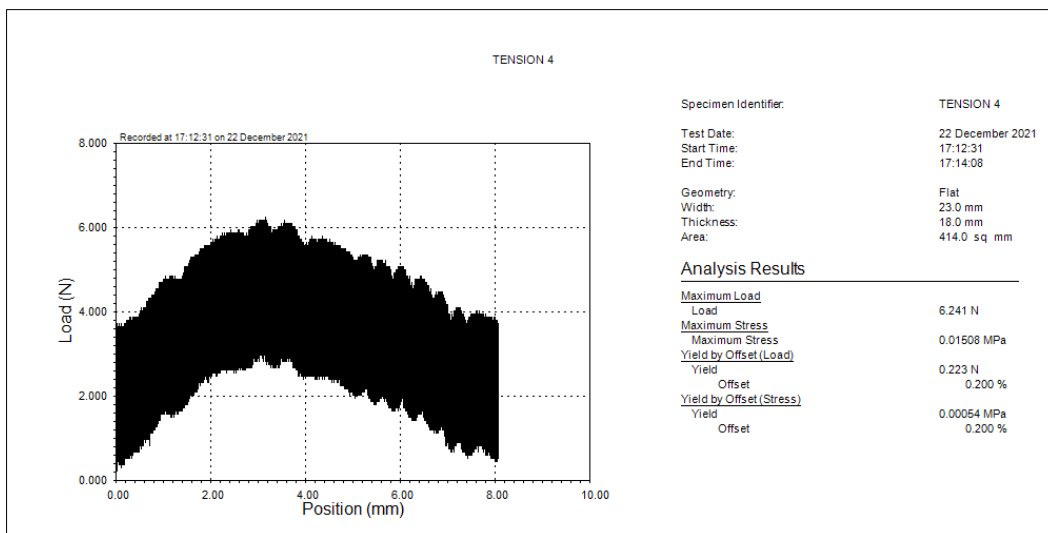


Figura 52. Ganoderma Lucidum en trigo al 50%, ensayo 4.

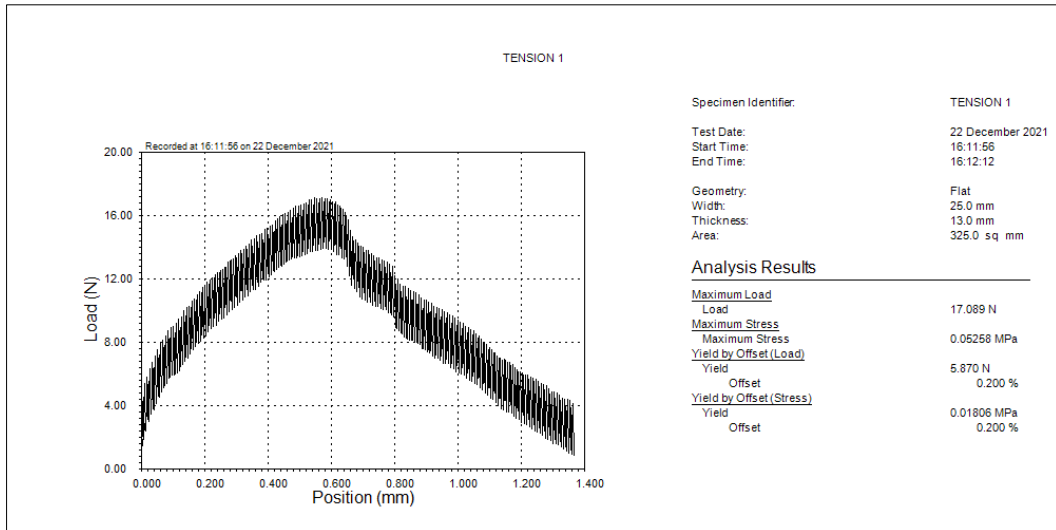


Figura 53. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 60%, ensayo 1.

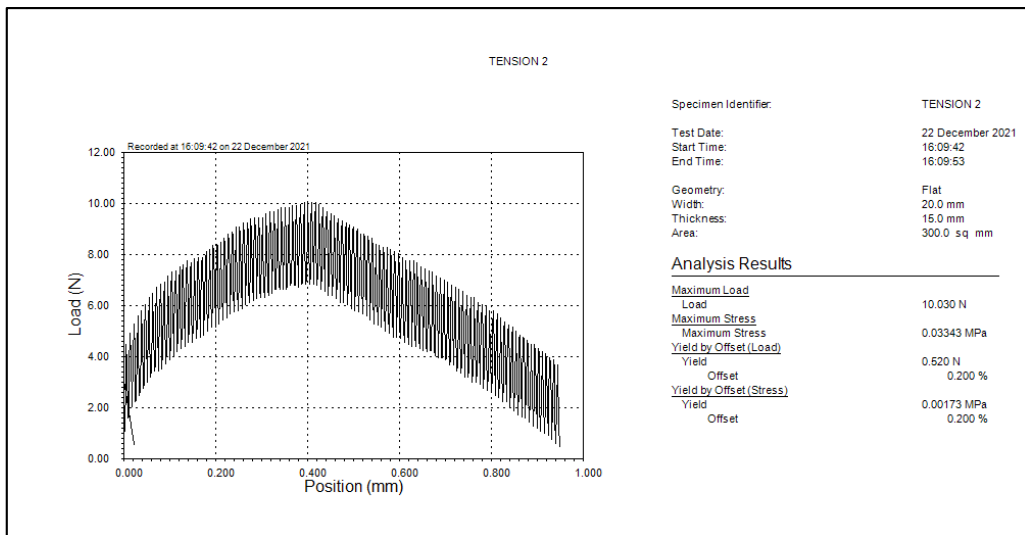


Figura 54. *Ganoderma Lucidum* en trigo al 60%, ensayo 2.

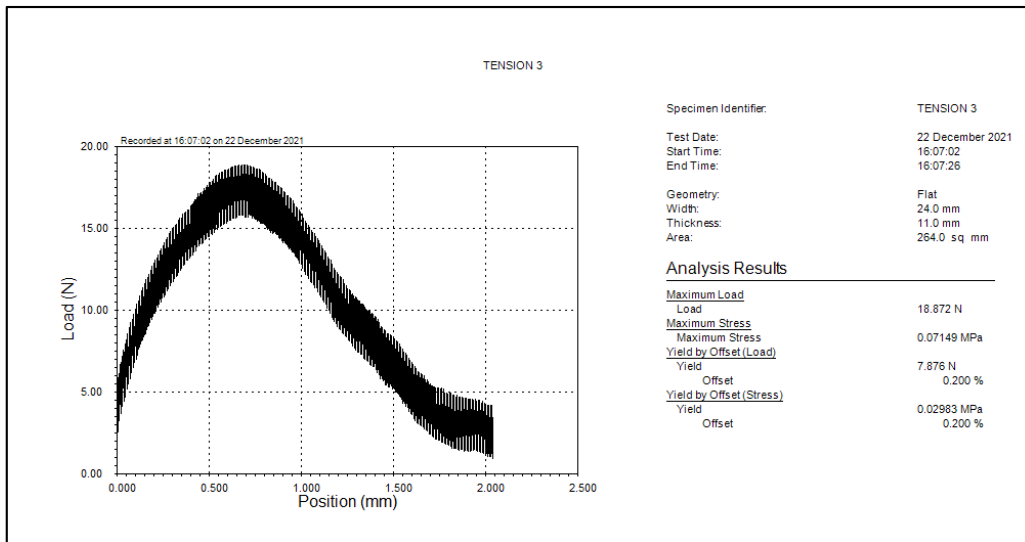


Figura 55. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 3.

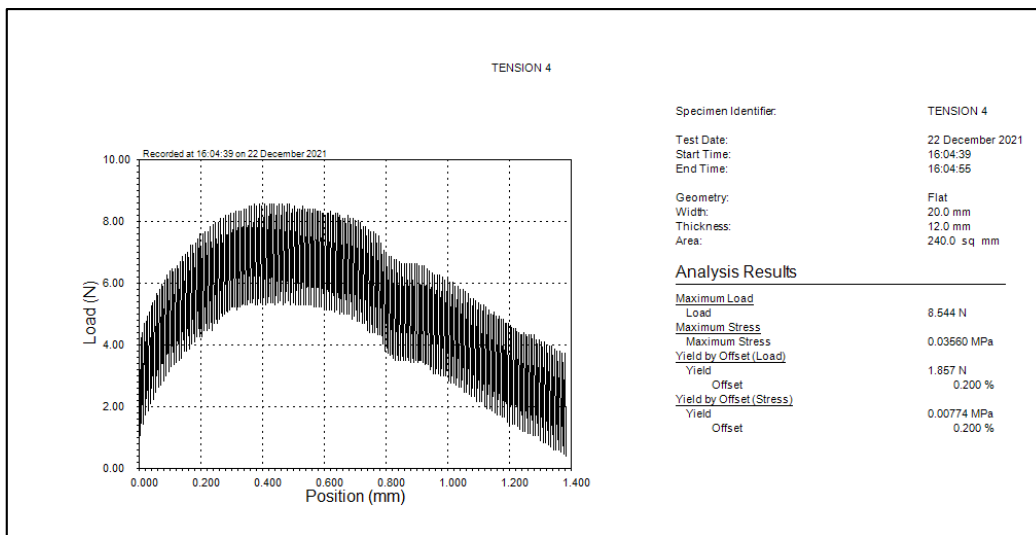


Figura 56. Ganoderma Lucidum en trigo al 60%, ensayo 4.

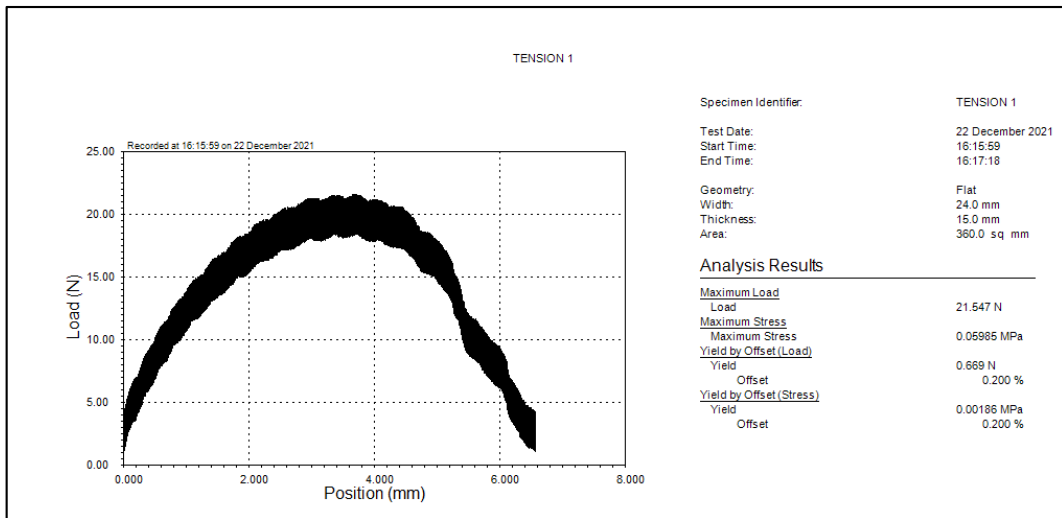


Figura 57. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 1.

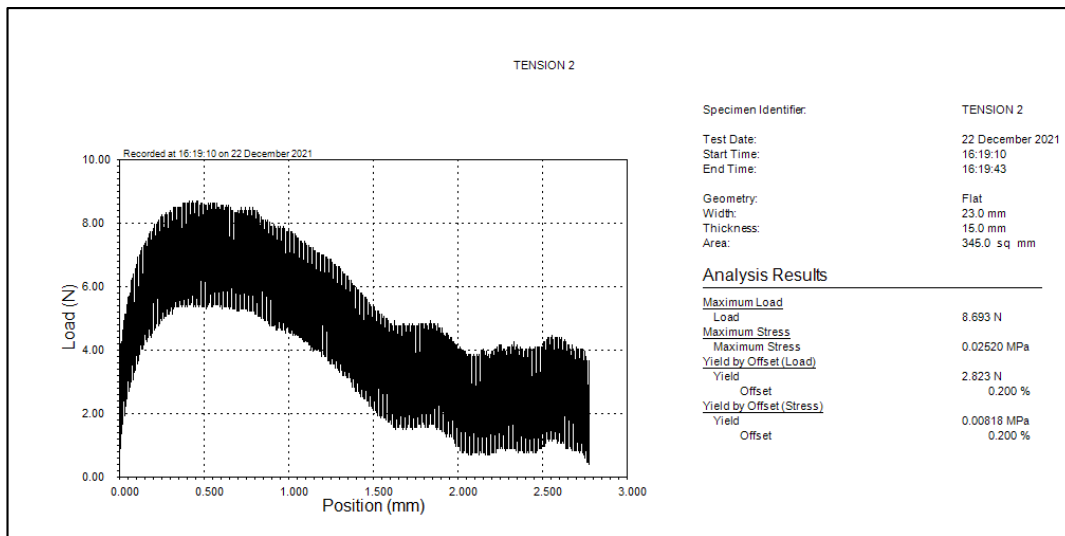


Figura 58. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 2.

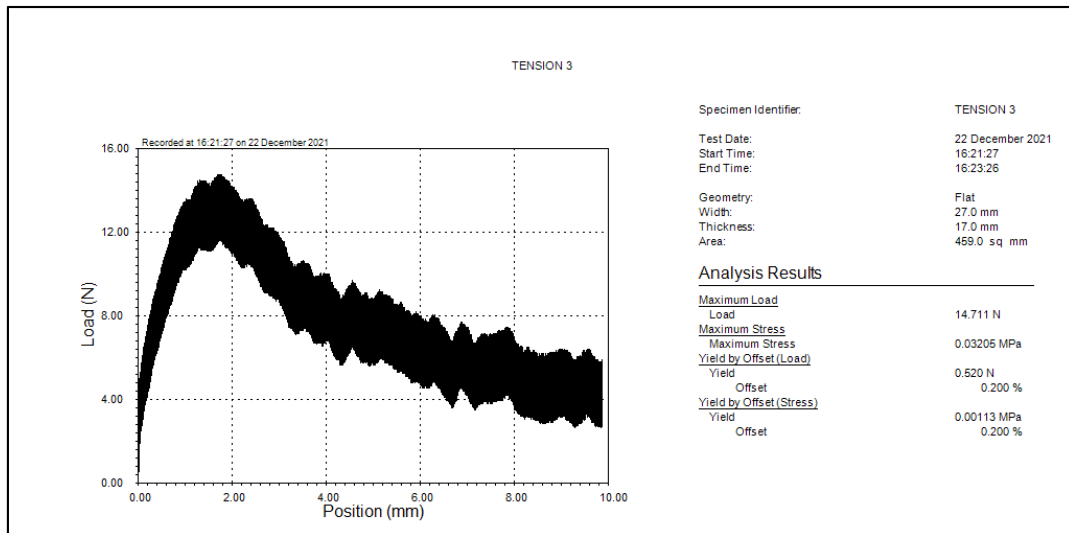


Figura 59. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 3.

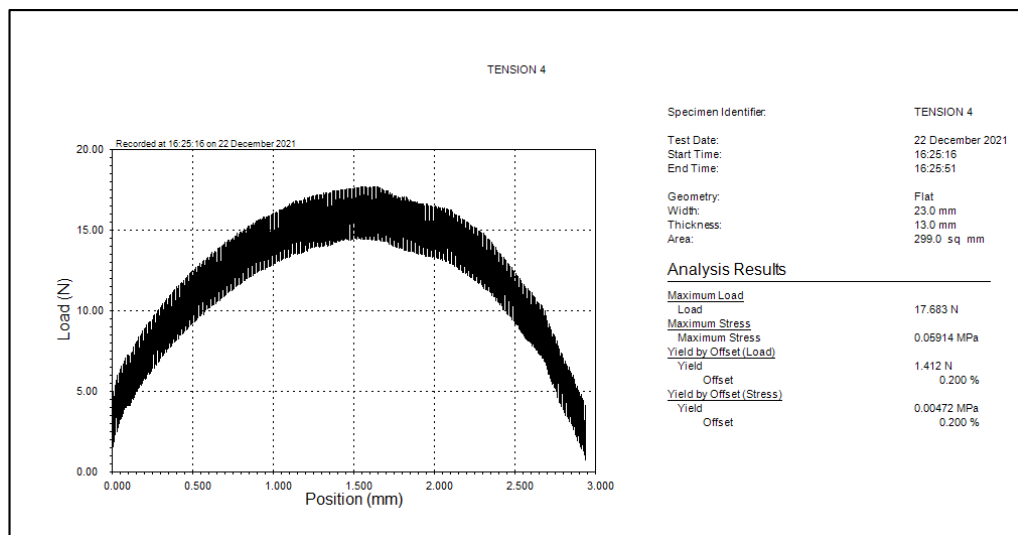


Figura 60. Ganoderma Lucidum en trigo al 70%, ensayo 4.

Anexo 3. Resultados obtenidos ASTM D 1622 (Densidad) y D 570 (Absorción de agua)



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE
MATERIALES BIODEGRADABLE

PROYECTO: Tesis: 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

SOLICITADO POR: Katherine Sinalin y David Tilusurita

LOCALIZACIÓN: Quito

FISCALIZACIÓN:

MUESTRA: Tomada por el Cliente

CONTRATISTA:

FECHA DE INGRESO: 2021/12/13

FECHA DE EMISIÓN: 2021/12/16

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1622 / ASTM D570

ORDEN DE TRABAJO: 34620

HOJA: 1 de 4

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Ensayo	14/12/2021											
Identificación	Pleurotus Ostreatus en Trigo											
Descripción	50% de Humedad				60% de Humedad				70% de Humedad			
Diámetro promedio (mm)	38,81	41,50	42,09	40,43	40,14	41,50	41,33	42,05	41,00	43,04	42,48	43,08
Altura promedio (mm)	54,56	56,04	48,69	54,06	50,04	56,36	53,35	53,79	48,75	52,13	51,56	50,19
Área (mm ²)	1182,8	1352,4	1391,6	1284,0	1265,2	1352,9	1341,8	1388,7	1320,0	1455,1	1417,3	1457,4
Volumen (mm ³)	64528	75795	67753	69416	63308	76252	71590	74705	64352	75856	73080	73151
Masa (gr)	9,460	10,336	9,373	9,287	8,852	11,440	8,938	10,017	10,083	10,700	10,840	10,784
Densidad (gr/cm ³)	0,15	0,14	0,14	0,13	0,14	0,15	0,12	0,13	0,16	0,14	0,15	0,15
Densidad promedio (gr/cm ³)	0,14				0,14				0,15			
Masa después de 2 horas de inmersión (gr)	57,430	68,713	59,850	67,158	57,377	70,167	58,754	66,490	61,404	69,260	63,044	66,152
Absorción (%)	5,07	5,65	5,39	6,23	5,48	5,13	5,58	5,64	5,09	5,47	4,82	5,13
Absorción promedio (%)	5,58				5,46				5,13			

OBSERVACIONES:

1MPa = 10,2 Kg/cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ventimilla y Av. 12 de Octubre
Teléfono: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área



Ing. Jorge Abuja, M.Sc.
Director



JESUITAS ECUADOR

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE
MATERIALES BIODEGRADABLE

PROYECTO: Tesis: 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

SOLICITADO POR: Katherine Sinalín y David Tilusanta

LOCALIZACIÓN: Quito

FISCALIZACIÓN:

MUESTRA: Tomada por el Cliente

CONTRATISTA:

FECHA DE INGRESO: 2021/12/13

FECHA DE EMISIÓN: 2021/12/16

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1622 / ASTM D570

ORDEN DE TRABAJO: 34620

HOJA: 2 de 4

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Ensayo	14/12/2021											
Identificación	Pleurotus Ostreatus en Cebada											
Descripción	50% de Humedad				60% de Humedad				70% de Humedad			
Díámetro promedio (mm)	40,64	41,42	41,15	41,35	42,60	40,74	42,33	41,73	41,64	41,39	41,00	41,36
Altura promedio (mm)	46,01	46,07	46,40	39,40	45,00	47,78	48,81	46,75	48,75	49,38	44,73	47,67
Área (mm ²)	1297,4	1347,2	1329,9	1342,9	1425,1	1303,3	1407,1	1367,9	1361,6	1345,3	1320,0	1343,5
Volumen (mm ³)	59888	62071	61709	52905	64129	62274	68403	63645	66381	66425	59041	64047
Masa (gr)	8,095	8,303	8,186	6,159	8,495	7,594	8,803	8,925	10,363	9,232	8,130	8,194
Densidad (gr/cm ³)	0,14	0,13	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,14	0,16	0,14	0,14	0,13
Densidad promedio (gr/cm ³)	0,13				0,13				0,14			
Masa después de 2 horas de inmersión (gr)	47,095	49,866	45,281	41,872	42,755	41,450	47,244	48,030	39,285	31,870	35,263	27,017
Absorción (%)	4,82	5,01	4,53	5,80	4,03	4,46	4,37	4,16	2,79	2,45	3,34	2,80
Absorción promedio (%)	5,04				4,25				2,72			

OBSERVACIONES:

1MPa = 10,2 Kg/cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Tel: 593 2 299 1529
Cél: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@pucc.edu.ec
www.puce.edu.ec

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE
MATERIALES BIODEGRADABLE

PROYECTO: Tesis: 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
SOLICITADO POR: Katherine Sinalin y David Trujillo

LOCALIZACIÓN: Quito

FISCALIZACIÓN:

MUESTRA: Tomada por el Cliente

CONTRATISTA:

FECHA DE INGRESO: 2021/12/13

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1622 / ASTM D570

FECHA DE EMISIÓN: 2021/12/16

ORDEN DE TRABAJO: 34620

HOJA: 4 de 4

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Ensayo	14/12/2021											
Identificación	Ganoderma Lucidum en Cebada											
Descripción	50% de Humedad				60% de Humedad				70% de Humedad			
Diámetro promedio (mm)	42,20	37,89	40,66	39,51	41,28	38,78	42,02	42,36	47,42	48,10	47,90	46,25
Altura promedio (mm)	47,45	46,13	49,13	44,59	48,97	46,12	47,29	45,14	51,01	48,74	48,56	46,59
Área (mm ²)	1398,4	1127,4	1298,7	1225,8	1338,6	1181,2	1366,8	1409,3	1765,8	1853,7	1802,0	1679,8
Volumen (mm ³)	66352	52309	63803	54778	65545	54470	65575	63620	90076	92299	87536	78255
Masa (gr)	10,509	7,218	8,547	7,684	8,435	7,982	10,558	10,255	20,182	17,538	14,912	16,662
Densidad (gr/cm ³)	0,16	0,14	0,13	0,14	0,13	0,15	0,16	0,16	0,22	0,19	0,17	0,21
Densidad promedio (gr/cm ³)	0,14				0,15				0,20			
Masa después de 2 horas de inmersión (gr)	14,205	11,178	12,180	11,105	11,588	11,025	13,841	13,554	25,436	21,651	18,890	20,154
Absorción (%)	0,35	0,55	0,43	0,45	0,37	0,38	0,30	0,32	0,26	0,23	0,27	0,21
Absorción promedio (%)	0,44				0,34				0,24			

OBSERVACIONES:

1MPa = 10,2 Kg/cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec


Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
Ing. Jorge Abuya, M.Sc.
Director




Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

Anexo 4. Resultados obtenidos ASTM D 1621 (Resistencia a la compresión)



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MATERIALES BIODEGRADABLES

Tesis: 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

PROYECTO:

LOCALIZACIÓN: Quito

MUESTRA: Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1621

SOLICITADO POR: Katherine Sinalin y David Titusuma

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE INGRESO: 20/11/22

FECHA DE EMISIÓN: 20/11/23

ORDEN DE TRABAJO: 34648

HOJA: 1 de 4

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Ensayo	29/12/2021											
Identificación	Pleurotus Ostreatus en Trigo											
Descripción	50% de Humedad				60% de Humedad				70% de Humedad			
Dímetro promedio (mm)	43.12	40.54	43.81	41.62	42.04	42.56	41.11	41.43	41.10	41.44	43.54	41.62
Altura promedio (mm), H	52.29	51.04	53.73	50.28	54.29	53.79	53.67	50.73	53.97	51.40	52.86	50.94
Área (mm²), A	1460.3	1290.8	1514.0	1360.2	1367.8	1422.6	1327.0	1347.8	1326.7	1348.4	1488.9	1360.5
Volumen (mm³)	76353	65882	81338	68382	75341	76516	71215	68372	71595	69309	78703	69296
Masa (gr)	8.440	8.830	9.690	8.540	8.620	10.240	10.280	9.520	9.680	10.630	10.510	9.540
Densidad (gr/cm³)	0.12	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.13	0.14
13% de la altura (mm), D	6.80	6.64	6.98	6.54	7.06	6.99	6.98	6.59	7.02	6.68	6.87	6.82
Carga a 13% de deformación de la altura (N), W	24.30	27.50	23.80	26.71	26.31	31.07	34.75	32.74	31.70	30.48	31.90	30.93
Carga promedio a 13% de deformación de la altura (N)	25,6				31,2				30,5			
Módulo de Elasticidad (Mpa), Ec	0.13	0.16	0.12	0.15	0,48	0,44	0,49	0,42	0,58	0,62	0,53	0,62
Resistencia a la compresión (Mpa)	0,017	0,021	0,016	0,020	0,062	0,057	0,064	0,054	0,077	0,080	0,068	0,081
Resistencia promedio (Mpa)	0,018				0,059				0,077			

OBSERVACIONES:


MPa = 10.2 Kg/cm²

$E_c = WH / AD$


Velocidad de ensayo = 5 mm/min

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Tel: 593 2 299 1529
Cel: 098 704 9430
Quito - Ecuador
E.M.C.-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec





Ing. Maria Inés Calvo
Responsable de Área



Ing. Jorge Aluja, M.Sc.
Director

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE
MATERIALES BIODEGRADABLES

PROYECTO: Tesis: Determinación de las Características Físicas y Mecánicas de:
Material Biodegradable obtenido con Micelios de *Pleurotus Ostreatus* y
Ganoderma Lucidum utilizando Rastrojo de Cebada y Rastrojo de
Trigo como Sustrato

SOLICITADO POR: Katherine Snalín y David Titusuma

LOCALIZACIÓN: Quito

FISCALIZACIÓN:

MUESTRA: Tomada por el Cliente

CONTRATISTA:

FECHA DE INGRESO: 2021/12/22

FECHA DE EMISIÓN: 2021/12/30

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1621

ORDEN DE TRABAJO: 34648

HOJA: 2 de 4

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Ensayo	29/12/2021											
Identificación	Pleurotus Ostreatus en Cebada											
Descripción	50% de Humedad				60% de Humedad				70% de Humedad			
Diámetro promedio (mm)	40,40	41,20	40,86	42,83	41,40	40,97	40,84	42,23	42,44	39,86	41,02	40,68
Altura promedio (mm)	45,96	46,52	49,64	46,74	50,68	46,12	46,52	48,41	48,06	43,27	48,23	48,06
Área (mm²)	1281,9	1333,2	1317,7	1440,4	1346,1	1318,3	1310,0	1400,7	1414,6	1247,5	1321,2	1299,4
Volumen (mm³)	58916	62019	65410	67325	68216	50784	60940	64998	67980	53975	63722	62469
Masa (gr)	6,530	7,310	8,230	7,760	8,500	7,130	6,800	8,540	8,330	6,830	8,760	7,990
Densidad (gr/cm³)	0,11	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,14	0,13	0,14	0,13
13% de la altura (mm)	5,97	6,05	6,45	6,08	6,59	5,99	6,05	6,03	6,25	5,62	6,27	6,25
Carga a 13% de deformación de la altura (N)	22,60	23,44	20,42	19,14	36,45	34,10	31,70	40,14	57,83	63,04	82,77	66,88
Carga promedio a 13% de deformación de la altura (N)	21,4				35,6				67,6			
Módulo de Elasticidad (Mpa), E_c	0,14	0,14	0,12	0,10	0,21	0,20	0,19	0,22	0,31	0,39	0,48	0,40
Resistencia a la compresión (Mpa)	0,018	0,018	0,015	0,013	0,027	0,026	0,024	0,029	0,041	0,051	0,063	0,051
Resistencia promedio (Mpa)	0,016				0,026				0,051			

OBSERVACIONES:

1MPa = 10,2 Kg/cm²

$E_c = W/H/AD$

Velocidad de ensayo = 5 mm/min

NOTA: Este Informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ventumilla y Av. 12 de Octubre
Tel: 593 2 299 1529
Cel: 098 704 9430
Quito - Ecuador
L.M.C-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

Ing. Jorge Abuja, M.Sc.
Director

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE
MATERIALES BIODEGRADABLES

Tesis: 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

SOLICITADO POR: Katherine Sinarin y David Titusuna

LOCALIZACIÓN: Quito

FISCALIZACIÓN:

MUESTRA: Tomada por el Cliente

CONTRATISTA:

FECHA DE INGRESO: 2021/12/22

FECHA DE EMISIÓN: 2021/12/30

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1621

ORDEN DE TRABAJO: 34648

HOJA: 3 de 4

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Ensayo	29/12/2021											
Identificación	Ganoderma Lucidum en Trigo											
Descripción	50% de Humedad				60% de Humedad				70% de Humedad			
Diámetro promedio (mm)	41,94	41,45	42,20	41,83	46,19	43,32	41,73	43,00	41,93	42,98	43,13	41,26
Altura promedio (mm)	59,17	57,38	58,10	59,82	52,95	51,65	51,99	57,04	59,04	53,55	56,59	55,43
Área (mm²)	1381,5	1349,1	1398,7	1374,2	1675,7	1473,6	1367,4	1451,9	1380,5	1450,9	1461,0	1337,1
Volumen (mm³)	81743	77410	81256	82208	88718	76109	71082	82814	81498	77693	82678	74113
Masa (gr)	10,430	7,680	8,450	10,440	11,990	11,430	9,060	13,190	11,910	10,720	11,660	11,660
Densidad (gr/cm³)	0,13	0,10	0,10	0,13	0,14	0,15	0,13	0,16	0,15	0,14	0,14	0,16
13% de la altura (mm)	7,69	7,46	7,55	7,78	6,88	6,71	6,76	7,42	7,67	6,96	7,36	7,21
Carga a 13% de deformación de la altura (H)	41,81	34,78	42,72	62,40	70,85	60,26	54,82	51,94	159,04	118,03	108,35	139,40
Carga promedio a 13% de deformación de la altura (H)	45,4				59,5				131,2			
Módulo de Elasticidad (Mpa), Ec	0,23	0,20	0,23	0,35	0,33	0,31	0,31	0,28	0,89	0,63	0,57	0,80
Resistencia a la compresión (Mpa)	0,030	0,026	0,031	0,045	0,042	0,041	0,040	0,036	0,115	0,081	0,074	0,104
Resistencia promedio (Mpa)	0,033				0,040				0,084			

OBSERVACIONES:

1MPa = 10.2 Kg/cm²

Ec = WH/AD

Velocidad de ensayo = 5 mm/min

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ventimilla y Av. 12 de Octubre
Teléfono: 593 2 299 1529
Cél: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE
MATERIALES BIODEGRADABLES

PROYECTO: Tesis: 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

SOLICITADO POR: Katherine Sinalin y David Titusuma

LOCALIZACIÓN: Quito

FISCALIZACIÓN:

MUESTRA: Tomada por el Cliente

CONTRATISTA:

FECHA DE INGRESO: 2021/12/22

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1621

FECHA DE EMISIÓN: 2021/12/30

ORDEN DE TRABAJO: 34648

HOJA: 4 de 4

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Ensayo	29/12/2021											
Identificación	Ganoderma Lucidum en Cebada											
Descripción	50% de Humedad				60% de Humedad				70% de Humedad			
Dímetro promedio (mm)	47,85	46,94	44,65	47,36	37,88	42,95	41,71	40,39	40,96	43,92	41,63	42,25
Altura promedio (mm)	48,36	39,36	46,22	38,51	50,85	52,24	48,18	48,69	57,52	49,45	49,16	52,04
Área (mm ²)	1797,9	1730,5	1565,4	1761,3	1127,0	1448,5	1366,4	1281,3	1317,7	1515,0	1361,1	1402,0
Volumen (mm ³)	86937	68148	72347	67826	57300	75662	65825	62376	75793	74917	66914	72952
Masa (gr)	15,780	10,550	12,050	10,400	10,270	11,380	9,660	10,050	9,870	9,260	10,040	11,010
Densidad (gr/cm ³)	0,18	0,15	0,17	0,15	0,18	0,15	0,15	0,16	0,13	0,12	0,15	0,15
13% de la altura (mm)	6,29	5,12	6,01	5,01	6,61	6,79	6,26	6,33	7,48	6,43	6,39	6,76
Carga a 13% de deformación de la altura (N)	46,44	44,00	42,38	43,84	99,12	106,91	103,69	102,94	103,42	93,32	112,47	181,77
Carga promedio a 13% de deformación de la altura (N)	44,2				103,7				122,7			
Módulo de Elasticidad (Mpa), E _c	0,20	0,20	0,21	0,19	0,68	0,58	0,58	0,62	0,60	0,47	0,64	1,00
Resistencia a la compresión (Mpa)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,13
Resiliencia promedio (Mpa)	0,026				0,080				0,088			

OBSERVACIONES:

1MPa = 10,2 Kg/cm²

E_c = WH / AD

Velocidad de ensayo₀ = 5 mm/min

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Veintumilla y Av. 12 de Octubre
Tel: 593 2 299 1529
Cél: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITA ECUADOR