



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

**“DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO POR MICELIO DE HONGO
(*Pleurotus ostreatus*) Y RESIDUOS DE COSECHA COMO ALTERNATIVA AL
POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)”**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Gestión sostenible y aprovechamiento de recursos naturales

Sublínea: Ambiente y Biodiversidad

AUTORA: GLORIA MARGARITA PÉREZ DÍAZ

ASESORA: MSc. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

IBARRA, DICIEMBRE– 2021



CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS

Ibarra, 8 de diciembre de 2021

Mgs. Moraima Mera Aguas

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f:)

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C. 1001743721



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f):

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721

(f):

PhD. Edmundo Rene Recalde Posso

C.C.: 1001774494

(f):

PhD. Edwin Andrés Simbaña Villarreal

C.C.: 1001832227



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Gloria Margarita Pérez Díaz, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 8 de diciembre de 2021

f): 

Gloria Margarita Pérez Díaz

C.C.: 1003832845



AUTORÍA

Yo, Gloria Margarita Pérez Díaz, portador de la cédula de ciudadanía N°1003832845, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f):

A handwritten signature in blue ink, reading 'Gloria Pérez', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Gloria Margarita Pérez Díaz

C.C.: 1003832845



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: Gloria Margarita Pérez Díaz, con CC: 1003832845, autor del trabajo de grado intitulado: “Elaboración de un material a base de micelio de hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos agroindustriales”, previo a la obtención del título profesional de Ingeniera Ambiental y Ecodesarrollo”, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, (8, diciembre 2021)

(f.) 

Gloria Margarita Pérez Díaz
C.C. 1003832845



**DECLARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ÉTICO DE LA ELABORACIÓN,
DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del Proyecto de Titulación: “Desarrollo de un material compuesto por micelio de hongo (*Pleurotus ostreatus*) y residuos de cosecha como alternativa al poliestireno expandido (EPS)”, lo propuesto en el código de Ética de la Investigación y el Aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 11 de julio de 2019.

Para Constancia firma

f):

Gloria Margarita Pérez Díaz

C.C.: 1003832845

DEDICATORIA

El presente trabajo primeramente se lo dedico a Dios, quien ha sido mi guía y mi fortaleza a lo largo de mi vida.

A mi familia, quienes han sido mi apoyo, ejemplo de dedicación, perseverancia y lucha. Sobre todo, me han acompañado de una u otra forma en todas las etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios porque me ha permitido llegar hasta donde estoy ahora, siendo mi guía y mi fortaleza en los momentos más duros de mi vida.

A mi abuelita por el amor, los cuidados, la paciencia y los valores que me ha inculcado, me han permitido convertirme en la persona que soy hoy en día.

A mi papá que me ha apoyado en cada una de mis etapas estudiantiles, gracias a su preocupación por convertirme en una profesional de bien.

A mis tíos que han sido un gran apoyo en mi vida, gracias a su ejemplo y cariño, me impulsaron a ser mejor cada día. Sobre todo, porque son como mis segundos padres a los cuales les estoy muy agradecida.

A David, mi cómplice, compañero y mejor amigo, a quien le agradezco por la motivación y el apoyo brindado durante todo este tiempo. Sobre todo por acompañarme en este proceso de realización de mi investigación.

A mi tutora la Doctora Moraima Mera a quien le agradezco por su paciencia y tiempo empleados en asesorar este proyecto. Sobre todo, por su calidez y apoyo brindado en este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	ii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	iii
AUTORÍA.....	iv
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN.....	v
DECLARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ÉTICO DE LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO II.....	6
OBJETIVOS	6
CAPÍTULO III.....	7
ESTADO DEL ARTE.....	7
3.1. Contaminación ambiental producida por plásticos	7
3.2. Poliestireno.....	8
3.2.1. Poliestireno Cristal:.....	8

3.2.2. Poliestireno de Alto impacto:.....	8
3.2.3. Poliestireno Espumado mediante extrusión:	8
3.3. Poliestireno expandido.....	8
3.3.1. Propiedades físicas del poliestireno expandido	9
3.3.2. Propiedades mecánicas del poliestireno expandible	9
3.4. Empleo de poliestireno en la industria.....	10
3.5. Incidencias negativas del poliestireno al medio ambiente	11
3.6. Alternativas al poliestireno expandido.....	12
3.7. Aplicaciones novedosas basadas en micelio de hongos	13
3.8. Las setas	14
3.9. Generalidades de <i>Pleurotus ostreatus</i>	15
3.9.1 Clasificación taxonómica de <i>Pleurotus ostreatus</i>	15
3.9.2. Morfología	16
3.9.3. Cultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	16
3.10. Residuos agroindustriales y su aprovechamiento	17
3.11. Bagazo de caña de azúcar (<i>Sacharum officinalis</i>)	18
3.12. Tamo de trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	18
3.13. Características generales del sustrato como medio de crecimiento micelial	19
CAPÍTULO IV.....	20
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	20
4.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
4.1.1. Materiales.....	20
4.1.2. Equipos de laboratorio	20

4.1.3. Reactivos.....	21
4.1.4. Materia prima	21
4.2. Métodos.....	21
4.2.1 Elaboración de un material a base de micelio del hongo (<i>Pleurotus ostreatus</i>) y sustratos agrícolas	21
Preparación de sustratos.....	22
Caracterización de los sustratos	23
4.2.2 Realización de pruebas físico-mecánicas a los materiales obtenidos	29
Pruebas físicas.....	29
Pruebas mecánicas	30
4.2.3. Comparación de resultados obtenidos en las pruebas físico-mecánicas con un modelo estadístico.....	33
CAPÍTULO V.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1. Elaboración de un material a base de micelio del hongo (<i>Pleurotus ostreatus</i>).....	34
pH.....	34
Humedad	35
Proteínas.....	36
Minerales (Calcio).....	37
Fibra	37
5.2. Realización de pruebas físico-mecánicas a los materiales obtenidos	38

5.2.1. Propiedades físicas	38
5.2.2. Pruebas mecánicas	40
5.3. Comparación de los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas mediante el uso de un modelo estadístico.....	41
5.3.1. Densidad.....	41
Absorción de agua.....	44
Flexión	46
Compresión	49
Dureza	51
5.3 Socialización de resultados	54
CAPÍTULO VI.....	55
CONCLUSIONES	55
CAPÍTULO VII	57
RECOMENDACIONES.....	57
CAPÍTULO VIII.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Formulación de sustratos para el cultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	22
Tabla 2 Detalle del número de probetas elaboradas por tratamiento	28
Tabla 3 Diseño experimental que evalúa las propiedades físico- mecánicas del material a base de micelio de hongo y sustratos orgánicos	33
Tabla 4 Evaluación del pH en los sustratos (T1, T2, y T3)	34
Tabla 5 Porcentaje de humedad en de los sustratos	35
<i>Tabla 6 Porcentaje proteína y nitrógeno para S1, S2 y S3</i>	36
Tabla 7 Concentración de calcio presente en los sustratos (S1, S2 y S3).....	37
Tabla 8 Porcentaje de fibra (%), en sustratos.....	38
Tabla 9 Propiedades físicas: densidad y absorción de agua del biomaterial	39
Tabla 10 Evaluación de las pruebas mecánicas: Flexión, Compresión y Dureza.....	40
Tabla 11 Prueba de Normalidad del factor densidad	41
Tabla 12 Análisis de varianza de la evaluación de la densidad de los materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.	42
Tabla 13 Prueba de Normalidad.....	44
Tabla 14 Análisis de varianza de la evaluación de absorción de agua de los de materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.	45
Tabla 15 Prueba de Normalidad.....	46

Tabla 16 Análisis de varianza de la evaluación de la flexión de los materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.	47
Tabla 17 Prueba de Normalidad.....	49
Tabla 18 Análisis de varianza de la evaluación de la compresión de los materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.	50
Tabla 19 Prueba de Normalidad.....	52
Tabla 20 Análisis de varianza de la evaluación de la resistencia de los materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.	52
Tabla 21. Resultados de las propiedades físicas de densidad y humedad de los tratamientos	70
Tabla 22. Evaluación de las pruebas mecánicas: Flexión, Compresión y Dureza.....	71
Tabla 23 Costos de producción del material obtenido como alternativa al poliestireno.	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes principales de un hongo	14
Figura 2. Ubicación del micelio de <i>Pleurotus ostreatus</i> cultivado en madera.	17
Figura 3. Preparación y formulación de sustratos	23
Figura 4. Determinación del contenido de calcio en los sustratos	26
Figura 5. Proceso de incubación de los tratamientos	27
Figura 6. Probetas elaboradas bajo la normativa ASTM	28
Figura 7. Horneado de probetas	29
Figura 8. Ensayo de humedad por 24 horas	30
Figura 9. Análisis de la resistencia a la compresión de los biomateriales	31
Figura 10. Ensayo de resistencia a la flexión a los tratamientos.	32
Figura 11. Ensayo de dureza a los tratamientos	32
<i>Figura 12.</i> Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de densidad	43
Figura 13. Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de absorción de agua.	45
<i>Figura 14.</i> Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de flexión	48
Figura 15. Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de compresión.	50

Figura 16. Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de dureza.	53
Figura 17. Medición de impacto de la investigación	54
Figura 18. Preparación y formulación de sustratos	67
Figura 19. Elaboración de probetas y secado del bio material	67
Figura 20. Prueba física de absorción de agua.....	68
Figura 21. Pruebas mecánicas de flexión y tracción en los laboratorios de la PUCE	68
Figura 22. Resultado de la prueba de resistencia a la flexión para el tratamiento 1 (Bagazo de caña de azúcar).....	72
Figura 23. Resultado de la prueba de resistencia a la flexión del tratamiento 2 (Tamo de trigo).....	73
Figura 24. Resultado de la prueba de resistencia a la flexión del tratamiento 3 (Combinación de bagazo de caña de azúcar y tamo de trigo).....	74
Figura 25. Resultado de la prueba de resistencia a la compresión para el tratamiento 1 (Bagazo de caña de azúcar).....	75
Figura 26. Resultado de la prueba de resistencia a la compresión del tratamiento 2 (Tamo de trigo).....	76
Figura 27. Resultado de la prueba de resistencia a la compresión del tratamiento 3 (Combinación de bagazo de caña de azúcar y tamo de trigo).....	77
Figura 28. Normativa ASTM D 570 para absorción de agua	78

Figura 29. Normativa ASTM D1621 para realizar la prueba de resistencia a la compresión.	79
Figura 30. Normativa ASTM C203 para realizar la prueba de resistencia a la flexión.	80
Figura 31. Normativa ASTM D2240 para la prueba de dureza	81
Figura 32. Normativa ASTM D2240 de Especificación estándar para aislamiento térmico rígido de poliestireno	82
Figura 33. Invitación a la socialización del trabajo de investigación	83
Figura 34. Lista de asistentes a la socialización	84
Figura 35. Resultados de la encuesta de satisfacción	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Elaboración de un material a base de sustratos orgánicos y micelio de hongo ...	67
Anexo 2. Realización de pruebas físico- mecánicas a los biomateriales y testigo	68
Anexo 3. Determinación de nitrógeno y proteína en los sustratos	69
Anexo 4. Resultados de las propiedades físicas de densidad y humedad de los tratamientos	70
Anexo 5. Resultados de las pruebas mecánicas: Flexión, Compresión y Dureza	71
Anexo 6. Resultados de las pruebas físicas realizadas en los laboratorios de la PUCE.....	72
Anexo 7. Normativa aplicada para la elaboración de probetas y realización de las pruebas físico mecánicas.	78
Anexo 8. Socialización	83
Anexo 9. Cuestionario de la socialización de la investigación.	84
Anexo 10. Participantes a la socialización de la investigación	85
Anexo 11. Análisis de la tabulación de los resultados de la socialización de la investigación.	86
Anexo 12. Costo de producción del material a base de micelio de hongo y residuos orgánicos	87

RESUMEN

El consumo de plásticos convencionales ocasiona graves problemas ambientales debido a sus características no biodegradables. Es así que el poliestireno es un componente mayoritario de la basura urbana y desechos marinos. Por lo que el objetivo de este trabajo fue desarrollar un material ecológico con fines de embalaje elaborado a partir del micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* desarrollado en residuos orgánicos agroindustriales. Considerando que el uso de micelio de hongos es una solución novedosa y efectiva en costos a gran escala, sobre todo amigable con el ambiente y se ajusta a los principios de economía circular y consumo sostenible. Es así que se desarrollaron tres alternativas empleando residuos de: bagazo de caña y tamo de trigo, solos y en mezcla. Se prepararon los sustratos, esterilizaron e inocularon con micelio del hongo y se incubaron durante 20 días; se realizaron probetas según especificaciones de las normas ASTM.

Los biomateriales obtenidos se sometieron a pruebas físicas y mecánicas: densidad, absorción de agua, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, y dureza. Al analizar estadísticamente los resultados se observaron diferencias significativas en los tratamientos, en las propiedades físicas de densidad y absorción de agua, siendo el tratamiento T2 y T1 respectivamente, los que mejores características presentaron, sin embargo, no cumplen con la normativa ASTM 578-04 para el poliestireno expandido tipo XI. En la prueba de resistencia a la flexión las tres alternativas (T1, T2, T3 y T4) presentaron diferencias significativas. En la prueba de resistencia a la compresión se obtuvo que el T1 y T3 son similares a la testigo T4, con 35 MPa, dado que, no existe diferencias entre estos tratamientos. En el análisis de dureza el tratamiento T2 no presenta diferencias con el T4.

Los materiales obtenidos demostraron ser un posible reemplazo del poliestireno en ciertas aplicaciones como embalaje para artículos de pequeño y mediano peso. Más allá de eso, al ser esencialmente una reconversión de desechos agroindustriales, lo convierte en una estrategia moderna de aplicación ingenieril al servicio de la sociedad.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus*, residuos agroindustriales, materiales biodegradables, poliestireno expandible

ABSTRACT

The consumption of conventional plastics causes serious environmental problems due to their non-biodegradable characteristics. Thus, polystyrene is a major component of urban garbage and marine debris. Therefore, the objective of this work was to develop an ecological material for packaging purposes made from the mycelium of the *Pleurotus ostreatus* fungus developed in agro-industrial organic waste. Considering that the use of mushroom mycelium is a novel, effective and cost-effective solution on a large scale, above all environmentally friendly and conforms to the principles of circular economy and sustainable consumption. Thus, three alternatives were developed using residues of: cane bagasse and wheat chaff, alone and in a mixture. Substrates were prepared, sterilized and inoculated with mycelium of the fungus and incubated for 20 days; test pieces were made according to the specifications of the ASTM standards.

The biomaterials obtained were subjected to physical and mechanical tests: density, water absorption, flexural strength, compressive strength, and hardness. When statistically analyzing the results, significant differences were observed in the treatments, in the physical properties of density and water absorption, being the treatment T2 and T1 respectively, the ones that presented the best characteristics, however they do not comply with the ASTM 578-04 standard for type XI expanded polystyrene. In the flexural strength test the three alternatives (T1, T2, T3 and T4) showed significant differences. In the compressive strength test, it was obtained that T1 and T3 are similar to the control T4, with 35 MPa, since there are no differences between these treatments. In the hardness analysis, treatment T2 does not show differences with T4.

The materials obtained proved to be a possible replacement for polystyrene in certain applications such as packaging for small and medium-weight items. Beyond that, being essentially a reconversion of agro-industrial waste, it makes it a modern strategy of engineering application at the service of society.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, agro-industrial waste, biodegradable materials, expandable polystyrene

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El empleo de polímeros en la última década ha presentado a nivel mundial una crisis ambiental debido a las altas cantidades de material desechado y, de los cuales el reciclaje es mínimo. Uno de ellos es el Poliestireno Expandido (EPS), que se usa comúnmente para empaque de electrodomésticos, embalaje de alimentos, aislante térmico o acústico. El consumo a nivel global de EPS en aplicaciones de embalaje, a partir del 2017 representa el 35% de la demanda; excediendo así los 3 millones de toneladas con un incremento del 6% anual, (Peña, 2018).

Por otro lado, al no separar el EPS de la fuente para su reciclado, el porcentaje de recuperación es apenas del 12 %, en relación con los demás residuos reciclables, como el vidrio, el papel y el cartón los cuales provienen de diferentes sectores industriales y domésticos (López y Pérez, 2019).

Por lo tanto, al no ser biodegradable, su eliminación trae dificultades, al momento de la contención y destino final, porque tiende a acumularse. Su baja densidad afecta al costo de transporte, el cual es elevado, y lo convierte en un desecho, y no en un elemento a reciclar. En un relleno sanitario el EPS, actúa como una barrera impermeable que inhibe la activación microbiana, obstruyendo la radiación solar hacia los desechos comunes depositados (Terán, 2017); afectando la descomposición natural de los desechos orgánicos, y de este modo se extiende su ciclo de vida por ralentización del proceso biológico, lo que disminuye la capacidad de almacenamiento en este lugar.

A pesar que las cantidades de poliestireno que se desechan son menores en comparación al plástico; Ocles (2017) menciona que este material causa daños cuando ingresa en los ecosistemas acuáticos, provocando bloqueos letales en la fauna acuática; también las propiedades absorbentes del poliestireno, lo hacen actuar como una esponja que recoge y concentra contaminantes dañinos que hay en el océano.

En Ecuador la falta de políticas que conduzcan a la reducción o reciclaje de materiales que generen contaminación para el ambiente en el post-consumo, hipotéticamente, sería una de

las causas de los incongruentes hábitos de consumo de la sociedad; también la inexistencia de un mercado para el EPS, desinterés de las empresas por reciclarlo y/o el pago exiguo por este (Terán, 2017).

Las actividades agrícolas son vulnerables a los efectos del cambio climático, pero también, son las responsables del 11% de emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico a nivel global (Calderón, et al., 2017). Una de las más significantes es la descomposición de los residuos orgánicos de los cultivos.

Según el INEC (2020), los residuos recolectados de forma diferenciada fueron 1.948 toneladas diarias de los cuales el 66,9 % correspondieron a residuos inorgánicos. Por lo tanto, en nuestro país es necesario implementar soluciones y tecnologías que optimicen procesos, mejoren los sistemas, den paso a nuevos productos e implementen guías de buenas prácticas. La innovación debe estar enfocada en la sustentabilidad de los procesos productivos que contaminan el suelo, agua y aire. De acuerdo a Bravo y Arroyo (2017) esta alternativa viable es el ecodiseño o la economía circular, con la creación de nuevos productos amigables con el ambiente.

Con la premisa del uso eficiente de los residuos, que son elementos básicos para el desarrollo del cultivo de *Pleurotus ostreatus*. El empleo de hongos en la industria ha venido creciendo en los últimos años. Se han desarrollado materiales compuestos a partir de hongos, los cuales presentan buenos resultados en sus propiedades mecánicas, uno de los casos más destacados es el de la empresa Ecovative, que desarrolló un material a partir de desechos agrícolas y micelio de champiñón. Cuyo material es empleado por Dell para empaquetar ordenadores (Ecovative, 2016).

En la actualidad, Ecuador realiza una producción significativa de hongos como *Pleurotus ostreatus*, como alimento, sin embargo, el hongo posee otras cualidades que permiten aprovechar su micelio para otros fines industriales.

La importancia de realizar esta investigación radica en la creación de alternativas de producción más limpia y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales; de esta manera cumplir con las políticas ambientales del Ecuador, (CODA, 2017) en el “Art. 5 en el inciso doce, hace referencia a la implementación de planes, programas, acciones y medidas

de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas.”

En este contexto, se buscó el desarrollo de materiales sostenibles que puede ser empleados como alternativa a los materiales poliméricos sintéticos empleados por lo general para el embalaje de productos, y así, reducir el impacto ambiental del poliestireno expandible e implementar el uso de productos alternativos que permitan cumplir con políticas ambientales internas. Mejorando el uso de los recursos y aportando un valor agregado a los productos o servicios, al mismo tiempo, se tiene sostenibilidad ambiental, se lucha contra el cambio climático y se obtiene bienestar socioeconómico para las generaciones presentes y futuras.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Crear un material, compuesto por micelio de hongo (*Pleurotus ostreatus*) y residuos orgánicos como alternativa al poliestireno expandido.

2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un material de embalaje para uso industrial a base de micelio del hongo (*Pleurotus ostreatus*) en tres sustratos orgánicos.
- Realizar pruebas físico-mecánicas a los materiales obtenidos como alternativos y al poliestireno expandido de uso comercial, utilizando pruebas estandarizadas.
- Comparar los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas mediante el uso de un modelo estadístico.
- Socializar la investigación a estudiantes, docentes de la PUCE-SI y personas interesadas en la investigación.

HIPÓTESIS

Hipótesis alternativa (H_a)

H₁= Los materiales elaborados a base de micelio de hongo y residuos lignocelulósicos cumplen con las propiedades mecánicas para reemplazar al EPS.

Hipótesis nula (H₀)

H₀= Los materiales elaborados a base de micelio de hongo y residuos lignocelulósicos no cumplen con las propiedades mecánicas para reemplazar al EPS.

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Contaminación ambiental producida por plásticos

El calentamiento global es un fenómeno que nos involucra a todos los humanos en el planeta; el efecto invernadero es producto de gases como: el metano, el anhídrido carbónico metano y el óxido nitroso, siendo el Dióxido de carbono el responsable del 70% de este efecto, estos gases son generados por las actividades humanas en especial de las grandes metrópolis, debido a la existencia de grandes industrias, los diferentes medios de transporte y el mal manejo de los residuos sólidos (Barboza, 2013).

El planeta tierra por naturaleza tiene la capacidad de auto regenerarse y así poder contrarrestar la contaminación mundial; sin embargo, la población humana en su afán de mejorar su nivel de vida, ha deteriorado el ambiente a partir de la destrucción de sus cuencas hídricas y diversidad biológica, a esto sumada la explotación masiva y transformación de minerales, cuyos productos (como los plásticos) en su mayoría terminarán acumulados en dichos espacios a manera de basuras, interviniendo de esta manera en los procesos biogeoquímicos del planeta (Barboza, 2013).

Cada año se producen 380 millones de toneladas de plástico, cifra que puede incrementarse cada año debido al crecimiento poblacional por ende crece su consumo, y del mismo modo, está muy lejos de ser amigable con el medio ambiente. Pero lo preocupante de acuerdo a (Rivas, 2019), es que para los próximos años se espera que la industria del plástico eleve esta cifra, superando los 700 millones de toneladas de plásticos producidas alrededor del mundo.

Y lo más lamentable es que sólo 9% de este material se ha reciclado y 12 % ha sido incinerado, a pesar de las complicaciones ambientales que esto conlleva. Existen datos que afirman que, el 79 % del plástico producido desde 1950 terminó en rellenos sanitarios, sin ningún tipo de valorización o recuperación. Siendo este es el verdadero problema; por mencionar un ejemplo, una bandeja de poliestireno puede tardar 500 años en degradarse, lo

que ocasiona que la acumulación de plástico desechado en el ecosistema sea un problema cada vez mayor (Godínez et al., 2016; Rivas, 2019).

3.2. Poliestireno

El poliestireno (PS) es un polímero lineal, termoplástico de origen hidrocarbúrico cuyo monómero base es el estireno. El estireno es un alqueno líquido formado por un anillo bencénico unido en posición alílica al grupo etilénico ($C_6H_5CH=CH_2$). A partir de este se obtiene el poliestireno. Este polímero puede ser sintetizado por diferentes métodos y copolimeriza con algunos monómeros, produciendo varios materiales con una aplicación en la industria (Gilberto y Perdomo, 2002). Existen cuatro tipos principales:

3.2.1. Poliestireno Cristal:

Denominado también poliestireno de uso general (GPPS General Purpose Polystyrene, siglas en inglés) es el producto de la polimerización del estireno puro. Es un sólido transparente, frágil y duro. Vítreo por debajo de 100 °C y por encima de esta temperatura es fácilmente procesable y se le puede dar múltiples formas (CIT, 2011).

3.2.2. Poliestireno de Alto impacto:

Para obtener un material con mejor resistencia mecánica, se añade en la polimerización hasta un 14% de caucho (por lo general polibutadieno). El resultado es poliestireno de alto impacto (HIPS, High Impact Polystyrene). No es quebradizo y capaz de soportar impactos sin romperse. Su inconveniente principal es su opacidad (CIT, 2011).

3.2.3. Poliestireno Espumado mediante extrusión:

A partir de poliestireno cristal fundido mediante inyección de gas, se puede obtener una espuma rígida denominada poliestireno extrudado (XPS). Sus propiedades son similares a las del EPS, pero este presenta burbujas cerradas, por lo que puede mojarse sin perder sus propiedades aislantes (CIT, 2011).

3.3. Poliestireno expandido

El EPS se prepara a partir de la polimerización del estireno (95%) en presencia pentano (5%) que actúa como agente expansor, produciendo expansión en la masa polímera en forma de

burbujas, que reducen la densidad del material. (Gilberto y Perdomo, 2002; Foronda y Palacios, 2017; CIT, 2011).

Lo podemos ver como embalaje de electrodomésticos, bandejas para alimentos, cajas de medicamentos, planchas aislantes de ruido y otros diversos usos.

Sus características son: baja conductividad térmica, baja densidad, resistencia a humedad y su estabilidad dimensional. No se deteriora con el paso del tiempo debido a su estructura celular que es cerrado y solo contiene aire en el interior; en pruebas realizadas no se ha encontrado crecimiento de hongos ni bacterias (López, 2006). Estas características hacen que este material no se pueda degradar fácilmente por medios naturales.

3.3.1. Propiedades físicas del poliestireno expandido

El EPS es un material plástico espumado utilizado en el campo del envase, embalaje para distintos sectores de actividad y en el sector de la construcción, entre otras aplicaciones. A este material se lo ha definido como un plástico celular y rígido fabricado a partir de perlas preexpandidas de poliestireno expandible, las mismas que le las siguientes propiedades físicas:

Densidad: El poliestireno expandido presenta baja densidad, porque de acuerdo a Ossa, (2009), aproximadamente el 95% del volumen del este material es aire y el porcentaje restante es poliestireno. La densidad del EPS se determina durante su fabricación, por la temperatura, el tiempo de pre-expansión y expansión de las perlas.

Permeabilidad y absorción: Cuando una muestra de EPS es sumergida en agua, los espacios libres entre las perlas tienden a ser ocupados por agua. Sin embargo, la cantidad de agua absorbida por una muestra de poliestireno expandido según Ossa, (2009) es función del estado de esfuerzos al que el material se someta.

3.3.2. Propiedades mecánicas del poliestireno expandible

Las propiedades de los productos de EPS que se evalúan para probar su resistencia a los esfuerzos mecánicos son: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión.

Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión se determina por el grado de aplastamiento, es una fuerza de forma elástica o plástica. En el caso de plásticos celulares el esfuerzo de compresión se inicia con un nivel del 10% de deformación con ello obtener valores comprobables (Quiñonez, 2014). La resistencia a la compresión aumenta proporcionalmente a la densidad en el caso de los EPS.

Resistencia a la flexión: Esta propiedad se usa para evaluar la manipulación y para controlar la calidad relativamente a la soldadura o fusión del material de EPS. La resistencia a la flexión aumenta proporcionalmente a la densidad aparente y la flexión de rotura disminuye al aumentar la densidad aparente y al reducirse el grado de soldadura (Quiñonez, 2014).

Dureza: Es la oposición que presentan los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, las deformaciones permanentes entre otras (Carrera, 2017). Debido a su porosidad y a que este material es muy compresible, el poliestireno es entonces un material blando y con una buena elasticidad.

3.4. Empleo de poliestireno en la industria

El poliestireno en la actualidad está distribuido en muchos sectores industriales como la industria agroalimentaria, la construcción, cosmética entre otros, debido a que es un material que no tiene peligro en su uso cotidiano. No presenta riesgos para el fabricante, o quien lo instala, o lo utiliza, no requiere cuidado o protección en su manipulación ya que no es irritante, ni tóxico (Ocles, 2017).

El tipo de poliestireno expandido, dependiendo de sus propiedades y características técnicas, permite que sea utilizado para muchas aplicaciones. Entre ellas son las relacionadas con el aislamiento térmico y la resistencia mecánica. Es así que, en el área de empaque y embalaje por su bajo peso y gran resistencia, es ideal en la industria electrónica, farmacéutica, manufacturera, química, artesanal, entre otras. Ocles, (2017) afirma que el EPS soporta más de 1000 veces su propio peso, su poder de amortiguamiento le permite absorber la energía producida por golpes y vibraciones, evitando que el producto empacado se dañe. Para los productos que requieren control de temperatura, pueden ser envasados en EPS ya que su gran cantidad de celdillas actúan como cámaras de aire independientes dándole la función de aislante térmico.

El empleo de EPS para la protección, transporte y comercialización de alimentos se debe a que es fisiológicamente inocuo, ya que no favorece el crecimiento de hongos y bacterias que provocan la descomposición orgánica Ocles, (2017). Además, el EPS incorpora aditivos para evitar la excesiva carga electrostática haciéndolo útil en la industria electrónica. En otro sector que predomina el uso del poliestireno es en el de la construcción, esto se debe a sus características de aislamiento térmico y acústico.

3.5. Incidencias negativas del poliestireno al medio ambiente

La incidencia negativa del EPS en el medio ambiente, es notorio cuando se habla de la creciente demanda en las industrias y el poco interés al tema de su reciclado. Rojo y Montoto, (2017) consideran que el EPS es una problemática debido a su acumulación y a esto le añadimos que no es biodegradable.

En el pasado, en la fabricación de ciertos productos derivados del poliestireno extruido como bandejas para alimentos, cajas para hamburguesas y algunos platos, vasos y tazones descartables, se utilizaba productos químicos que liberaban gases que dañan la capa de ozono. Ocles, (2017) hoy en día, al tomar conciencia sobre este problema, en todo el mundo se ha implementado exitosamente alternativas de producción de bandejas y productos similares, sustituyendo las sustancias dañinas.

Si bien es cierto, las cantidades de poliestireno que se tiran a la basura son menores, si las comparamos con las del plástico, pero también se sabe que este material causa daños cuando ingresa en los ecosistemas marinos y contamina las aguas. Que de acuerdo a Ocles y (2017) se generan dos tipos de problemas para los animales marinos: mecánicos y biológicos.

El problema mecánico trata de que con mucha frecuencia se encuentra poliestireno en los intestinos y eso provoca bloqueos que pueden llegar a ser letales. Desde un punto de vista químico, el poliestireno actúa como una pequeña esponja, que recoge y concentra algunos de los contaminantes más dañinos que hay en el océano; al verlo una tortuga marina, se la come pensando que es una medusa. Es preocupante cuando se piensa en que algunos peces que se alimentan de plásticos acaben en nuestro plato (Ocles, 2017).

En cuanto al reciclaje del EPS, no está demostrado que sea posible a gran escala y no se ha demostrado que haya un mercado para él, ya que no se puede tomar un vaso y moldearlo

otra vez, es necesario contar con bolitas de poliestireno virgen. Algunos fabricantes han prohibido unilateralmente el poliestireno en sus embalajes, como es el caso del fabricante de consolas Nintendo (Ocles, 2017).

3.6. Alternativas al poliestireno expandido

Actualmente se realizan esfuerzos por proponer algún sustituto del poliestireno expandido por un material con propiedades físicas semejantes pero biodegradable. Gracias a la ciencia, la tecnología y un poco de creatividad, se han desarrollado alternativas más amigables con el ambiente, estas son:

Los científicos Abel Cortés y Alfredo Maciel de la UNAM desarrollaron una espuma biodegradable usando semillas de tamarindo, las cuales contienen un polisacárido (polímero) hecho de glucosa (monómero), con los almidones. A este polisacárido; le añadieron químicamente acrílico de etilo, que en un monómero que polimerizado por si solo es como un hule, y así se produjo un copolímero constituido por los dos monómeros: el acrilato de etilo y glucosa. De acuerdo al porcentaje de acrilato que fue injertado al polisacárido de las semillas de tamarindo, el polímero resultante presentó diferentes propiedades mecánicas: a mayor porcentaje, es más suave y flexible; a menor porcentaje, es más rígido y resistente más carga mecánica, pero al rebosar su resistencia mecánica se vuelve más frágil (Guzmán, 2017). Los investigadores pretenden con esta nueva alternativa al ser eliminada, no ocupe por mucho tiempo un volumen grande en los depósitos de basura como lo hace el EPS. Ya que en dos o tres meses, hongos o bacterias lo podrían descomponer fácilmente, generando agua y dióxido de carbono, pero no lixiviados, de esta manera se evita la contaminación de mantos freáticos.

También se ha propuesto utilizar el xilema de girasol silvestre (*Helianthus annuus* L.) para sistemas de embalaje. Los estudios realizados al poliestireno expandido dieron como resultado que tiene una densidad de 0.01 g/cm³; en cambio la xilema de girasol presenta una densidad de 0.018 g/cm³. Cuando se sometió los materiales a ambientes húmedos, el EPS mantuvo su densidad sin cambios perceptibles 0.01 g/cm³, en cambio la xilema tuvo un cambio a 0.028 g/cm³; al someterlos al calor en 80°C el EPS comenzó a deformarse, incrementando su densidad a 0.15 g/cm³; en cambio el xilema mantuvo sus dimensiones en 120°C incluso disminuyó su densidad, 0.017 g/cm³. Se comparó el comportamiento de

ambos materiales al ser expuestos a radiación ultravioleta, el poliestireno no sufrió ningún cambio en su superficie, en cambio la xilema comenzó a degradarse mostrando un incremento en la dureza de la superficie y el desprendimiento de pequeñas partículas. Las propiedades físicas del xilema se presentan como una promisoría alternativa para sustituir al poliestireno expandido. (Rodríguez, 2014).

Eben Bayer en Estados Unidos, produce un material a partir de la mezcla de hongos con residuos de agricultura. La idea es cultivar hongos, alimentándolos con los desechos de la agricultura como: cáñamo o maíz, por ejemplo; es importante que tengan lignina, celulosa y alimento para los hongos, eso supone también la temperatura, humedad y cantidad de oxígeno adecuado para el crecimiento del hongo. Luego se lo moldea, y se seca con el fin de impedir que el hongo siga creciendo. Lo que queda es un producto limpio y crujiente listo para embalar desde botellas a monitores de computadores. Se puede hacer cualquier forma, desde pesados muebles hasta sensibles piezas electrónicas y una vez usado, puede reciclarse como abono, o incluso convertirse en macetas de jardín. Estos materiales pueden conseguir las mismas propiedades y el mismo nivel de protección que diferentes materiales plásticos, como el polipropileno, poliestireno expandido o poliuretano. Dado que el poliestireno ocupa el 30% de los vertederos en Estados Unidos, un reemplazante biodegradable tendría un enorme impacto ambiental (BBC ciencia, 2013).

3.7. Aplicaciones novedosas basadas en micelio de hongos

P. ostreatus crecen creando una red de hifas a medida que descomponen sustancias orgánicas. Si se detiene antes de completar la degradación del sustrato, estos hilos de hifas lignocelulósicas forman una estructura compuesta interesante (Marrot, Mikuljan y Pohleven, 2018).

Investigaciones anteriores han demostrado un potencial para desarrollar productos como el envasado, en la construcción, materiales de aislamiento térmico y acústico. Attias, et al. (2017), mencionan que en la mayoría de las investigaciones actuales se centran en evaluar las propiedades mecánicas de la materia prima en un nivel macro, utilizando un conjunto de pruebas físicas, como la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción, la rigidez, la elasticidad, la densidad, la estabilidad dimensional, el envejecimiento, la absorción de gua.

España hace unos años fue patentada la fabricación de productos conformados a partir de subproductos provenientes del cultivo de hongos, para utilizarse en la industria de la construcción y del embalaje, sin necesidad de inocular micelio. Illana, (2016), menciona que en un estudio de Arifin y Yusuf (2013) se determinó el potencial del micelio para sustituir el poliestireno; para ello se cultivó micelio sobre cáscara de arroz y grano de trigo en distintos porcentajes y al producto obtenido lo sometieron a un test de densidad y porosidad, además de analizar su microestructura.

3.8. Las setas

Las setas son hongos que se desarrollan sobre troncos en descomposición u otros substratos vegetales. Gaitan et al., (2006) establece que cada hongo se encuentra formado de finos filamentos llamados hifas, que en conjunto forman el micelio. Bajo condiciones favorables de humedad y temperatura de la naturaleza, este micelio puesto sobre un substrato adecuado, se transforma en pequeños grumos que van aumentando de tamaño hasta formar las setas.

El hongo ya formado con el sombrero y su pie, cumplen la función de producir esporas cuya misión que son las que le permitirán perpetuar la especie. Las esporas se forman en la parte inferior del sombrero, en unas laminillas verticales las cuales se extienden desde la parte superior del pie hasta el borde del sombrero (Gaitan et al., 2006).

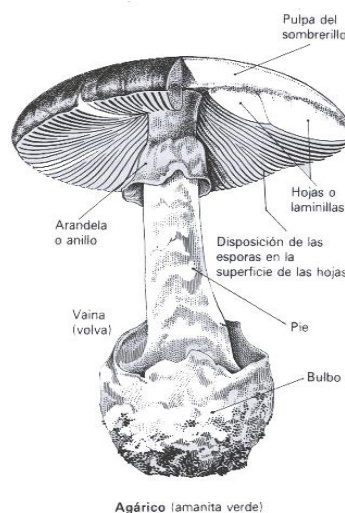


Figura 1. Partes principales de un hongo

Fuente: (Asociación siempre verde, 2013).

Por lo general a los hongos se los conoce por su forma de paraguas, un sombrero más o menos circular y un eje o pie que lo sostiene, pero en el caso de las setas este denominado pie es más bien lateral que céntrico, por ende, su forma es de una ostra u oreja, este hongo técnicamente se le llama *Pleurotus*, cuyo término que deriva del griego pleurá o pleurón, que significa costado o lado y del latín otus, que significa oreja (Gaitán, et al., 2006)

El alimento de las setas es la materia orgánica, con el uso de encimas degrada los compuestos lignocelulósicos, en un medio húmedo, por lo que es importante suministrar un substrato adecuado al hongo cuando se lo pretenda cultivar para que los nutrientes puedan ser aprovechados por las hifas del micelio (García, 2007).

Para el desarrollo de las setas se requiere de una temperatura y características generales como: humedad adecuada, aire que aporte oxígeno y algo de luz. Con estos factores se deducen las necesidades que tiene que satisfacer el cultivo del hongo seta.

3.9. Generalidades de *Pleurotus ostreatus*

Pleurotus ostreatus, tiene valores económicos, ecológicos y propiedades medicinales. Algunos de sus nombres comunes son: Hongo de Cazahuate, Seta de Olmo, Cazahuanánacatl, Hongo de Maguey u hongo Ostra es el segundo hongo comestible más cultivado en todo el mundo, después de *Agaricus bisporus*.

3.9.1 Clasificación taxonómica de *Pleurotus ostreatus*

Reino:	Fungi
Filo:	Basidiomycota
Clase:	Homobasidiomycetes
Orden:	Agaricales
Familia:	Pleurotaceae
Género:	<i>Pleurotus</i>
Especie:	<i>Pleurotus ostreatus</i>

Fuente: (Grossi et al., 2015)

3.9.2. Morfología

Su diámetro oscila entre 5-15 cm dependiendo de la edad del hongo, su sombrero es redondo y presenta una superficie lisa abombada y convexa (Grossi et al., 2015).

En la parte inferior del sombrero posee laminillas que están dispuestas radialmente como varillas, en ellas se producen las esporas las cuales son destinadas para la reproducción de la especie. El pie por lo general es corto, algo oblicuo o lateral, ligeramente duro. Puede crecer en forma aislada sobre una superficie horizontal o ya sea en grupo formando una especie de repisas laterales a un costado de los árboles (Grossi et al., 2015).

3.9.3. Cultivo de *Pleurotus ostreatus*

El hongo tiene facilidad de adaptación para su crecimiento, por esta razón su cultivo no es costoso y las técnicas para el mismo son básicas.

Espinoza y Pazmiño, (2016) mencionan que para reproducir este hongo es importante que el micelio se siembre sobre un sustrato leñoso-celulósico húmedo, rico en polisacáridos como celulosa y hemicelulosa con una concentración de 60 y 70% que serán la fuente de carbono juntamente con la lignina. Con un pH de 5,5-6,5 y humedad entre 50-80%.

La temperatura de incubación va de 20-25°C mientras está envuelto en plástico y luego mantenerlo descubierto en sitios frescos y muy húmedos a 15°C, de este modo hasta que salgan las setas (Barbado, 2003).

(Illana, 2016), debido a la cualidad de los hongos lignocelulósicos en su fase micelial, el hongo presenta una estructura rígida la cual puede emplearse como material de soporte. El micelio está formado por un conjunto de filamentos o fibras denominadas “hifas” (Grossi et al., 2015). Este polímero es responsable de dar rigidez al hongo en su fase micelial previo a la fructificación (Caram, 2011). En la Figura 2 se observa la ubicación del micelio en un hongo que crece sobre la madera. Componente que brinda esta cualidad a los micelios es la quitina presente en su pared celular.

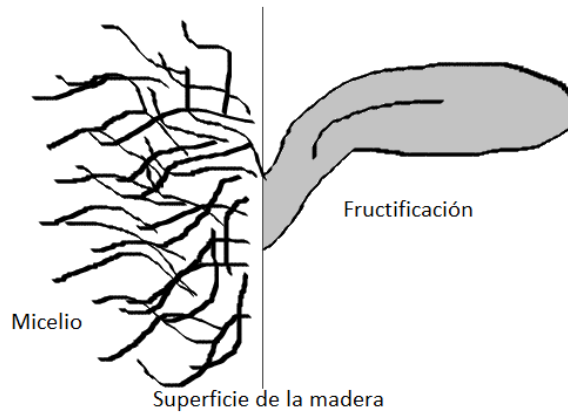


Figura 2. Ubicación del micelio de *Pleurotus ostreatus* cultivado en madera.

Fuente: (Grossi et al., 2015)

3.10. Residuos agroindustriales y su aprovechamiento

Los residuos agroindustriales son materiales que pueden estar en estado sólido o líquido los cuales se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que carecen de utilidad para el proceso que los generó, pero pueden ser aprovechados o transformados para crear otro producto con valor económico, cuyo interés puede ser social y/o comercial.

Las características de los residuos agroindustriales varían mucho, esto depende de la materia prima y del proceso que los generó, pero, comparten la característica de contener materia orgánica, constituida por diferentes porcentajes de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina; por ello se los denomina residuos orgánicos (Saval, 2012).

García, et al. (2017), realizaron un estudio que en el Ecuador durante el 2002-2015 el crecimiento en la productividad agroindustrial del 89%. Es importante buscar una oportunidad de aprovechamiento de los residuos, siendo necesaria la caracterización para conocer su composición, la calidad de sus componentes y la cantidad que se genera, y poder definir las tecnologías más idóneas en su aprovechamiento y posterior tratamiento.

Se puede aprovechar los residuos de la caña de azúcar, ya que su degradación natural no presenta dificultad, (Cury, et al., 2017) recomiendan que, se cultive hongos comestibles, los

mismos que presentan la cualidad de convertir materiales como la celulosa, lignina y hemicelulosa.

Siendo posible cultivarlos en desechos de la agroindustria como pulpa de café, bagazo de caña de azúcar y diversas pajas de cereales (Gaitán, et al. 2006). De esta forma se contribuye al reciclaje de tales desechos.

3.11. Bagazo de caña de azúcar (*Sacharum officinalis*)

El bagazo de caña de azúcar es un residuo fibroso potencial para la producción de derivados y presenta una composición química muy parecida a la madera. Las fibras son lignocelulósicas que forman paredes de celdas, con humedad absorbida y condensada, varios extractos y ciertos minerales. Este subproducto del cultivo de caña consiste principalmente en: agua, fibra, sólidos solubles. Los constituyentes principales de la fibra son celulosa, pentosana, y lignina. También contiene azúcares celulósicos, sobre todo sacarosa que provee energía al hongo durante su colonización en el sustrato mismo (Aguilar y De Jesús, 2010).

La composición media de los componentes que presenta este material suele estar en torno a los siguientes valores: celulosa 25-45%, lignina 10-30 %, hemicelulosa 25-50%, materia seca 29%, cenizas 5%, azúcares solubles 40% y proteína bruta $N \times 6.25$ 2% (Antolín y Oliva, 2003; González y González, 2004). El bagazo presenta granulometría y formas variables, Aguilar y De Jesús, (2010), determinan que la longitud de fibra es de 1.1088 mm y el ancho de fibra es de 18.873 micras.

3.12. Tamo de trigo (*Triticum aestivum*)

El tamo de trigo es un residuo de la cosecha, su degradación y su composición química pueden ser controladas por factores culturales y genéticos. Su composición nutritiva está en torno a los siguientes valores: lignina 8,6%, carbono 53,5%, C/N 41, 0%, celulosa 35,9%, materia seca 75,15% y proteína 7,9% (Quizpilema, 2013).

La composición química de la paja de trigo hace que se lo almacene fácilmente sin problemas de fermentación, descomposición y la contaminación por mohos o bacterias. Podemos destacar el valor de nutrientes digestibles totales 35,83%, energía metabolizable 1,30 Mcal/Kg y energía digestible 1,58 Mcal/Kg (Rojas, 2004).

3.13. Características generales del sustrato como medio de crecimiento micelial

Los sustratos dependen de los requerimientos de cada hongo que va a crecer en él, para el hongo *Pleurotus ostreatus* que se utilizará en esta investigación, es muy importante que su sustrato sea rico en polisacáridos específicamente celulosa y hemicelulosa con una concentración de entre 60 y 70%, que son fuentes de carbono al igual que la lignina. El hongo mediante las enzimas tiene la habilidad de utilizar estos polisacáridos para su crecimiento abundante (Viziteu, 2005 y Aguinaga, 2012).

La humedad y el pH son de carácter importante como los nutrientes del sustrato, por lo que la humedad óptima esta entre el 50 y 80% y un rango de pH de 5,5 y 6,5 (Garzón y Cuervo, 2008).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de este trabajo de investigación se realizó en la granja de cultivo de hongos Fungus Garden, ubicada en parroquia de Calacalí, vía a Rayocucho, provincia de Pichincha, en los laboratorios de Bromatología y Química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra (PUCE-SI), y en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE-Quito). Se aplicó una metodología explicativa, caracterizado por el empleo de métodos analítico-empíricos, mismos que responden a la hipótesis planteada y presenta como insumos de respuesta la experimentación con los tópicos propuestos para llevar a cabo la investigación. La metodología emplea los siguientes materiales:

4.1. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.1. Materiales

A continuación, se describen los materiales de campo utilizados:

- Tinas de plástico
- Guantes
- Mascarilla
- Moldes
- Mecheros
- Ligas
- Papel aluminio

4.1.2. Equipos de laboratorio

- Estufa (Serie: 1210180008)
- Balanza analítica (Modelo: Adam PW254) (Serie: AE4383736)
- Balanza Desecadora (Modelo: Sartorius) (Serie: MA35)
- Horno Mufla (Serie: 1126209301181030)

- Potenciómetro marca Horiba (Modelo: F-71G) (Serie: 12101801122)
- Espectrofotómetro de absorción atómica (Modelo: SensAA GBC Scientific equipment Dual) (Serie: 12367)
- Máquina Universal (Modelo: Tinius Olsen) (Serie: 177960)

4.1.3. Reactivos

- Ácido sulfúrico
- Pastillas de digestión
- Agua destilada
- Cromato de potasio
- Nitrato de plata
- Hidróxido de sodio
- Ácido bórico
- Indicador Rojo tashiro

4.1.4. Materia prima

- Bagazo de caña de azúcar
- Tamo de trigo
- Afrechillo
- Carbonato de calcio
- Agua

4.2. Métodos

El trabajo de investigación se desarrolló en tres fases, donde la primera constó en la obtención del material a base de micelio de hongo y sustratos agroindustriales. La segunda fase fue la determinación de las características físico-mecánicas de los materiales y la tercera fue la implementación de un modelo estadístico para determinar si las propiedades evaluadas cumplen o no, con las hipótesis planteadas.

4.2.1 Elaboración de un material a base de micelio del hongo (*Pleurotus ostreatus*) y sustratos agrícolas

En la fase inicial se utilizaron tres tipos de materias primas: bagazo de caña de azúcar (*Sacharum officinalis*) que se obtuvo en el centro de abastos de la ciudad de Ibarra, el tamo

de trigo (*Triticum aestivum*) provino de restos de cosecha de la parroquia de Angochagua del cantón Ibarra y micelio de hongo (*P. ostreatus*) producto adquirido en el centro de producción Fungus Garden de la parroquia de Calacalí. Los sustratos fueron sometidos a los procesos de lavado, secado y corte.

Preparación de sustratos

Se preparó tres clases de sustratos: de bagazo de caña de azúcar, tamo de trigo y bagazo de caña de azúcar con tamo de trigo (50/50). Los cuales se hidrataron durante un par de horas, y posteriormente se colocaron los siguientes ingredientes de acuerdo a la formulación que se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Formulación de sustratos para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*

Materia prima	Cantidad
Sustratos	74.5%
Afrechillo	24.5%
Carbonato de calcio	1%
Agua	2,5 litros

Elaborado por: Pérez, 2021

Esta formulación fue adaptada de la técnica que se utiliza para la producción del hongo ostra (*P. ostreatus*) que se utiliza en la granja de producción Funjus Garden. La cual de acuerdo a (Insuasti, 2021) se debe utilizar una proporción de 25% de afrechillo con respecto al peso del sustrato y 1% de carbonato de calcio con respecto a la cantidad de sustrato más afrechillo. Obteniendo una mezcla homogénea que cumpla con la humedad requerida que se ubica entre 60 y 80%.



Figura 3. Preparación y formulación de sustratos

Fuente: Pérez, 2021

Una vez añadidos los ingredientes se procede a revolverlos hasta que queden homogéneamente incorporados. Se realizó una prueba de guante que permite determinar la humedad, la cual se basó en tomar una muestra del sustrato en la mano, estrujarla hasta que presente una ligera compactación, pero percatándose de que no se escurra el agua.

Comprobada la humedad óptima del sustrato preparado, se procede a colocarlo en fundas adecuadas bajo un protocolo de sellado, se procede al siguiente paso que será la pasteurización.

Caracterización de los sustratos

Se realizó la caracterización de los sustratos preparados con el fin de determinar que las condiciones del medio en donde se va a desarrollar el hongo (*P. ostreatus*) sean las óptimas.

- **Determinación de pH**

Se determinó el pH en los sustratos mediante la metodología de la norma UNE-EN 13037, la cual establece que a 20 g de la muestra se adicione 100 mL de agua destilada, luego de mezclar se deje reposar por 30 minutos, transcurrido este tiempo se procedió a medir el parámetro con el potenciómetro.

El pH óptimo del sustrato debe encontrarse entre 5,5 y 6,5 para evitar cualquier propagación de microorganismos que puedan afectar el crecimiento micelial del hongo (Garzon & Cuervo, 2008).

- **Porcentaje de humedad (%)**

Para determinar este componente se tomó como referencia la Norma ASTM D4442, durante este proceso se utilizó la balanza desecadora modelo Santorius con 20 g para cada sustrato (Benítez y Gutiérrez, 2012).

- **Proteínas (%)**

Para obtener este porcentaje se utilizó el método Kjeldahl que mide el contenido en nitrógeno de una muestra el cual se divide en 3 etapas: mineralización, destilación y valoración. El contenido en proteína se calcula presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno de la muestra que está siendo analizaa (Vivek, et al., 2008).

$$\%N = \frac{(VM - VB) * 0,014 * 100}{PM}$$

$$\%PB = \%N \times Fc$$

%N= porcentaje de nitrógeno

VM= volumen de gasto en titulación

VB= normalidad del titulante

PM= muestra en gramos

0,014= miliequivalente del Nitrógeno

Fc= factor de conversión de nitrógeno a proteína (6,25)

- **Fibra (%)**

El contenido de fibra cruda se cuantificó utilizando la norma AOAC N° 978.10. Se pesó exactamente 3 g de muestra (F0) en cada uno d ellos crisoles y sometidas a calentamiento a 105°C durante 1 hora hasta peso constante. Se colocaron los crisoles con la muestra en el equipo y se adicionó 125 ml de H2SO4 (1,25%), luego 3-5 gotas de n-octanol, dejando la digestión durante 30 minutos. Se drena el ácido sulfúrico y la muestra se lavó 3 veces con 30 mL de agua caliente. Drenando el último lavado, se adicionaron 150 mL de KOH (1,25%)

en ebullición repitiendo el mismo procedimiento realizado con el ácido. Posteriormente se hizo un último lavado con agua fría destilada destinada a enfriar los crisoles. Luego estos se pesan después de evaporar las trazas de acetona, luego se secaron al horno a 105°C durante 1 hora o hasta peso constante, se lleva al desecador para enfriar y pesar. Por último colocar los crisoles en una mufla a 550 °C durante 3 horas, y enfriarlos en el desecador, pesar los crisoles una vez que estén fríos. La diferencia de peso con el obtenido en el paso anterior constituye la fibra cruda de cada muestra (Banderas, 2012).

Para calcular el porcentaje de fibra cruda se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Fibra} = \frac{M_{dry} - M_{ash}}{M_{sample}} * 100$$

Mdry= Peso de muestra tras el secado

Mash= Peso de la muestra tras el calcinado

Msample= Peso muestra

- **Calcio (%)**

Para determinar el contenido de calcio se procedió de acuerdo a la norma AOAC 985.35 utilizando el método fotométrico, mediante la aplicación del Test Calcio método Fotométrico, en muestras de ceniza de 1g. El equipo utilizado para determinar la concentración de Calcio fue el espectrofotómetro uv-visible marca NOVA 60 (Dávila, 2015).

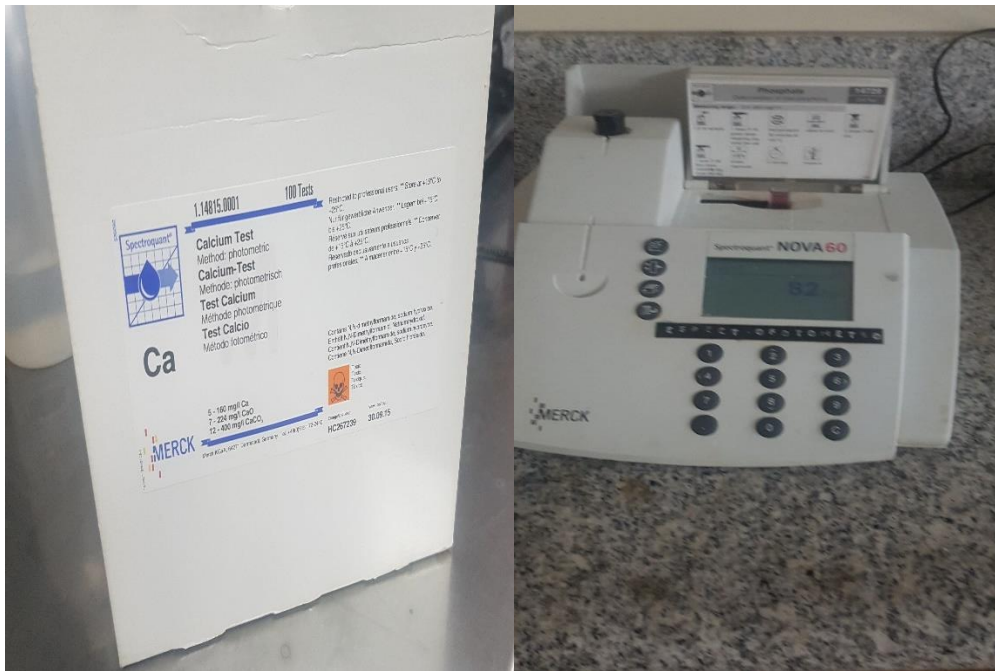


Figura 4. Determinación del contenido de calcio en los sustratos
Fuente: Pérez 2021

Pasteurización

La pasteurización del sustrato es un proceso térmico crítico dentro del desarrollo del micelio ya que esta asegura la inocuidad del medio, evitando cualquier tipo de contaminación cruzada o agente ajeno al medio, se la realizó durante ocho horas a una temperatura de 95°C en barriles con una capacidad de veinte fundas de 200g cada una (Insuasti, 2021).

Inoculación

En el proceso de siembra o inoculación del hongo se utilizó la cámara de flujo, que anteriormente se esterilizó, y se colocó dos mecheros a cada extremo para mantener un ambiente estéril en caso de presencia de esporas que puedan contaminar la siembra.

En cada funda de sustrato se añadieron 68 g aproximadamente de miselio (*P. ostreatus*), seguido de realizó agitación de la funda para que la cepa pueda distribuirse en todo el sustrato. El siguiente paso, consistió en suavizar el sustrato, es decir que haya espacios de aireación entre las partículas de cada medio de crecimiento. Esta parte del proceso, evita que

el crecimiento sea localizado en ciertos puntos y que pueda el hongo colonizar completamente el sustrato (Insuasti, 2021).

Incubación

Una vez culminado el proceso de siembra, se procedió a la incubación; en un área limpia se colocaron las fundas a temperatura ambiente con poca presencia de luz.

Se dejó reposar aproximadamente 40 días, hasta verificar que el micelio del hongo haya colonizado gran parte del sustrato (Insuasti, 2021).



Figura 5. Proceso de incubación de los tratamientos

Fuente: Pérez, 2021

Elaboración de probetas

Luego del período de incubación se procede a colocar material que se encuentra en las fundas en los moldes, mismos que estaban ajustados a las normas American Standard Testing Materials (ASTM), para poder evaluar las propiedades físicas y mecánicas. Se sellaron los moldes con film plástico, y se deja reposar en una zona limpia y a temperatura ambiente durante 15 días (Insuasti, 2021).



Figura 6. Probetas elaboradas bajo la normativa ASTM

Fuente: Pérez, 2021

El número de probetas que se requieren para esta investigación se detallan en la siguiente tabla

Tabla 2

Detalle del número de probetas elaboradas por tratamiento

Sustrato	Código	Nº de probetas
Bagazo de caña de azúcar	T1	12
Tamo de trigo	T2	12
Bagazo de caña de azúcar + Tamo de trigo	T3	12
Testigo (Poliestireno expandido)	EPS	12

Elaborado por: Pérez, 2021

Horneado del material

Transcurrido el tiempo de reposo se desmoldó el material y se realizó el secado en la estufa a 80°C durante 24 horas. Hasta que no exista rastro de humedad (Insuasti, 2021).



Figura 7. Hornado de probetas
Fuente: Pérez, 2021

4.2.2 Realización de pruebas físico-mecánicas a los materiales obtenidos

Esta etapa comprendió en evaluar las características físico-mecánicas de los materiales obtenidos como: absorción de agua, densidad relativa, resistencia a la compresión, resistencia a flexión y dureza.

En base en las normas ASTM se determinó la resistencia a la compresión y flexión del material para guiar la investigación.

Pruebas físicas

- **Densidad aparente**

Para obtener el dato de densidad aparente se basó en la normativa ASTM C303 donde se utilizó la siguiente fórmula (Jiménez, 2018):

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\text{Kg}/\text{m}^3 \right]$$

- **Ensayo de Absorción de Agua**

Para evaluar la absorción de agua del material, se toma como referencia la norma ASTM D570 la (Standard Test Method for Water Absorption of plastics, 2012) establece que el tamaño de probetas es de 50,8 mm de diámetro y 8 mm de espesor.

Bajo los requerimientos de la normativa el ensayo consistió en registrar el peso inicial de las probetas, luego se sumergieron horizontalmente en recipientes con 100ml de agua destilada, manteniéndola a temperatura ambiente durante una inmersión de 2hrs, la muestra se dejó drenar por 10 minutos y se pesó. Y luego de 22 horas más se repitió el proceso.

Para el cálculo del porcentaje de absorción de agua se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Aumento de peso \%} = \frac{\text{peso mojado} - \text{Peso condicionado}}{\text{Peso condicionado}} \times 100$$



Figura 8. Ensayo de humedad por 24 horas
Fuente: Pérez, 2021

Pruebas mecánicas

- **Ensayo de compresión**

La prueba se realizó con probetas circulares de 20 cm de diámetro y un espesor de 25,4 cm cada una, que fueron sometidas a fuerzas axiales en una máquina universal Tinius Olsen a una velocidad de 5 mm/m, el ensayo se detuvo hasta que la muestra presentó una deformación del 10%, procedimiento que fue realizado bajo la norma ASTM D1621-10.

Antes de realizar la prueba correspondiente, las probetas fueron medidas en todas sus dimensiones mediante un calibrador digital (pie de rey). La cual se desarrolló en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la PUCE.



Figura 9. Análisis de la resistencia a la compresión de los biomateriales
Fuente: Pérez, 2021

- **Ensayo de flexión**

Para realizar el ensayo de resistencia a la flexión, se utilizaron 3 probetas bajo la norma ASTM C203 la cual establece las dimensiones de las probetas de 20 cm de largo, 3,5 cm de ancho y 2,5 cm de espesor. A las cuales se aplicó una fuerza a una velocidad de 5 mm/m, el ensayo se detuvo una vez que las muestras presenten una rotura (Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation, 2017).

Antes de realizar la prueba correspondiente, las probetas fueron medidas en todas sus dimensiones mediante un calibrador digital (pie de rey). El ensayo de compresión se realizó en la máquina universal Tinius Olsen de ensayos mecánicos en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la PUCE.



Figura 10. Ensayo de resistencia a la flexión a los tratamientos.
Fuente: Pérez, 2021

- **Dureza**

El ensayo de dureza, se realizó con un Durómetro para plásticos que sigue los parámetros establecidos en la Norma ASTM D2240, el cual se basa en la penetración de un indentador específico cuando se presiona el material con el mismo. La toma de datos fue realizada en la superficie de las dos caras de cada probeta, fueron tomadas 9 medidas por cada cara, en tres secciones (extremos y parte central) (Standard Test Method for Rubber Property- Durometer Hardness, 2015)



Figura 11. Ensayo de dureza a los tratamientos
Fuente: Pérez, 2021

4.2.3. Comparación de resultados obtenidos en las pruebas físico-mecánicas con un modelo estadístico

Para el análisis de los resultados se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos (T1, T2, T3, T4) y tres repeticiones, en total 12 unidades experimentales por cada tratamiento. Se empleó el mismo modelo estadístico (DCA) para analizar cada una de las propiedades físico- mecánicas del material: absorción de agua, densidad relativa, compresión, flexión y dureza.

Tabla 3

Diseño experimental que evalúa las propiedades físico- mecánicas del material a base de micelio de hongo y sustratos orgánicos

Fuentes de variación	G.L.
Total	11
Tratamientos	3
ERROR EXP.	8

Fuente: Pérez, 2021

Las variables independientes en esta investigación son los sustratos: S1: Bagazo de caña de azúcar, S2: Tamo de trigo, S3: Bagazo de caña de azúcar con Tamo de trigo; y como material comparativo S0: Poliestireno expandido (EPS)

Como variables dependientes, se tiene a las propiedades físico- mecánicas a: Absorción de agua, Densidad relativa, Resistencia la Flexión, Resistencia a la Compresión y Dureza.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Elaboración de un material a base de micelio del hongo (*Pleurotus ostreatus*)

Se realizó la evaluación y caracterización de los nutrientes en cada uno de los sustratos antes de ser utilizados. Se evaluaron los siguientes parámetros: humedad, proteína, fibra, energía y minerales.

pH

Si el pH del sustrato donde crece el hongo no es el adecuado, aunque las condiciones de temperatura y nutrientes sean óptimas, el crecimiento podría verse afectado.

Tabla 4

Evaluación del pH en los sustratos (T1, T2, y T3)

Sustratos	pH
S1	6,94
S2	6,63
S3	6,74

Nota: S1 (Bagazo de caña de azúcar), S2 (Tamo de trigo) y S3 (Bagazo de caña + tamo de trigo)

Fuente: Pérez, 2021

Para el crecimiento de *Pleurotus* se han citado rangos de crecimiento entre 4 y 7 de pH. Pero, Zadrazil (1974) describe que los sustratos ácidos (pH 4) inhiben el desarrollo de *P. ostreatus* y que este hongo encuentra un pH óptimo en un rango entre 5.5 y 6.5. Al comparar estos datos con los obtenidos, se demuestra que los niveles de pH de los sustratos evaluados son óptimos para el crecimiento micelial.

Sin embargo (Sánchez y Royse, 2001) hay que tomar en cuenta que la mayoría de los contaminantes que se encuentran durante el proceso de cultivo son más sensibles a los

valores de pH altos que las especies de Pleurotus, es así que para preparar el sustrato se prefieren valores más elevados que los señalados como óptimos. Sin embargo, los rangos que se han obtenido son aceptables y los recomendados de acuerdo a la fórmula de (Insuasti, 2020) que se adaptó para este trabajo de investigación.

Humedad

El porcentaje de agua que presentó cada sustrato preparado antes de ser inoculados con el hongo (*P. ostreatus*) se muestra en la Tabla 5

Tabla 5

Porcentaje de humedad en de los sustratos

Tratamientos	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Humedad (%)
S1	20	6,26	68,67
S2	20	7,98	67,21
S3	20	6,76	74,49

Nota: S1 (Baga zo de caña de azúcar), S2 (Tamo de trigo) y S3 (Baga zo de caña + tamo de trigo)

Fuente: Pérez, 2021

La humedad óptima para el crecimiento normal del hongo Pleurotus se encuentra entre el 50% y 80% (Sánchez y Royse, 2001). De acuerdo a los valores obtenidos los tres sustratos se encuentran en el rango requerido de humedad, esta característica tiene relevancia porque, juega un rol importante, para asegurar el acondicionamiento del hongo en sus fases iniciales siendo esta la que determinará el óptimo crecimiento del micelio.

El contenido de humedad no solo podría afectar la disponibilidad de nutrientes en el sustrato, sino también la disponibilidad de oxígeno. Esto se debe a que, el agua ocupa espacios que pueden ser ocupados por el aire. A niveles excesivos esto se vuelve una limitante para la respiración del hongo (Sánchez y Royse, 2001).

Proteínas

Para determinar el porcentaje de proteína en los tres sustratos primero se realizó el cálculo de porcentaje de nitrógeno.

Tabla 6

Porcentaje nitrógeno y proteína para S1, S2 y S3

Substratos	Nitrógeno (%)	Proteína (%)
S1	3,15	19,74
S2	2,85	17,82
S3	3,29	18,82

Nota: S1 (Bagazo de caña de azúcar), S2 (Tamo de trigo) y S3 (Bagazo de caña + tamo de trigo)

Fuente: Pérez, 2021

La fuente de nitrógeno utilizada por los hongos *Pleurotus* es aportada en baja proporción por los residuos agroindustriales. Para brindar la cantidad necesaria de nitrógeno al cultivo de hongos se deben adicionar suplementos orgánicos (Sánchez y Royse, 2001). En este caso al adicionar el afrechillo cuyo contenido en nitrógeno es del 2,68%, incrementa de esta manera el valor nutricional para el óptimo crecimiento del hongo. De acuerdo al contenido de nitrógeno total en los tres sustratos (S1, S2 y S3), indica que estos no son pobres en nitrógeno por lo que presentaron valores aceptables para el crecimiento micelial.

Proteína: El contenido de proteína de un sustrato virgen es deficiente para el un buen crecimiento de *Pleurotus*, esto pone en evidencia la necesidad de enriquecer este sustrato para que logre cumplir con los requerimientos que exige el hongo para su crecimiento (Bejarano, 2016). En este caso los sustratos vírgenes fueron enriquecido con afrechillo el cual cuenta con un porcentaje de proteína inicial del 16,8%, esto sumado a la cantidad de proteica de cada sustrato virgen, se obtienen valores proteicos adecuados. Se destaca en este caso el bagazo de caña (S1) 19,74% seguido del (S3) con 18,82% y el (S2) con 17,82%. Como se observa en la Tabla 5, los tres sustratos orgánicos que se usaron para esta investigación aportan el porcentaje necesario para que el micelio pueda alimentarse.

Minerales (Calcio)

Para determinar la concentración del mineral Ca se realizó mediante el test de Calcio por el método fotométrico.

Tabla 7

Concentración de calcio presente en los sustratos (S1, S2 y S3).

Sustratos	Calcio (mg/l)
S1	80
S2	79
S3	82

Nota: S1 (Bagazo de caña de azúcar), S2 (Tamo de trigo) y S3 (Bagazo de caña + tamo de trigo)

Fuente: Pérez, 2021

Como se puede observar en la Tabla 7, el sustrato con más contenido de calcio es el S3 comprendido en la mezcla de caña de azúcar y tamo de trigo con 82 mg/l seguido del S1 a base bagazo de caña de azúcar con 80 mg/l y S2 a base de tamo de trigo con 79 mg/l. La concentración de calcio en los sustratos se analiza porque de acuerdo a (Sánchez y Royse, 2001), mencionan que, en varios estudios realizados, han demostrado que los hongos no son capaces de crecer en ausencia de calcio y que este mineral es requerido en mayores cantidades por sus efectos protectores.

Fibra

La fibra permite que el crecimiento del micelio sea más confiable, este hongo crece con facilidad en sustratos fibrosos, los resultados de la caracterización se pueden observar en la Tabla 8.

Tabla 8

Porcentaje de fibra (%), en sustratos

Sustratos	Fibra (%)
S1	30,07
S2	43,71
S3	35.25

Nota: S1 (Bagazo de caña de azúcar), S2 (Tamo de trigo) y S3 (Bagazo de caña + tamo de trigo)

Fuente: Pérez, 2021

Un factor fundamental del desarrollo del micelio es la fibra, por lo que en el caso del S2 el contenido de fibra es mayor que el resto de sustratos con un 43,71% y los sustratos S1 y S3 presentan un contenido de fibra de 30,07% y 35,25% respectivamente.

Rivera, Martínez y Morales (2013), afirman que un mejor desarrollo micelial se obtiene en los tratamientos donde el sustrato es rico en fibra y carbohidratos estructurales, mismos que pueden ser asimilado a partir de diferentes fuentes como polímeros, carbohidratos y lípidos.

5.2. Realización de pruebas físico-mecánicas a los materiales obtenidos

Las probetas obtenidas fueron sometidas a evaluación de los parámetros físicos y mecánicos, basados en las normas ASTM D1621, ASTM C203, ASTM D2240.

5.2.1. Propiedades físicas

Al evaluar los tratamientos se obtuvo los siguientes resultados en las pruebas físicas:

Tabla 9

Propiedades físicas: densidad y absorción de agua del biomaterial

Tratamientos	Densidad Kg/m³	Absorción de agua (%)
T1	116,67	125,13
T2	103,33	139,59
T3	106,67	146,06
T4	13,67	4,13

Nota: T1 (sustrato a base de bagazo de caña), T2 (sustrato de tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 testigo (EPS).

Fuente: Pérez, 2021

Densidad: los promedios con respecto a la densidad para (T1, T2 y T3) es sin duda superior al testigo (T4), siendo el sustrato a base de bagazo de caña quien presenta mayor densidad 116,67 Kg/m³ seguido de T2 y T3. Ante esta discrepancia con respecto a las diferencias en densidad que presentan los tres tratamientos (Tamayo, 2018) menciona que estas características están relacionadas directamente con el tipo de fibra utilizada.

Absorción de agua: el tratamiento que menos cantidad de agua presentó es (T4) de 4,13%, sin embargo, los tratamientos a base de materiales orgánicos, absorbieron cantidades elevadas en comparación al testigo, cuyo valor más bajo lo presenta el tratamiento con bagazo de 125,13%, y el valor más alto lo presenta el tratamiento combinado 146,06%. Este resultado se debe a que los biomateriales de *P. ostreatus* y residuos de cosecha de acuerdo López (2014), al entrar en contacto con agua, presentan un alto porcentaje de absorción. La respuesta de estos biomateriales debe estar relacionada al tamaño del poro, ya que se evidenció que su tamaño es mayor, lo que genera una mayor absorción de agua.

5.2.2. Pruebas mecánicas

Tabla 10

Evaluación de las pruebas FM: Flexión, Compresión y Dureza de los biomateriales

Tratamientos	Flexión (MPa)	Compresión MPa	Dureza (HA)
T1	0,045	0,035	33,88
T2	0,041	0,017	25,58
T3	0,035	0,032	34,19
T4	0,07	0,035	24,09

Nota: T1 (sustrato a base de bagazo de caña), T2 (sustrato de tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 testigo (EPS).

Fuente: Pérez, 2021

Flexión: La tabla 9 muestra los especímenes de evaluados. El tratamiento cuatro presenta un valor promedio de 0,07 MPa, valor que indica que el EPS presenta una resistencia mayor a la flexión; seguido de (T1) con 0,045 MPa y los materiales menos resistentes son los de (T2 y T3) con 0,041 y 0,035 MPa respectivamente. Lo cual indica que el EPS es un material más rígido y elástico que los biomateriales fabricados.

Compresión: El tratamiento con bagazo de caña presentó un promedio para esfuerzo a la compresión de 0,035 MPa valor similar a (T4) que corresponde al testigo, seguido de (T3) que se acerca al valor del testigo. Sin embargo (T2) presentó un esfuerzo a la compresión por debajo de lo requerido 0,017 MPa en comparación al valor del testigo.

Dureza: Los cuatro tratamientos presentan diferentes valores de rigidez, siendo (T1) más resistente 33,88 HA seguido de (T3) con 34,19 HA, por lo tanto (T2) y (T4) presentan valores inferiores 25,58 y 24,09 HA respectivamente. Lo que muestra que el EPS es un material que no presenta mayor rigidez en comparación a los biomateriales.

5.3. Comparación de los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas mediante el uso de un modelo estadístico.

Los datos fueron sometidos a un análisis estadístico (DCA) con la finalidad de determinar efectos diferenciales entre los tratamientos, es decir, si existe similitud de los sustratos a base de residuos agroindustriales y micelio de hongo *P. ostreatus* y el EPS.

5.3.1. Densidad

En la Tabla 11 se evidencia que los datos del análisis físico en cuanto a la densidad de los materiales alternativos al poliestireno, presentan un carácter paramétrico, evidenciando una distribución normal.

Tabla 11

Prueba de Normalidad del factor densidad

Prueba de Shapiro-wilk				
Tratamientos	W	p-value	Alpha	Normalidad
T1	0,75	0,0001	0,05	SI
T2	0,75	0,0001	0,05	SI
T3	0,75	0,0001	0,05	SI
T4	0,75	0,0001	0,05	SI

Elaborado por: Pérez, 2021

La Tabla 12 muestra el análisis estadístico en cuanto al análisis de densidad de los materiales alternativos al poliestireno; T1 (bagazo de caña de azúcar), T2 (tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 (testigo). De esta manera se evidencia una diferencia significativa en cuanto al valor de densidad de los mismos. El coeficiente de variación resultante del análisis presenta un porcentaje del 5,89 %; lo que indica que la toma de datos fue precisa dentro de un diseño bajo condiciones controladas.

Tabla 12

Análisis de varianza de la evaluación de la densidad de los materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.

FC	GL	SC	CM	F cal	F tab 0,05	Significancia
Total	11	20890,92				
Tratamiento	3	20690,25	6896,75	274,95	4,07	*
Error	8	200,67	25,08			
CV: 5,89%						
\bar{x}: 85,08 kg/m³						

Nota: **FV:** Factor de varianza, **GL:** Grados de libertad, **SC:** Sumatoria de cuadrados, **CM:** Cuadrado Medio, **Fcal:** Nivel de significancia, *: Significativo, **CV:** Coeficiente de Variación.

Elaborado por: Pérez, 2021

La figura 12 muestra que mediante el análisis de comparación de medias de Tukey se determinó la presencia de 3 rangos diferentes: El tratamiento T1 y T3 se ubican en el rango (a); demostrando que los dos tratamientos no tienen significancia entre sí, pues la densidad obtenida de dichos materiales es igual entre ellos. En el rango (b) se ubica T2 y T4 en el rango (c), señalando que la densidad en los últimos tratamientos presenta diferencias entre sí.

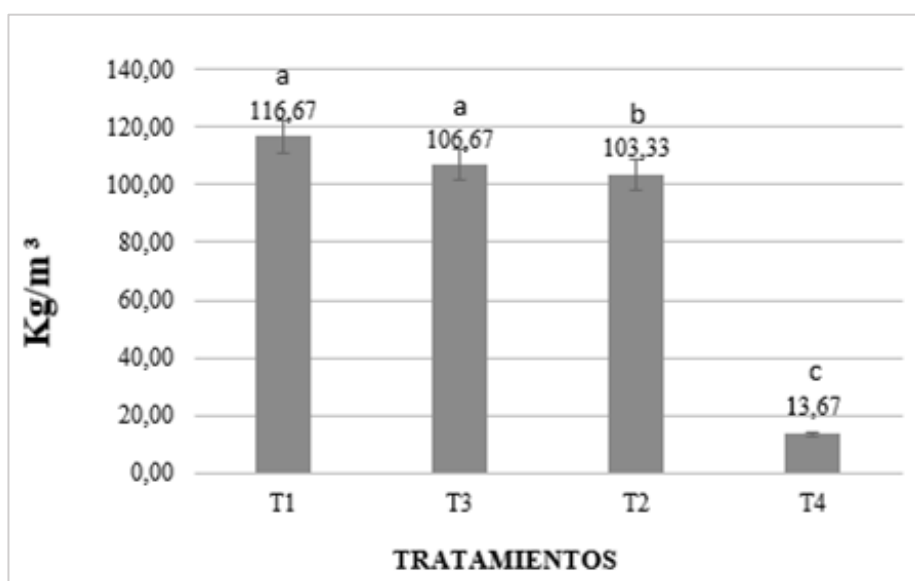


Figura 12. Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de densidad.

Fuente: Pérez, 2021

Los valores para T1, T2 y T3 variaron entre 116,67, 106,76 y 103,33 kg/m³, los cuales están por encima de los valores establecidos para el EPS (13,67 kg/m³). Siendo el material elaborado a base de bagazo de caña de azúcar el que mayor valor presenta podrían explicarse ya que (Abhijith, Ashok, y Rejeesh, 2018) mencionan que, debido al crecimiento del hongo dentro del material, mantener una densidad constante de este resulta complejo; puesto que la materia prima utilizada es un organismo vivo.

Esta característica en los materiales obtenidos se traduce al emplear fibras de diferentes tamaños y características, al usar elementos como las de tamo de trigo al agruparse mejor reducen los espacios entre fibras impidiendo el paso de aire y con ello retrasando el crecimiento micelial (Barba et al., 2019). Esto se debe a que el buen flujo de aire permite que el hongo desarrolle sus actividades metabólicas, permitiendo una regulación de humedad. Por el contrario, el material elaborado con fibras de bagazo de caña permite que se generen espacios interfibrilares propiciando un mejor crecimiento del micelio. Lo que se traduce en que al presentarse un menor crecimiento de biomasa fúngica la densidad también disminuye.

Al comparar los resultados obtenidos con los de otras investigaciones se observa comportamientos similares de densidad es como los de (Colmenares, Bautista y Oliveros, 2018) en donde obtuvieron datos entre 123,5 y 237,0 kg/m³, datos similares a los materiales

obtenidos por (Jiménez, 2018) de 132,7 kg/m³, y (Appels et al., 2019) que obtuvieron valores de densidad entre 100 a 390 kg/m³.

El biomaterial de matriz fúngica obtenido presenta la ligereza suficiente para ser aplicado como alternativa posible de embalaje para electrodomésticos, sin embargo, la densidad podría verse afectada por las variaciones que puedan presentarse en su composición los sustratos lignocelulósicos según (Bruscatto et al., 2019). Por lo tanto por su densidad, los materiales elaborados en este trabajo podrían ser aprovechados como embalaje en la protección de diversos productos de peso ligero.

Absorción de agua.

En la Tabla 13 se evidencia que los datos del análisis físico mecánico en cuanto a la absorción de agua de los materiales alternativos al poliestireno, presentan un carácter paramétrico, evidenciando una distribución normal.

Tabla 13

Prueba de Normalidad.

Prueba de Shapiro-wilk				
Tratamientos	W	p-value	Alpha	Normalidad
T1	0,81	0,14	0,05	SI
T2	0,96	0,61	0,05	SI
T3	0,86	0,27	0,05	SI
T4	0,85	0,26	0,05	SI

Elaborado por: Pérez, 2021

La Tabla 14 muestra el análisis estadístico en cuanto al análisis de absorción de agua de los materiales alternativos al poliestireno; T1 (bagazo de caña de azúcar), T2 (tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 (testigo). De esta manera se evidencia una diferencia significativa en cuanto al valor de absorción de agua de los mismos. El coeficiente de variación resultante del análisis presenta un porcentaje del 8,10 %; lo que indica que la toma de datos fue precisa dentro de un diseño bajo condiciones controladas al trabajar con organismos vivos.

Tabla 14

Análisis de varianza de la evaluación de absorción de agua de los de materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.

FC	GL	SC	CM	F cal	F tab. 0,05	Significancia
Total	11	40932,48				
Tratamiento	3	40368,08	13456,03	190,73	4,07	*
Error	8	564,39	70,55			
CV: 8,10%						
\bar{x}: 103,73 %						

Nota: **FV:** Factor de varianza, **GL:** Grados de libertad, **SC:** Sumatoria de cuadrados, **CM:** Cuadrado Medio, **Fcal:** Nivel de significancia, *: Significativo, **CV:** Coeficiente de Variación.

Elaborado por: Pérez, 2021

Mediante la comparación de medias de Tukey se determinó la presencia de 2 rangos diferentes: El tratamiento T3, T2 y T1 se ubican en el rango (a); demostrando que los dos tratamientos no tienen significancia entre sí, pues la absorción de agua obtenida de dichos materiales es igual entre ellos. En el rango (b) se ubica T4, señalando que la absorción de agua de dicho material es diferente con relación a los 3 tratamientos anteriores.

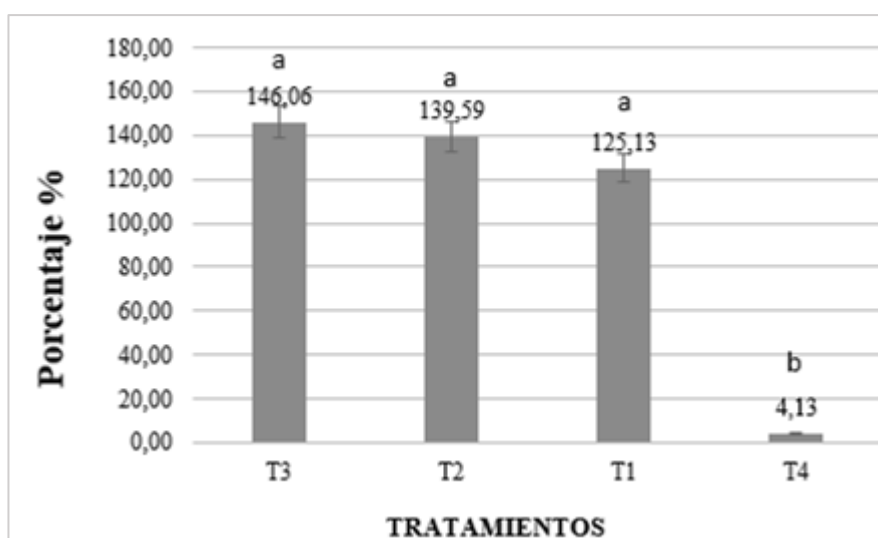


Figura 13. Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de absorción de agua.

Fuente: Pérez, 2021

De acuerdo con la norma ASTM (C578-04), especifica que el límite máximo de humedad para este tipo de materiales debería ser 4 %, por lo que los tres tratamientos (T1, T2 y T3) a base de productos orgánicos no cumplen con las especificaciones, ya que la absorción promedio de humedad fue de 146,06 %, 139,59% y 125,13% respectivamente, por lo que en la prueba estadística se demuestra que los tratamientos no tienen significancia entre sí. Esta respuesta puede estar relacionada al tamaño del poro que presentan estos materiales, de acuerdo con (Colmenares, Bautista y Oliveros, 2018) en los biomateriales el tamaño de poro mayor, existe más absorción de agua. Por lo que, López (2004) afirma que en los espacios entre partículas cuyo diámetro es superior permiten fluir con facilidad la luz, fluidos, o el aire que en los poros de diámetro menor.

De acuerdo a López (2014), los biomateriales de *P. ostreatus* y residuos de cosecha, cuando entran en contacto con agua, presentan un elevado porcentaje de absorción por lo que aumenta su peso, volviéndolos imprácticos para emplearlos con fines de embalaje. Sin embargo, no se descarta su aplicación, se los puede emplear para fines de embalaje de artículos pequeños.

Flexión

En la Tabla 15 se evidencia que los datos del análisis físico mecánico en cuanto a la flexión de los materiales alternativos al poliestireno, presentan un carácter paramétrico, evidenciando una distribución normal.

Tabla 15

Prueba de Normalidad.

Prueba de Shapiro-wilk				
Tratamientos	W	p-value	Alpha	Normalidad
T1	0,82	0,17	0,05	SI
T2	0,99	0,78	0,05	SI
T3	1,00	0,99	0,05	SI
T4	0,75	0,0001	0,05	SI

Elaborado por: Pérez, 2021

La Tabla 16 muestra el análisis estadístico en cuanto al análisis de flexión de los materiales alternativos al poliestireno; T1 (bagazo de caña de azúcar), T2 (tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 (testigo). De esta manera se evidencia una diferencia significativa en cuanto al valor de flexión de los mismos. El coeficiente de variación resultante del análisis presenta un porcentaje del 6,74 %; lo que indica que la toma de datos fue precisa dentro de un diseño bajo condiciones controladas.

Tabla 16

Análisis de varianza de la evaluación de la flexión de los materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.

FC	GL	SC	CM	F cal	F tab 0,05	Significancia
Total	11	0,002				
Tratamiento	3	0,002	0,001	68,52	4,07	*
Error	8	0,000	0,000			
CV: 6,74%						
\bar{x}: 0,05 MPa						

Nota: **FV:** Factor de varianza, **GL:** Grados de libertad, **SC:** Sumatoria de cuadrados, **CM:** Cuadrado Medio, **Fcal:** Nivel de significancia, *: Significativo, **CV:** Coeficiente de Variación.

Elaborado por: Pérez, 2021

Mediante el análisis estadístico se determinó la presencia de 4 rangos diferentes: El tratamiento T4 se ubica en el rango (a) y T1 en el rango (b), demostrando que los dos tratamientos tienen significancia entre sí. T2 se ubica en el rango (bc); en este caso se identifica que tiene características del tratamiento T1 (b) y T3 que está en el rango (c).

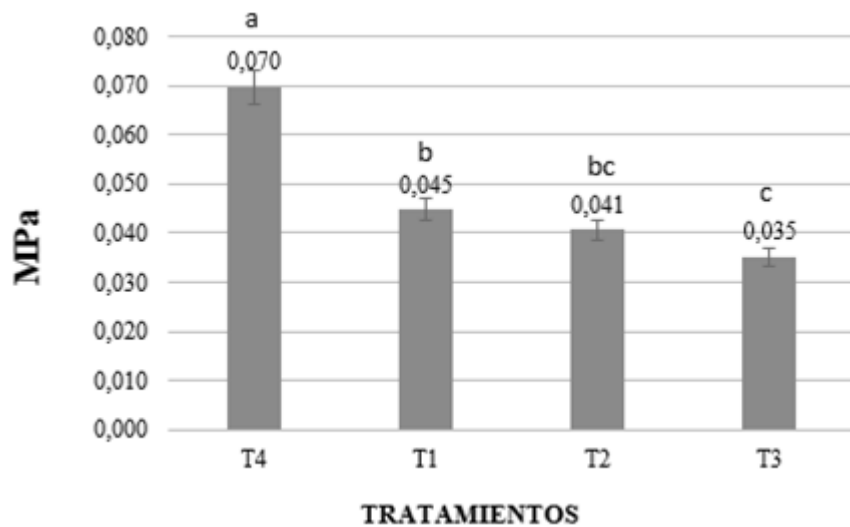


Figura 14. Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de flexión.

Fuente: Pérez, 2021

Para los biomateriales la resistencia a la flexión varió entre 0,045, 0,041 y 0,35 MPa, pero, el tratamiento T2 presenta similitud del T1 y T3. Sin embargo, según la norma ASTM (C578-04) los materiales obtenidos fueron menos resistentes que el EPS. Presumiblemente, según (Colmenares, Bautista y Oliveros, 2018) esto se deba a la porosidad del material, ya que este factor disminuye la resistencia mecánica. Por lo que, (Callister, 2007) señala que los poros reducen el área de la sección transversal donde se aplica la carga. Al hacer una comparación con otros biomateriales, en la investigación de (López, 2014) señala en su investigación que la resistencia a la flexión de los biomateriales elaborados con residuos de trigo y *P. ostreatus* fue de 0,046 a 0,0179 MPa; por otro lado, en la investigación de (Luna y Muñoz, 2019) en tratamientos a base de bagazo de caña presentaron resistencia a la flexión de 0,017 y 0,026 MPa por el contrario el EPS tuvo una resistencia a la flexión de 0,074 MPa. Lo que indica que resultaron menos resistentes en comparación a los biomateriales elaborados en el presente trabajo.

La resistencia a la flexión de los biomateriales de esta investigación está asociada al tipo de residuos y al tipo de mezcla, en especial al uso del bagazo de caña (T1), el cual obtuvo mejor resistencia que los otros biomateriales (T2 y T3).

Esta característica de baja resistencia a la flexión se debe según (Chandramohan, 2019) al micro bloqueo de las fibras en el material compuesto como también se le atribuye al bajo crecimiento interno y heterogéneo del micelio, haciendo que los material obtenidos no sea uniforme y por ende sea quebradizo, y frágil para evitar la ruptura. Y de acuerdo a (Appels et al., 2019) el grosor de la piel del hongo incide en las propiedades mecánicas ya que brindan una mayor compactación y elasticidad al material.

Compresión

En la Tabla 17 se evidencia que los datos del análisis físico mecánico en cuanto a la compresión de los materiales alternativos al poliestireno, presentan un carácter paramétrico, evidenciando una distribución normal.

Tabla 17

Prueba de Normalidad.

Prueba de Shapiro-wilk				
Tratamientos	W	p-value	Alpha	Normalidad
T1	0,75	0,0001	0,05	SI
T2	0,89	0,36	0,05	SI
T3	0,99	0,78	0,05	SI
T4	0,75	0,0001	0,05	SI

Elaborado por: Pérez, 2021

La Tabla 18 muestra el análisis estadístico en cuanto al análisis de compresión de los materiales alternativos al poliestireno; T1 (bagazo de caña de azúcar), T2 (tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 (testigo). De esta manera se evidencia una diferencia significativa en cuanto al valor de compresión de los mismos. El coeficiente de variación resultante del análisis presenta un porcentaje del 7,35 %; lo que indica que la toma de datos fue precisa dentro de un diseño bajo condiciones controladas.

Tabla 18

Análisis de varianza de la evaluación de la compresión de los materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.

FC	GL	SC	CM	F cal	F tab 0,05	Significancia
Total	11	0,00069				
Tratamiento	3	0,00065	0,00022	45,80	4,07	*
Error	8	0,00004	0,00000			
CV: 7,35%						
\bar{x}: 0,03 MPa						

Nota: **FV:** Factor de varianza, **GL:** Grados de libertad, **SC:** Sumatoria de cuadrados, **CM:** Cuadrado Medio, **Fcal:** Nivel de significancia, *: Significativo, **CV:** Coeficiente de Variación.

Elaborado por: Pérez, 2021

Mediante el análisis estadístico se determinó la presencia de 2 rangos diferentes: El tratamiento T1, T4 y T3 se ubican en el rango (a); demostrando que los tres tratamientos no tienen significancia entre sí, pues la compresión obtenida de dichos materiales es igual entre ellos. En el rango (b) se ubica T2, señalando que la compresión de este tratamiento presentó diferencias significativas frente a los anteriores.

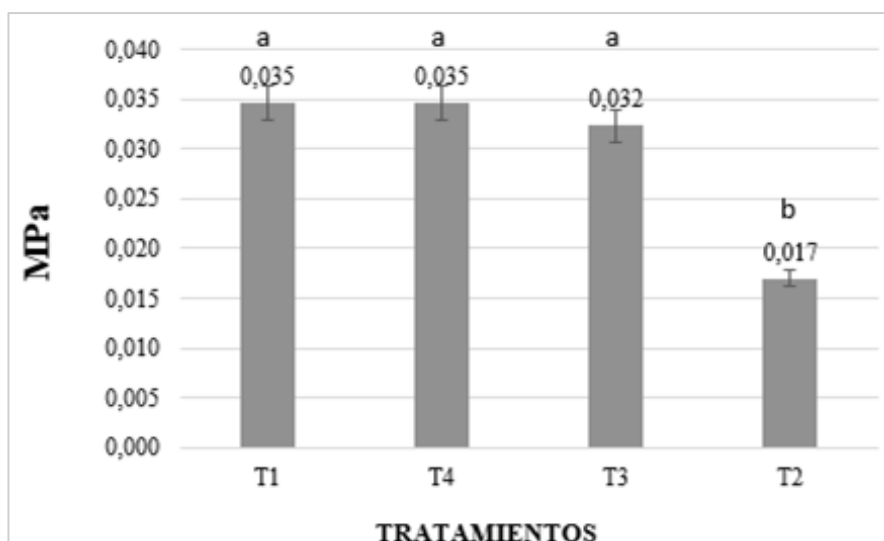


Figura 15. Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de compresión.

Fuente: Pérez, 2021

De acuerdo con los valores obtenidos, los materiales probados alcanzaron una resistencia a la deformación del al 10 % sin quebrarse, como lo expresa la normativa ASTM (D-1621). En general, el esfuerzo aplicado varió entre 0,017 y 0,035 MPa, no obstante, para los tratamientos (T1, T3 y T4) como lo indica el análisis estadístico presentan similitud que, de acuerdo a la normativa ASTM (C578-04) se encuentran en los valores aceptables para EPS. Ahora si se comparan los tratamientos con el EPS, este obtuvo una fuerza de compresión de 0,035 MPa, siendo igual al tratamiento T1, ya que, el EPS es un material celular de espuma polimérica que absorbe energía y por ello es usado como material de embalaje o de protección (Ling, Cardi, y Gilchrist, 2018), por lo que de los resultados obtenidos con el bagazo de caña no están tan alejados del material de referencia y se puede seguir mejorando para que aumente su resistencia y pueda reemplazar parcialmente el polímero, para ello será necesario tener alta densidad ya que de acuerdo a (Cronin y Ouellet, 2016; Beju y Mandal, 2017) a medida que aumenta la densidad aumenta el módulo elástico.

Al comparar estos resultados con los de (López, 2014) los valores de esfuerzo a la compresión para biomateriales preparados con *P. ostreatus* variaron de 20 a 60 KPa siendo, estos, más resistentes que el EPS. Para (Luna y Muñoz, 2019) en su investigación para los tratamientos con bagazo de caña presentaron un promedio para esfuerzo a la compresión de 38,688 KPa y 53,870 KPa, notándose una diferencia entre sí, debido al crecimiento no uniforme del hongo que por ser de origen biológico creció de diferente manera en los dos tratamientos. Resultados similares se han obtenido en otros estudios realizados por (López N, *et al.*, 2016) en donde usan un micelio (*Pleurotus sp.*) y (*Triticum sp.*), y recubrimientos comestibles, en sus resultados de esfuerzo de compresión obtuvieron 41,72 KPa para su muestra, aunque se rigieron a la norma ASTM C 165 para realizar la prueba de resistencia a la compresión,

Dureza

En la Tabla 19 se evidencia que los datos del análisis físico mecánico en cuanto a la resistencia de los materiales alternativos al poliestireno, presentan un carácter paramétrico, evidenciando una distribución normal.

Tabla 19

Prueba de Normalidad.

Prueba de Shapiro-wilk				
Tratamientos	W	p-value	Alpha	Normalidad
T1	0,96	0,62	0,05	SI
T2	0,89	0,35	0,05	SI
T3	0,95	0,59	0,05	SI
T4	0,75	0,0001	0,05	SI

Elaborado por: Pérez, 2021

La Tabla 20 muestra el análisis estadístico en cuanto al análisis de resistencia de los materiales alternativos al poliestireno; T1 (bagazo de caña de azúcar), T2 (tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 (testigo). De esta manera se evidencia una diferencia significativa en cuanto al valor de resistencia de los mismos. El coeficiente de variación resultante del análisis presenta un porcentaje del 8,76%; lo que indica que la toma de datos fue precisa dentro de un diseño bajo condiciones controladas.

Tabla 20

Análisis de varianza de la evaluación de la resistencia de los materiales alternativos al poliestireno, T1, T2, T3 y T4.

FC	GL	SC	CM	F cal	F tab 0,05	Significancia
Total	11	310,69469				
Tratamiento	3	257,50123	85,83374	12,91	4,07	*
Error	8	53,19347	6,64918			
CV: 8,76%						
\bar{x}: 29,43 Ha						

Nota: **FV:** Factor de varianza, **GL:** Grados de libertad, **SC:** Sumatoria de cuadrados, **CM:** Cuadrado Medio, **Fcal:** Nivel de significancia, *: Significativo, **CV:** Coeficiente de Variación.

Elaborado por: Pérez, 2021

Mediante el análisis estadístico se determinó la presencia de 2 rangos diferentes: El tratamiento T1 y T3 se ubican en el rango (a); demostrando que los dos tratamientos no tienen significancia entre sí, pues la rigidez obtenida de dichos materiales es igual entre ellos. En el rango (b) se ubica T2 y T4, caso similar a los tratamientos antes mencionados, de esta manera se define que los tratamientos T3 y T1 frente a los tratamientos T2 y T4, presentan diferencias significativas entre sí.

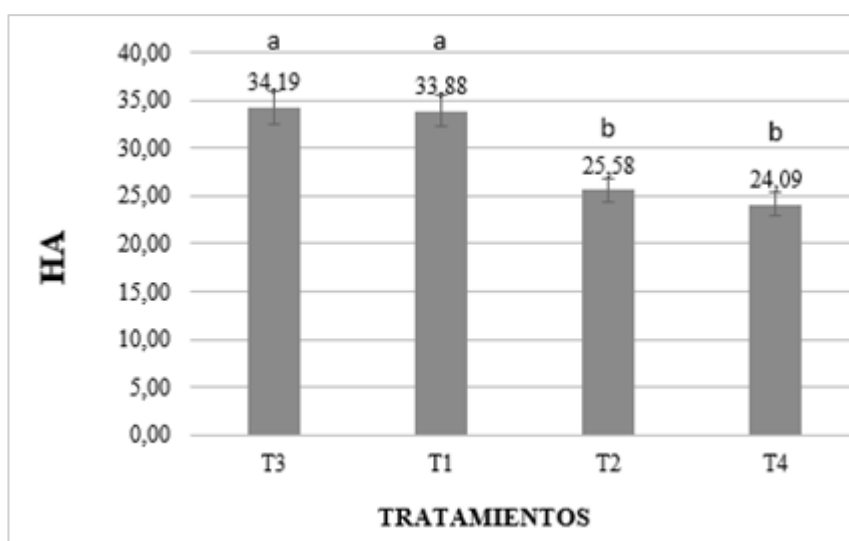


Figura 16. Prueba de comparación de medias de Tukey de los tratamientos aplicados, con relación al análisis de dureza.

Fuente: Pérez, 2021

Los resultados demuestran que los tratamientos con mayor dureza corresponden a T1 y T3 con 33,38 y 34,19 HA respectivamente, sin embargo, el tratamiento que se acercó a las características del testigo T4 es T2 a tratamiento a base de tamo de trigo 25,58 HA. Al comparar el trabajo de (Tamayo, 2018) los resultados obtenidos, del análisis de dureza para los biomateriales a base de residuos orgánicos y *P. ostreatus* varía entre 2,49 a 5,68 Kgf, siendo el tratamiento a base de caña de azúcar uno de los que más dureza presentó.

La característica de dureza puede en este trabajo de investigación puede estar relacionada directamente con las características de soporte que presentan los materiales obtenidos. Está claro que la composición de las fibras de caña de azúcar y tamo de trigo proveen de un carácter semileñoso al material, y proporcionan mayor dureza frente al material conformado solo de tamo de trigo. Esta característica es muy favorable al momento de seleccionar el

mejor prototipo ya que, el material que se busca, requiere sostener elementos pesados con peso específico durante un tiempo prolongado.

5.3 Socialización de resultados

La socialización se realizó el 30 de julio del 2021, mediante la plataforma virtual de Zoom, donde se contó con la asistencia de un total de 21 personas, logrando la participación de docentes, estudiantes de la PUCE-SI y profesionales invitados.

En la reunión se dio a conocer los procesos y los resultados obtenidos en esta investigación, sobre los materiales elaborados a base de micelio de hongo y residuos de cosecha como alternativa al poliestireno expandido (EPS). El proyecto de investigación fue recibido de grata manera por los asistentes, donde el 73,7% considera que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad, mientras que el 52,6% de los participantes cree que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución, el 78,9% cree que la investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores, es así que el 63,2% afirmó que los objetivos planteados expuestos en la investigación, fueron cumplidos como se muestra en la Figura 17.

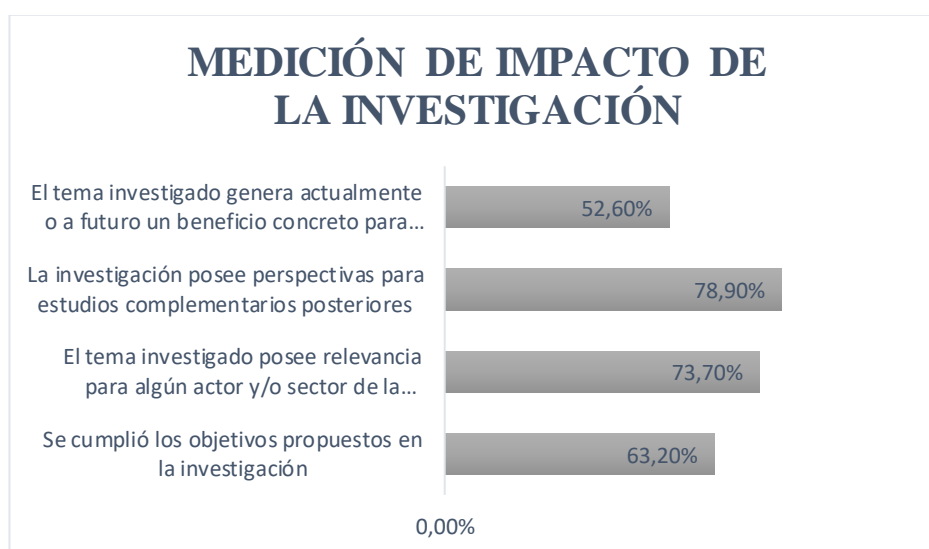


Figura 17. Medición de impacto de la investigación

Fuente: Pérez, 2021

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- Es posible elaborar materiales económicos y biodegradables a base de residuos orgánicos, como bagazo de caña de azúcar y tamo de trigo (individuales y en mezcla), con el hongo *P. Ostreatus*, cumpliendo con los requerimientos nutricionales y las condiciones físicas del medio.
- Los factores que posiblemente incidieron en los resultados de las pruebas físico mecánicas, el primero pudo ser que el hongo no colonizó adecuadamente el sustrato y el segundo que, los moldes empleados afectaron de alguna manera en el crecimiento y desarrollo del micelio por las siguientes razones: el tipo de material, la maleabilidad, la falta de aireación la adherencia del sustrato a las paredes o los factores de manejo.
- Existen diferencias significativas en los tratamientos con respecto a las propiedades físicas de densidad y absorción de agua, siendo el tratamiento T2 y T1, sin embargo, no cumplen con los requerimientos de la normativa ASTM 578-04 para el poliestireno expandido tipo XI.
- Los materiales elaborados con bagazo de caña, (100%), tamo de trigo (100%) y bagazo de caña y tamo de trigo (50:50), cumplen con las especificaciones establecidas por la norma ASTM 578-04 para el poliestireno expandido de tipo XI, en resistencia a la compresión
- En cuanto al análisis de dureza el tratamiento que se asemeja al testigo T4 es el tratamiento a base de tamo de trigo T2, sin embargo, no se descartan los tratamientos T1 y T3 ya que presentan mayor dureza que el poliestireno.
- Se acepta parcialmente la hipótesis nula, ya que los materiales obtenidos resultaron tener propiedades físicas y mecánicas distintas al EPS, sin embargo en algunos casos (resistencia a la compresión y dureza) los tres tratamientos presentan similitud con el testigo EPS, mientras que para el resto de análisis no cumplen con las especificaciones establecidas por la

normativa ASTM 578-04 (densidad, absorción de agua y flexión), por lo tanto, se pueden utilizar en algunas aplicaciones como embalaje para artículos de pequeño y mediano peso.

- Al analizar los resultados de las propiedades físico- mecánicas el tratamiento T1 a base de bagazo de caña de azúcar es el tratamiento más viable para fines de embalaje, ya que se acerca a las condiciones de EPS establecidas en la normativa ASTM 578-04.
- Para obtener buenos resultados en el proceso de obtención del material es importante el control de los parámetros que afectan el crecimiento del hongo, como es la asepsia de los espacios y equipos utilizados, el aseo del personal que manipula.
- La fabricación a gran escala de este tipo de materiales representaría un gran aporte, ya que con estos materiales no solo se estaría cubriendo una demanda, sino que también esta alternativa representa una salida viable para aportar con el país de reducir con las emisiones de carbono.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- En este tipo de investigaciones donde existe un microorganismo involucrado en el proceso, resulta ser sumamente complejo por la cantidad de factores que influyen en el crecimiento del hongo, por lo que se debe tener un control más riguroso en los parámetros de temperatura, humedad, inocuidad de equipos
- La calidad de las piezas depende del molde en que sean fabricadas, para aquellas piezas que requieran estabilidad dimensional y rigidez se recomienda el uso de moldes rígidos que permitan conservar la humedad y un contramolde que mantenga la presión sobre la pieza.
- Otro factor importante que se debe tener en cuenta es la trazabilidad de los sustratos que se utilizaran, ya que se debe evitar que contengan residuos de plaguicidas o fungicidas, los cuales pueden afectar el crecimiento del hongo de forma parcial o total y como consecuencia repercutir en las propiedades del material resultante.
- Es recomendable realizar pruebas con distintas concentraciones de siembra si se quiere masificar la producción de estos materiales, es decir, evaluar el porcentaje de semilla y sustrato; así se apalancan costos de producción y se podría obtener una mayor rentabilidad.
- El sustrato de bagazo de caña se estableció como la opción más factible, luego de haber sido comparado con sustratos como: tamo de trigo y la mezcla de estos; aún existen otros subproductos o residuos agroindustriales que podrían ser utilizados, al igual que se puede emplear otra variedad de hongo como es el *Pleurotus dejamor*, mismo que podría mejorar las características de los biomateriales.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Rivera, N. y De Jesús-Merales, J. (2010). Edible mushroom *Pleurotus ostreatus* production on cellulosic biomass of sugar cane. *Shugar tech* 12(2), pp. 177.
- Antolín, G. y Oliva, D. (2003). Caracterización del bagazo de caña de azúcar mediante análisis térmico. *Información tecnológica*, 14(4), pp. 92.
- Appels, F., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, B., Dijsterhuis, J., Wösten, H. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, (161), p. 64–71.
- Asociación siempre verde, (2013). *Partes de la seta* 2. <https://asociacionsiempreenmedio.wordpress.com>
- Atencio, V. y Gallego, L. (2018). *Obtención de un material compuesto de origen natural*. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia-Medellín. Recuperado de <https://repository.upb.edu.co>
- Attias, N., Danai, O., Ezov, N., Tarazi, E., y Grobman, YJ. (2017). Desarrollo de aplicaciones novedosas de materiales biocompuestos basados en micelio para diseño y arquitectura. *Procedimientos de construcción con materiales de base biológica: buenas prácticas y especificación de rendimiento*, 6 al 7 de septiembre, 76-77.
- Banderas, M. (2012). *Proximal analysis of the main nutritional components of polished rice, rice flour, flower wheat, yellow corn and chola potatoes*. (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec>
- Barbado, J. (2003). *Hongos comestibles*, 1ra ed. Buenos Aires: Albatros. Recuperado de: <https://books.google.com.ec>
- Bejarano, J. (2016). *Caracterización fisicoquímica del sustrato agotado de *Pleurotus ostreatus* (orellana) y sus potencialidades agroindustriales*. (Tesis de pregrado) Universidad San Buenaventura Cali. <http://bibliotecadigital.usbcali.edu.com>

- Beju, Y. y Mandal, J. (2017). Expanded Polystyrene (EPS) geofoam. Preliminary characteristic evaluation. *Procedia Engineering*, (189), pp. 239-246.
- Benítez, P. y Gutiérrez, I. (2012). Determination of moisture content in splinters of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, using a domestic oven icrowave. *Ingeniería* 22(1), p. 1409-2441.
- Bravo, D. y Arroyo, F. (2017). Sustainable innovation: *Un camino al desarrollo productivo del Ecuador*. *Innova* (3), 31-32
- Bruscato, C., Malvessi, E., Brandalise, R. y Camassola, M. (2019). High performance of macrofungi in the production of mycelium-based biofoams using sawdust d *Sustainable technology for waste reduction. Cleaner Production*. 121, p. 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.150>
- BBC_Ciencia (18 diciembre, 2013). Tres ideas para reemplazar el plástico. *BBC Mundo*. Recuperado de: <https://www.bbc.com>
- Calderón, M., Andrade, F., Lizarzaburu, L., y Masache, M. (2017). *Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador*. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/>
- Callister, W. (2007). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Editorial Reverté, España
- Carrera, B. (2017). *Evaluación de materiales flotantes para cultivos hidropónicos de lechuga (Lactuca sativa)*. (Tesis de pregrado, Universidad de las Américas). <http://dspace.udla.edu.ec>
- Caram, J. (2011). *Materiales que garantizan el futuro: micelio*. Recuperado de: <http://www.unaus.eu>
- Centro de Información Técnica (CIT), (2011). *Poliestireno: características y ventajas respecto al medio ambiente*. Recuperado de: <http://ecoplas.org.ar>

- Chandramohan, K. (2019). *Materials Today proceedings variation in compressive and flexural strength of the carbon epoxy composites with the addition of various fillers to the epoxy resin*. Materials Today, p. 9.
- Colmenares, E., Bautista, L. y Oliveros, C. (2018). Material ecológico con fines de embalaje a partir del hongo *Pleurotus ostreatus* y residuos orgánicos agroindustriales. *Revista Científica Unet Ciencias Exactas*, 30 (1), 324-332.
- Constituyente. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. Quito: LEXIS.
- Cronin, D. y Ouellet, S. (2016). Low density polyethylene, expanded polystyrene and expanded polypropylene: Strain rate and size effects on mechanical properties. *Polymer Testing*, 53, pp. 40-50.
- Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R. y Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista colombiana de ciencia animal*, 9 (3), 123.
- Dávila, P. (2015). Determination of sodium, potassium, iron, zinc and calcium in three legumes: chickpea, soybeans and peanuts, by flame atomic absorption spectrophotometry. Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Católica del Ecuador Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec>
- Ecovative Design (2013). Ecovative's Mushroom Materials How To Video. Youtube. 26 de abril de 2019.
- Espinoza, A. y Pazmiño, V. (2016). *Elaboración de productos agroindustriales a partir de (Pleurotus ostratus, djamor), como alternativa al poliestireno expandible*. (Tesis de pregrado, Universidad de la Américas). Recuperado de: <http://dspace.udla.edu.ec>
- Foronda, L. y Palacios, O. (2017). *Diseño de un proceso de fabricación de láminas de poliestireno expandido en la provincia de Santa Elena*. (Tesis de pregrado) Universidad de Guayaquil. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec>

- Gaitán, R., Salmones, D., Pérez, R. y Mata, M., (2006). *Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción, 1era. ed., 2a. reimp.* Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver., México, 56 pp.
- García, J., Cedeño, E., García, D., Morán, E., Ruso, J. y Yulán, H. (2017). *Desarrollo industrial Ecuatoriano: Potencial Territorial para la competitividad internacional.* Ministerio del AGRO, Ecuador.
- García, M. (2007). *Cultivo de setas y trufas.* Madrid: Mundi-Prensa. Recuperado de <https://books.google.com.ec>
- Gilberto, A. y Perdomo, M. (2002). Plásticos y medio ambiente. *Revista Iberoamericana Polímeros*, 3(2), pp.13
- González, D. y González, C. (2004). Jugo de caña y follajes arbóreos en la alimentación no convencional del cerdo. *Revista computarizada de producción porcina*, 11(3), pp. 28.
- Grossi, G; Ohaco, E y De Michelis, A. (2015). *Determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble en hongos comestibles de cultivo Pleurotus ostreatus.* Argentina: Inta. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files>
- Guzmán, F., (3 abril, 2017). Espuma biodegradable para sustituir al unicel. *El Universal.* Recuperado de: <https://www.eluniversal.com.mx>
- Harvard, U. (2008). *Polyestyrene Fast Facts.* Recuperado de <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic967858.files/PolyestyreneFastShe>
- Jiménez, F. (2018). *Elaboración de un material biológico a partir de hongo Pleurotus Ostreatus para su utilización en aplicaciones de ingeniería.* (Tesis de pregrado) Universidad de Costa Rica.
- López, A y Pérez, W. (2019). Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. *Informador Técnico*, 83(2), 209-219. <https://doi.org/10.23850/22565035.1638>

- Proyecto Norma Mexicana (PROY-NMX-C-137), (2009). *Industria de la construcción espuma rígida de poliestireno, EPS -especificaciones y métodos de ensayo*. México.
- Illana, C., (2016). Hifas de hongos como material de construcción II. *Yesca* 28, 20-21
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), (2020). *Boletín técnico 01, GADM*.<https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- ISO 6865:2000 (2009). *Determinación del contenido de fibra cruda AOAC 978.10 Fibra (Crudq) en piensos animales y alimentos para mascotas REG CE*.
- Laetitia, Mikuljan y Pohleven, (2018). *Evaluación de materiales a base de hongos lignocelulósicos*. COST Action. Recuperado de <http://costfp1407.iam.upr.si>
- Ling, C., Cardi, P. y Gilchrist, M. (2018). Mechanical behavior of EPS foam under combined compression shear loading. *Experimental desing and quasi-static tests* (14).
- López, J., Méndez, J., Ruelas, X. y Nájera, J. (2016). Assessment of Edible Fungi and Films Bio-Based Material Simulating Expanded Polystyrene. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(8), pp. 1058-1090.
- López, J. (2014). *Desarrollo de biomaterial alternativos al Poliestireno expandido a partir de hongos y cubiertas comestibles*. (Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). Recuperado de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080>
- López, J. (2006). *Construcción de un Belén cuadro*. Recuperado de: <https://books.google.com.ec>
- Luna, J. y Muñoz, A. (2019). *Manufacture of a biodegradable composite material by fungal colonization of Ganoderma lucidum in natural fibers*. (Trabajo de pregrado) Universidad del Cauca.

- Manjarrés, k., Castro, A. y Rodríguez, E., (2010). Producción de lacasa utilizando *Pleurotus ostreatus* sobre cáscaras de plátano y bagazo de caña. *Revista Lasallista de Investigación*, 7 (2), 10-11.
- Martínez, C. y Laines, J. (2013). *Poliestireno Expandido (EPS) y su problemática ambiental*. Revista de Divulgación, División Académica de Ciencias Biológicas, 19(36), 63. Recuperado de <http://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article>
- Motator, K., Mejía, A. y León, A., (2005). Evaluación de los residuos agroindustriales de plátano (*Musa paradisiaca*) y aserrín de abarco (*Cariniana piriformes*) como sustratos para el cultivo del hongo *Pleurotus djamor. Vitae*, *Revista de la facultad de química farmacéutica*, 13 (1), 26.
- Ocles, E. (2017). *La industria del sector Poliestireno en el marco del Código Orgánico de la Producción*. (Trabajo previo a la obtención de la Maestría en Tributación) Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador.
- Ossa, A. (2009). *Comportamiento mecánico del poliestireno expandido (EPS) bajo carga de compresión*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080>
- Peña, W. (26 de julio de 2018). Caracterización del poliestireno expandido residual a nivel global: una revisión de la literatura. *Researchgate*. DOI: 10.13140/RG.2.2.22356.71046
- Quintero, C., (2013). *Reciclaje termo – mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios*. (Tesis de pregrado) Universidad de Manizales. Recuperado de: <http://ridum.umanizales.edu.co>
- Quiñonez, J. (2014). *Uso de bloque de poliestireno expandido (EPS) para disminuir empujes sobre elementos de contención*. (Tesis de pregrado) Universidad Central del Ecuador.

- Quizpilema, L. (2013). *Validación de la tecnología para la producción e industrialización de hongos comestibles Pleurotus ostreatus utilizando sustratos comestibles*. (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
- Rivas, M. (2019, julio 16). *La crisis de la contaminación plástica*. Heinrich Boll Stiftung Ciudad de México
- Rodríguez, I. (14 septiembre, 2104). Biomaterial sustituto al poliestireno expandido. *Saberes y Ciencias*. Recuperado de: <https://saberesyciencias.com.mx>
- Rojas, G., (2004). *Evaluación de paja de trigo, Triticum sativum; broza de encino, Quercus sp. y rastrojo de maíz, Zea mays; para el cultivo del hongo comestible Pleurotus ostreatus bajo condiciones artesanales en San Rafael la Independencia, Huehuetenango*. (Tesis de pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de: <http://biblioteca.usac.edu.gt>
- Ramón, P. y Ramón D., (2012). *Análisis de la capacidad degradativa de residuos lignocelulósicos utilizando el hongo (Pleurotus ostreatus var. Florida)*. (Tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec>
- Ramos, R., Molina, F., y Pérez, L. (2014). *Encofrado perdido constituido por paja cohesionada con micelio como sustituto del poliestireno expandido*. Informes de la Construcción, 66(EXTRA-1): m006, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.097>.
- Registro Oficial Suplemento 983, (2017). *Código Orgánico del Ambiente (COA)*. Recuperado de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/05NOR2017-COA.pdf>
- Rivera, R., Martínez, C. y Morales, S. (2013). Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Luna Azul ISSN*, 37, p. 89-100.

- Rodríguez, S. (2017). *Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales*. RChD: creación y pensamiento, 3(5), 1-15doi: 10.5354/0719-837x.2018.5063
- Sñanchez, J. y Royse, D. (2001). *La biología y el cultivo de Pleurotus spp.* D.R. © El Colegio de la Frontera Sur.
- Saltos, P., Chango, J., Aldás, M. y Quiróz, F. (2015). *Reciclaje de Poliestireno Expandido por el Método de Disolución Precipitación*. Revista Politécnica 36(2), 80. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/304013116_Reciclaje_de_Poliestireno_Expandido_por_el_Metodo_de_Disolucion_Precipitacion
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de biotecnología y bioingeniería A.C.* 16 (2), 11-13.
- Suárez, C., (2010). *Obtención in vitro de micelio de hongos comestibles, shiitake (lentinula edodes) y orellanas (pleurotus ostreatus y pleurotus pulmonarius) a partir de aislamientos de cuerpos fructíferos, para la producción de semilla*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co>
- Tamayo, E., (2018). *Aplicación de materiales amigables con el ambiente, sustitutos al poliestireno expandido para uso en hidroponía*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- Terán, I. (2017). *Diagnóstico del consumo de poliestireno expandido en los patios de comida de la ciudad de Guayaquil y propuesta de una política de gestión ambiental para su sustitución*. (Tesis de pregrado) Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Recuperado de: <http://repositorio.uees.edu.ec>
- Vivek, B., Krivanck, A., Palacios-Rojas, A., Twumasi-Afriyie, S. y Diallo A., (2008). *Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM). Protocolos para generar variedades QPM*. México, D.F., CIMMYT.

Viziteu, G. (2005). *Sustrato. Rumania*: Copyright Mushworld. Recuperado de <http://www.hongoscomestibleslatinoamerica.com>

Zadrazil, F. (1974). The ecology and industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus cornucopiae* y *Pleurotus eringii*. *Mush. Sci.* 9, 621-652

ANEXOS

Anexo 1. Elaboración de un material a base de sustratos orgánicos y micelio de hongo



Figura 18. Preparación y formulación de sustratos



Figura 19. Elaboración de probetas y secado del bio material

Anexo 2. Realización de pruebas físico- mecánicas a los biomateriales y testigo

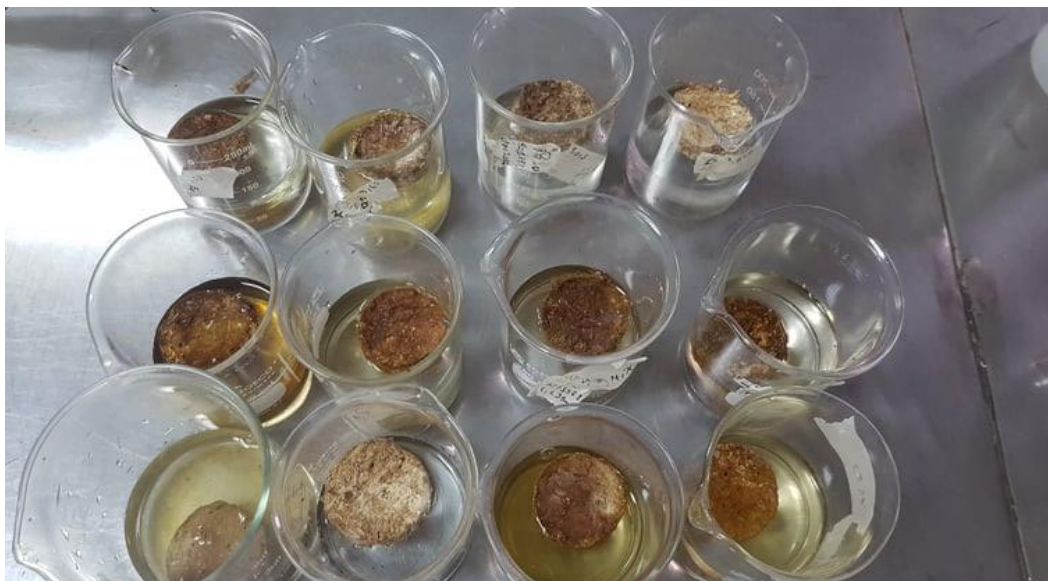


Figura 20. Prueba física de absorción de agua

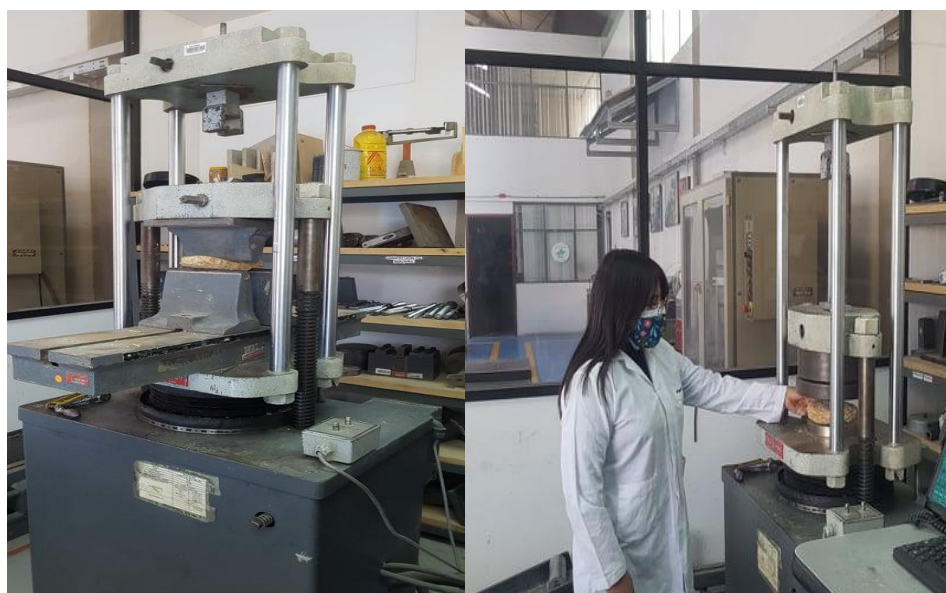


Figura 21. Pruebas mecánicas de flexión y tracción en los laboratorios de la PUCE

Anexo 3. Determinación de nitrógeno y proteína en los sustratos

El cálculo de nitrógeno y proteína para bagazo de caña de azúcar se muestra a continuación:

$$\%N = \frac{(VM - VB)}{PM} \times 1,4$$

$$\%N = \frac{(4,72 - 0,2)}{2,003} \times 1,4$$

$$\%N = 3,156$$

$$\%PB = \%N \times Fc$$

$$\%PB = 3,156 \times 6,25$$

$$\%PB = 19,74$$

El cálculo de nitrógeno y proteína para tamo de trigo se muestra a continuación:

$$\%N = \frac{(4,28 - 0,2)}{2,003 \times 10} \times 1,4$$

$$\%N = 2,851$$

$$\%PB = 2,851 \times 6,25$$

$$\%PB = 17,82$$

El cálculo de nitrógeno y proteína para bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo e muestra a continuación

$$\%N = \frac{(4,52 - 0,2)}{2,008} \times 1,4$$

$$\%N = 3,01$$

$$\%PB = 3,01 \times 6,25$$

$$\%PB = 18,82$$

Anexo 4. Resultados de las propiedades físicas de densidad y humedad de los tratamientos

Tabla 21. *Resultados de las propiedades físicas de densidad y humedad de los tratamientos*

Densidad Kg/m³				
Tratamientos	I	II	III	PROMEDIO
T1	120,00	120,00	110,00	116,67
T2	100,00	100,00	110,0	103,33
T3	110,00	110,00	100,00	106,67
T4	14,00	13,00	14,00	13,67

Absorción de agua (%)				
Tratamientos	I	II	III	PROMEDIO
T1	125,1	124,24	125,63	125,13
T2	142,85	151,61	124,31	139,59
T3	142,06	139,39	156,74	146,06
T4	4,00	4,34	5,05	4,13

Nota: T1 (sustrato a base de bagazo de caña), T2 (sustrato de tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 testigo (EPS).

Fuente: (Pérez, 2021)

Anexo 5. Resultados de las pruebas mecánicas: Flexión, Compresión y Dureza

Tabla 22. *Evaluación de las pruebas mecánicas: Flexión, Compresión y Dureza*

Flexión (MPa)				
Tratamientos	I	II	III	PROMEDIO
T1	0,051	0,041	0,041	0,045
T2	0,041	0,043	0,038	0,041
T3	0,035	0,033	0,037	0,035
T4	0,070	0,070	0,069	0,07
Compresión MPa				
Tratamientos	T2	T3	T4	Promedio
T1	0,036	0,032	0,036	0,035
T2	0,016	0,015	0,020	0,017
T3	0,030	0,032	0,035	0,032
T4	0,035	0,034	0,035	0,035
Dureza (HA)				
Tratamientos	I	II	III	Promedio
T1	38,38	32,96	30,30	33,88
T2	26,41	24,33	26,00	25,58
T3	33,57	32,00	37,00	34,19
T4	22,50	24,88	24,88	24,09

Nota: T1 (sustrato a base de bagazo de caña), T2 (sustrato de tamo de trigo), T3 (bagazo de caña de azúcar + tamo de trigo) y T4 testigo (EPS).

Fuente: (Pérez, 2021)

Anexo 6. Resultados de las pruebas físicas realizadas en los laboratorios de la PUCE



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



LABORATORIO DE MATERIALES DE CONCRETO
PUCE

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
CARGA EN EL PUNTO MEDIO

PROYECTO: Tesis: Elaboración de Biomaterial a base de residuos orgánicos y micelio del hongo pleurotus ostreatus

LOCALIZACIÓN: Ibarra

MUESTRA: Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C203

SOLICITA: Margarita Pérez

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN: 13/05/2021

FECHA DE EMISIÓN: 25/05/2021

ORDEN DE TRABAJO: 34171

HOJA: 1 de 6

Probeta N°	1	2	3
Identificación de la probeta	Caña		
Fecha de fabricación	2021/03/04		
Fecha de ensayo	2021/05/13		
Edad (días)	70		
Longitud (mm)	195,0	197,7	200,0
Ancho (mm)	83,0	85,2	86,6
Altura (mm)	33,1	29,3	33,1
Volumen (mm ³)	536047	494411	573292
Masa (gr)	64,58	62,80	49,78
Peso Unitario (gr/cm ³)	0,12	0,13	0,09
Distancia entre apoyos (mm)	120,0	120,0	120,0
Carga máxima (N)	26,0	16,5	16,8
Módulo de rotura (MPa)	0,051	0,041	0,032
Módulo de rotura promedio (MPa)	0,041		



Figura 1. Esquema de ensayo de Flexión - Probeta de Caña

OBSERVACIONES:

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

1MPa = 10,2 Kg/cm²


 Ing. Maria Inés Galvo
 Responsable de Área




 Ing. Jorge Abadía, M.Sc.
 Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Fax: 008 704 9430

Figura 22. Resultado de la prueba de resistencia a la flexión para el tratamiento 1 (Bagazo de caña de azúcar)



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



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
CARGA EN EL PUNTO MEDIO

PROYECTO: Tesis: Elaboración de Biomaterial a base de residuos orgánicos y micelio del hongo pleurotus ostreatus

LOCALIZACIÓN: Ibarra

MUESTRA: Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA: ASTM C203

SOLICITA: Margarita Pérez

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN: 13/05/2021

FECHA DE EMISIÓN: 25/05/2021

ORDEN DE TRABAJO: 34171

HOJA: 2 de 6

Probeta N°	1	2	3
Identificación de la probeta	Tamo		
Fecha de fabricación	2021/03/04		
Fecha de ensayo	2021/05/13		
Edad (días)	70		
Longitud (mm)	202,0	192,0	186,0
Ancho (mm)	85,9	81,5	84,2
Altura (mm)	29,1	29,8	44,6
Volumen (mm ³)	504937	466623	698490
Masa (gr)	48,74	56,54	68,66
Peso Unitario (gr/cm ³)	0,10	0,12	0,10
Distancia entre apoyos (mm)	120,0	120,0	120,0
Carga máxima (N)	16,6	21,4	35,0
Módulo de rotura (MPa)	0,041	0,053	0,038
Módulo de rotura promedio (MPa)	0,044		



Figura 2. Esquema de ensayo de flexión. Probeta de Tamo

OBSERVACIONES: 1MPa = 10,2 Kg/cm²

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



Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área



Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director

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

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

Figura 23. Resultado de la prueba de resistencia a la flexión del tratamiento 2 (Tamo de trigo)



Figura 24. Resultado de la prueba de resistencia a la flexión del tratamiento 3 (Combinación de bagazo de caña de azúcar y tamo de trigo)



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



LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PUCE

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

PROYECTO: Tesis: Elaboración de Biomaterial a base de residuos orgánicos y micelio del hongo pleurotus ostreatus

LOCALIZACIÓN: Ibarra

MUESTRA: Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1621

SOLICITA: Margarita Pérez

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN: 13/05/2021

FECHA DE EMISIÓN: 25/05/2021

ORDEN DE TRABAJO: 34171

HOJA: 4 de 6

Probeta N°	1	2	3
Identificación de la probeta	Caña		
Fecha de fabricación	2021/03/04		
Fecha de ensayo	2021/05/13		
Edad (días)	70		
Diámetro (mm)	140,0	143,7	147,5
Área (mm ²)	15393,8	16218,2	17087,3
Altura (mm)	38,2	39,5	40,8
Volumen (mm ³)	588043	640620	697504
Masa (gr)	73,34	78,81	81,19
Peso Unitario (gr/cm ³)	0,12	0,12	0,12
10% de deformación	3,82	3,95	4,08
Carga a 10% de deformación (N)	555,0	426,0	619,0
Resistencia a la compresión (MPa)	0,036	0,026	0,036
Resistencia promedio (MPa)	0,033		



Figura 4. Esquema de ensayo de Compresión. Probeta de Caña

OBSERVACIONES: 1MPa = 10,2 Kg/cm²

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



Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área



Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director

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

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



IESUITAS ECUADOR

Figura 25. Resultado de la prueba de resistencia a la compresión para el tratamiento 1 (Bagazo de caña de azúcar)



Figura 26. Resultado de la prueba de resistencia a la compresión del tratamiento 2 (Tamo de trigo)



PUCE

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



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

PROYECTO: Tesis: Elaboración de Biomaterial a base de residuos orgánicos y micelio del hongo pleurotus ostreatus
SOLICITA: Margarita Pérez

LOCALIZACIÓN: Ibarra
FISCALIZACIÓN:

MUESTRA: Tomada por el Cliente
CONTRATISTA:

NORMA DE REFERENCIA: ASTM D1621
FECHA DE RECEPCIÓN: 13/05/2021
FECHA DE EMISIÓN: 25/05/2021
ORDEN DE TRABAJO: 34171
HOJA: 6 de 6

Probeta N°	1	2	3
Identificación de la probeta	Caña y Tamo		
Fecha de fabricación	2021/03/04		
Fecha de ensayo	2021/05/13		
Edad (días)	70		
Diámetro (mm)	144,0	148,0	148,0
Área (mm ²)	16286,0	17203,4	17203,4
Altura (mm)	40,2	38,7	37,0
Volumen (mm ³)	655186	665770	636524
Masa (gr)	69,70	75,35	75,76
Peso Unitario (gr/cm ³)	0,11	0,11	0,12
10% de deformación	4,02	3,87	3,70
Carga a 10% de deformación (N)	490,0	559,0	606,0
Resistencia a la compresión (MPa)	0,030	0,032	0,035
Resistencia promedio (MPa)	0,033		



Figura 6. Esquema de ensayo de Compresión. Probeta de Caña y Tamo

OBSERVACIONES:

1MPa = 10,2 Kg/cm²

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

Ing. María Inés Cálvo
Responsable de Área



Ventimilla 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

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



JESUITAS ECUADOR

Figura 27. Resultado de la prueba de resistencia a la compresión del tratamiento 3 (Combinación de bagazo de caña de azúcar y tamo de trigo)

Anexo 7. Normativa aplicada para la elaboración de probetas y realización de las pruebas físico mecánicas.



Designation: D 570 – 98

Standard Test Method for Water Absorption of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D 570; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative rate of absorption of water by plastics when immersed. This test method is intended to apply to the testing of all types of plastics, including cast, hot-molded, and cold-molded resinous products, and both homogeneous and laminated plastics in rod and tube form and in sheets 0.13 mm (0.005 in.) or greater in thickness.

1.2 The values given in SI units are to be regarded as the standard. The values stated in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 1—ISO 62 is technically equivalent to this test method.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 647 Practice for Design of Molds for Test Specimens of Plastic Molding Materials²

2.2 ISO Standard:

ISO 62 Plastics—Determination of Water Absorption³

3. Significance and Use

3.1 This test method for rate of water absorption has two chief functions: first, as a guide to the proportion of water absorbed by a material and consequently, in those cases where the relationships between moisture and electrical or mechanical properties, dimensions, or appearance have been determined, as a guide to the effects of exposure to water or humid conditions on such properties; and second, as a control test on the uniformity of a product. This second function is particularly applicable to sheet, rod, and tube arms when the test is made on the finished product.

3.2 Comparison of water absorption values of various plastics can be made on the basis of values obtained in accordance with 7.1 and 7.4.

3.3 Ideal diffusion of liquids⁴ into polymers is a function of the square root of immersion time. Time to saturation is strongly dependent on specimen thickness. For example, Table 1 shows the time to approximate time saturation for various thickness of nylon-6.

3.4 The moisture content of a plastic is very intimately related to such properties as electrical insulation resistance, dielectric losses, mechanical strength, appearance, and dimensions. The effect upon these properties of change in moisture content due to water absorption depends largely on the type of exposure (by immersion in water or by exposure to high humidity), shape of the part, and inherent properties of the plastic. With nonhomogeneous materials, such as laminated forms, the rate of water absorption may be widely different through each edge and surface. Even for otherwise homogeneous materials, it may be slightly greater through cut edges than through molded surfaces. Consequently, attempts to correlate water absorption with the surface area must generally be limited to closely related materials and to similarly shaped specimens: For materials of widely varying density, relation between water-absorption values on a volume as well as a weight basis may need to be considered.

4. Apparatus

4.1 *Balance*—An analytical balance capable of reading 0.0001 g.

4.2 *Oven*, capable of maintaining uniform temperatures of $50 \pm 3^\circ\text{C}$ ($122 \pm 5.4^\circ\text{F}$) and of 105 to 110°C (221 to 230°F).

5. Test Specimen

5.1 The test specimen for molded plastics shall be in the form of a disk 50.8 mm (2 in.) in diameter and 3.2 mm ($1/8$ in.) in thickness (see Note 2). Permissible variations in thickness are ± 0.18 mm (± 0.007 in.) for hot-molded and ± 0.30 mm (± 0.012 in.) for cold-molded or cast materials.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D 20.50 on Permanence Properties. Current edition approved July 10, 1998. Published January 1999. Originally published as D 570 – 40 T. Last previous edition D 570 – 95.

² Discontinued 1994; replaced by D 1896, D 3419, D 3641, D 4703, and D 5227. See 1994 *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

⁴ Additional information regarding diffusion of liquids in polymers can be found in the following references: (1) *Diffusion, Mass Transfer in Fluid Systems*, E. L. Cussler, Cambridge University Press, 1985, ISBN 0-521-29846-6, (2) *Diffusion in Polymers*, J. Crank and G. S. Park, Academic Press, 1968, and (3) "Permeation, Diffusion, and Sorption of Gases and Vapors," R. M. Felder and G. S. Huvard, in *Methods of Experimental Physics*, Vol 16C, 1980, Academic Press.

Figura 28. Normativa ASTM D 570 para absorción de agua



Designation: D 1621 – 00

Standard Test Method for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D 1621; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope *

1.1 This test method describes a procedure for determining the compressive properties of rigid cellular materials, particularly expanded plastics, based on test machine crosshead motion.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 1—This test method and ISO 844 are technically equivalent.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 618 Practice for Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁴

2.2 ISO Standard:

ISO 844 Cellular Plastics—Compression Test of Rigid Materials⁵

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *compressive deformation*—the decrease in length produced in the gage length of the test specimen by a compressive load expressed in units of length.

3.1.2 *compressive strain*—the dimensionless ratio of compressive deformation to the gage length of the test specimen or the change in length per unit of original length along the longitudinal axis.

3.1.3 *compressive strength*—the stress at the yield point if a yield point occurs before 10 % deformation (as in Fig. 1a) or, in the absence of such a yield point, the stress at 10 % deformation (as in Fig. 1b).

3.1.4 *compressive stress (nominal)*—the compressive load per unit area of minimum original cross section within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment, expressed in force per unit area.

3.1.5 *compressive stress-strain diagram*—a diagram in which values of compressive stress are plotted as ordinates against corresponding values of compressive strain as abscissas.

3.1.6 *compressive yield point*—the first point on the stress-strain diagram at which an increase in strain occurs without an increase in stress.

3.1.7 *deflection*—crosshead movement after the loading plates contact the specimen, expressed in millimetres or inches.

3.1.8 *gage length*—the measured thickness of the test specimen expressed in units of length.

3.1.9 *modulus of elasticity*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material expressed in force per unit area based on the minimum initial cross-sectional area.

3.1.10 *proportional limit*—the greatest stress that a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress-to-strain (Hooke's law) expressed in force per unit area.

4. Significance and Use

4.1 This test method provides information regarding the behavior of cellular materials under compressive loads. Deformation data can be obtained, and from a complete load-deformation curve it is possible to compute the compressive stress at any load (such as compressive stress at proportional-limit load or compressive strength at maximum load) and to compute the effective modulus of elasticity.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.22 on Cellular Plastics.

Current edition approved Jan. 10, 2000. Published April 2000. Originally published as D 1621 – 59 T. Last previous edition D 1621 – 94.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁵ Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

Figura 29. Normativa ASTM D1621 para realizar la prueba de resistencia a la compresión.



Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation¹

This standard is issued under the fixed designation C 203; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the breaking load and calculated flexural strength of a rectangular cross section of a preformed block-type thermal insulation tested as a simple beam. It is also applicable to cellular plastics. Two test methods are described as follows:

1.1.1 *Method I*—A loading system utilizing center loading on a simply supported beam, supported at both ends.

1.1.2 *Method II*—A loading system utilizing two symmetric load points equally spaced from their adjacent support points at each end with a distance between load points of one half of the support span.

1.2 Either method can be used with the four procedures that follow:

1.2.1 *Procedure A*—Designed principally for materials that break at comparatively small deflections.

1.2.2 *Procedure B*—Designed particularly for those materials that undergo large deflections during testing.

1.2.3 *Procedure C*—Designed for measuring at a constant stress rate, using a CRL (constant rate of loading) machine. Used for breaking load measurements only.

1.2.4 *Procedure D*—Designed for measurements at a constant crosshead speed, using either a CRT (constant rate of traverse) or CRE (constant rate of extension) machine. Used for breaking load measurements using a fixed crosshead speed machine.

1.3 Comparative tests may be run according to either method or procedure, provided that the method or procedure is found satisfactory for the material being tested.

1.4 These test methods are purposely general in order to accommodate the widely varying industry practices. It is important that the user consult the appropriate materials specification for any specific detailed requirements regarding these test methods.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are provided for information only.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee C-16 on Thermal Insulation and are the direct responsibility of Subcommittee C16.32 on Mechanical Properties.

Current edition approved March 10, 1999. Published May 1999. Originally published as C 203 – 45 T. Replaced C 165 – 41 T and C 203 – 55 T. Last previous edition C 203 – 92.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For specific precautionary statements, see Section 11.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 133 Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories²

C 168 Terminology Relating to Thermal Insulating Materials³

C 390 Criteria for Sampling and Acceptance of Preformed Thermal Insulation Lots³

C 870 Practice for Conditioning of Thermal Insulating Materials³

D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles⁴

E 4 Practice for Force Verification of Testing Machines⁵

3. Terminology

3.1 Terminology C 168 shall be considered as applying to the terms used in this method.

4. Summary of Test Methods

4.1 A bar of rectangular cross section is tested in flexure as a beam as follows:

4.1.1 *Method I*—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading fitting or piece midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 *Method II*—The bar rests on two supports and is loaded at the two quarter points (by means of two loading fittings), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading fittings is one half of the support span (see Fig. 2).

4.2 The specimen is deflected until rupture occurs, unless the materials specification indicates termination at a particular maximum strain level.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.06.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

Figura 30. Normativa ASTM C203 para realizar la prueba de resistencia a la flexión.



Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness¹

This standard is issued under the fixed designation D 2240; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method describes eight types of rubber hardness measurement devices known as durometers: types A, B, C, D, DO, O, OO and M. The procedure for determining indentation hardness of substances classified as thermoplastic elastomers, vulcanized (thermoset) rubber, elastomeric materials, cellular materials, and some plastics is also described.

1.2 This test method is not equivalent to other indentation hardness methods and instrument types, specifically those described in ASTM D 1415.

1.3 This test method is not applicable to the testing of coated fabrics.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only. Many of the stated dimensions in SI are direct conversions from the U. S. Customary System to accommodate the instrumentation, practices and procedures that existed prior to the Metric Conversion Act of 1975.

1.5 All materials, instruments, or equipment used for the determination of mass, force or dimension shall have traceability to the National Institute for Standards and Technology, or other internationally recognized organization parallel in nature.

1.6 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 374 Standard Test Method for Thickness of Solid Electrical Insulation²

D 618 Practice for Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing³

D 785 Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials²

D 1349 Practice for Rubber—Standard Temperatures For Testing⁴

D 1415 Standard Test Method for Rubber Property – International Hardness⁴

D 4483 Practice for Determining Precision for Test Method Standards in the Rubber and Carbon Black Industries⁴

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁵

3. Summary of Test Method

3.1 This test method permits hardness measurements based on either initial indentation or indentation after a specified period of time, or both. Durometers with maximum reading indicators used to determine maximum hardness values of a material may yield lower hardness when the maximum indicator is used.

3.2 The procedures for Type M, or micro hardness durometers, accommodate specimens that are, by their dimensions or configuration, ordinarily unable to have their durometer hardness determined by the other durometer types described. Type M durometers are intended for the testing of specimens having a thickness or cross sectional diameter of 1.25 mm (0.050 in) or greater, although specimens of lesser dimensions may be successfully accommodated under the conditions specified in Section 6, and have a Type M durometer hardness range of between 20 and 90. Those specimens which have a durometer hardness range other than specified shall use another suitable procedure for determining durometer hardness.

4. Significance and Use

4.1 This test method is based on the penetration of a specific type of indenter when forced into the material under specified conditions. The indentation hardness is inversely related to the penetration and is dependent on the elastic modulus and viscoelastic behavior of the material. *The geometry of the indenter and the applied force influence the measurements such that no simple relationship exists between the measurements obtained with one type of durometer and those obtained with another type of durometer or other instruments used for measuring hardness.* This test method is an empirical test intended primarily for control purposes. No simple relationship

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D11 on Rubber and is the direct responsibility of Subcommittee D11.10 on Physical Tests.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as D 2240 – 64 T. Last previous edition D 2240 – 95.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol. 10.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 09.01.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.02.

Figura 31. Normativa ASTM D2240 para la prueba de dureza



Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation¹

This standard is issued under the fixed designation C 578; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification² covers the types, physical properties, and dimensions of cellular polystyrene intended for use as thermal insulation for temperatures from -65 to $+165^{\circ}\text{F}$ (-53.9 to $+73.9^{\circ}\text{C}$).

1.1.1 For Type XIII only, this specification covers the physical properties, and dimensions of cellular polystyrene intended for use as thermal insulation for temperatures from -297 to $+165^{\circ}\text{F}$ (-183 to $+73.9^{\circ}\text{C}$).

1.2 Consult the manufacturer for specific recommendations and properties in cryogenic conditions.

1.2.1 This specification does not cover cryogenic properties except for the k-factors for Type XIII in Appendix X1. For Type XIII in specific cryogenic applications, the manufacturer and purchaser shall agree upon the actual temperature limits and physical property requirements in addition to the k-factors in Appendix X1.

1.3 The use of thermal insulation materials covered by this specification may be regulated by building codes that address fire performance. For some end uses, specifiers should also address the effect of moisture. Guidelines regarding these end use considerations are included in Appendix X1.

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are provided for information only.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*³

- C 165 Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations
- C 168 Terminology Relating to Thermal Insulation
- C 177 Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus
- C 203 Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation
- C 272 Test Method for Water Absorption of Core Materials for Structural Sandwich Constructions
- C 303 Test Method for Dimensions and Density of Preformed Block- and Broad-Type Thermal Insulation
- C 335 Test Method for Steady-State Heat Transfer Properties of Horizontal Pipe
- C 390 Practice for Sampling and Acceptance of Preformed Thermal Insulation Lots
- C 518 Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus
- C 550 Test Method for Measuring Trueness and Squareness of Rigid Block and Board Thermal Insulation
- C 870 Practice for Conditioning of Thermal Insulating Materials
- C 1045 Practice for Calculating Thermal Transmission Properties Under Steady-State Conditions
- C 1058 Practice for Selecting Temperatures for Evaluating and Reporting Thermal Properties of Thermal Insulation
- C 1114 Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Thin-Heater Apparatus
- C 1303 Test Method for Estimating the Long-Term Change in the Thermal Resistance of Unfaced Rigid Closed Cell Plastic Foams by Slicing and Scaling Under Controlled Laboratory Conditions
- C 1363 Test Method for the Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C16 on Thermal Insulation and is the direct responsibility of Subcommittee C 16.22 on Organic and Nonhomogeneous Inorganic Thermal Insulations.

Current edition approved May 1, 2004. Published June 2004. Originally approved in 1965. Last previous edition approved in 2003 as C 578 – 03b.

² This specification is similar to ISO 4898-1984, "Cellular Plastics—Specification for Rigid Cellular Materials Used in the Thermal Insulation of Buildings," in title only. The scope and technical content are significantly different. ISO standards are available from ANSI, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

Figura 32. Normativa ASTM D2240 de Especificación estándar para aislamiento térmico rígido de poliestireno

Anexo 8. Socialización



UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

Le extienden la más cordial invitación a la socialización del trabajo de Investigación:
"DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO POR MICELIO DE HONGO (*Pleurotus ostreatus*) Y RESIDUOS DE COSECHA COMO ALTERNATIVA AL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)"
cuyo autor es la señorita Gloria Margarita Pérez Díaz, de la carrera de Ing. Ambiental y Ecodesarrollo

Fecha: 30 de Julio del 2021
Lugar: PUCE-SI
Hora: 9:00 am

La problemática ambiental actual ha impulsado la investigación sobre nuevos materiales que involucren un menor impacto en los ecosistemas. En este trabajo de investigación, se evaluó la pertinencia del uso de especies vegetales consideradas residuos agrícolas, para utilizarse como sustrato en el crecimiento de micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* que permita la elaboración de un material biodegradable como posible alternativa a los plásticos o poliestireno. La metodología incluyó el proceso tradicional para el cultivo de los hongos en tres etapas: preparación de los sustratos, siembra del micelio inoculado e incubación. Al material obtenido, le fueron realizadas pruebas físicas y mecánicas; los resultados obtenidos se compararon con las propiedades mecánicas conocidas del poliestireno expandido basadas en la normativa ADTM C578.

Figura 33. Invitación a la socialización del trabajo de investigación

Anexo 9. Cuestionario de la socialización de la investigación.

PROCESO DE SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

El siguiente cuestionario nos permitirá implementar mejoras constantes en los procesos de socialización de trabajos de investigación, por favor háganos llegar sus comentarios y sugerencias:

FECHA			
EXPOSITOR			
LUGAR	DENTRO PUCESI		FUERA PUCESI

NOTA IMPORTANTE: Por favor conteste las preguntas según la siguiente escala:

5. MUY ALTO / 4. ALTO / 3. MEDIO / 2. BAJO / 1. NULO

DETALLE DE VALORACIÓN	1	2	3	4	5
EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR					
1. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?					
2. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?					
3. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?					
MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN:					
4. ¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?					
5. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?					
6. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?					
7. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?					
REALICE UN COMENTARIO O SUGERENCIA PARA LOS ORGANIZADORES DE ESTE EVENTO					
MENCIONE USTED OTRAS PROBLEMÁTICAS QUE A SU PARECER PODRÍAN SER INVESTIGADAS Y QUE POSEAN IMPORTANCIA PARA ALGÚN ACTOR Y/O SECTOR DE NUESTRA COLECTIVIDAD					
INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO					

Anexo 10. Participantes a la socialización de la investigación

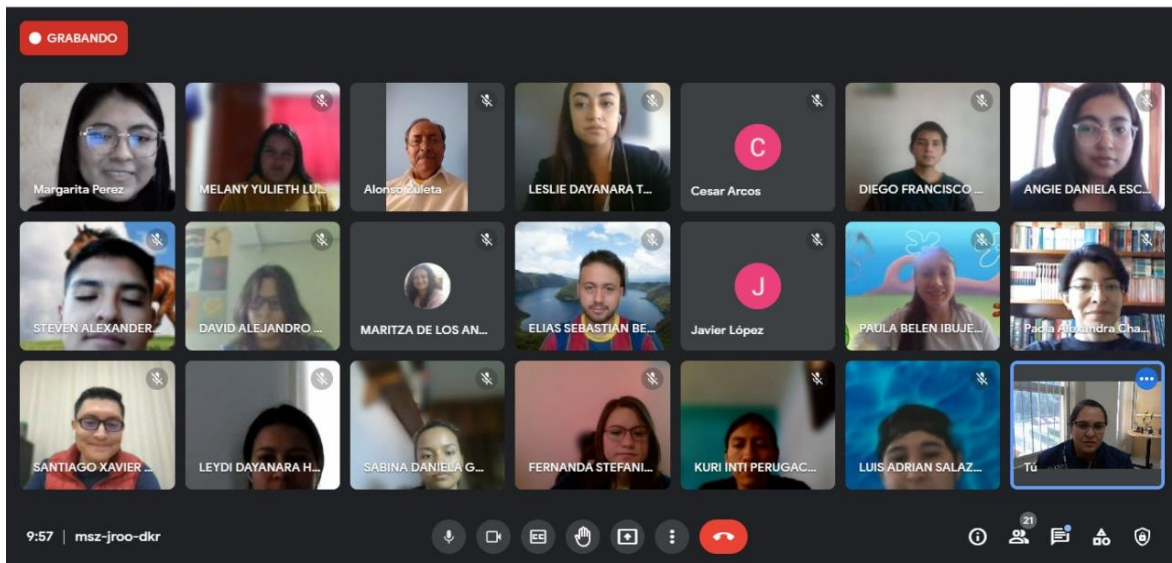
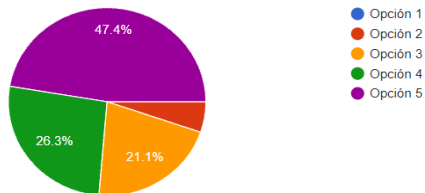


Figura 34. Lista de asistentes a la socialización

Anexo 11. Análisis de la tabulación de los resultados de la socialización de la investigación.

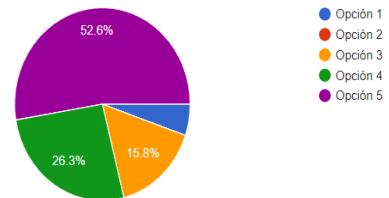
1. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?

19 respuestas



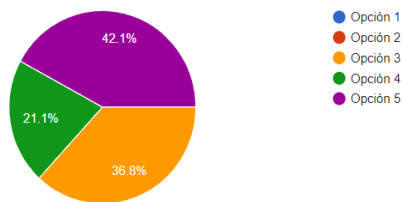
2. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?

19 respuestas



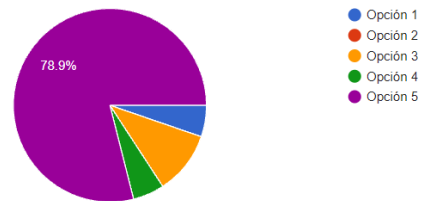
3. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?

19 respuestas



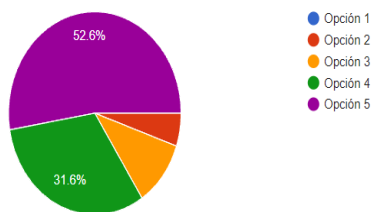
5. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?

19 respuestas



6. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?

19 respuestas



7. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?

19 respuestas

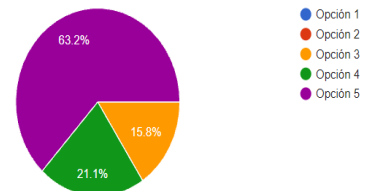


Figura 35. Resultados de la encuesta de satisfacción

Anexo 12. Costo de producción del material a base de micelio de hongo y residuos orgánicos

Para que el producto obtenido pueda tener una acogida en el mercado también es importante analizar la inversión que implica la elaboración del producto, por lo tanto, se muestra a continuación los costos de producción del material elaborado.

Tabla 23.

Costos de producción del material obtenido como alternativa al poliestireno

Materia prima	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tamo de trigo	1,29 Kg	\$0.60	\$0.60
Bagazo de caña de azúcar	1,24 Kg	\$1.25	\$1.25
Sepa de <i>Pleurotus ostreatus</i>	3 frascos	\$2.5	\$7.50
Afrechillo	0.63 Kg	\$0.80	\$0.80
Carbonato de calcio	30 g	\$0.50	\$0.50
Moldes	18	\$0.80	\$14.40
Fundas	1 rollo	\$1.80	\$1.80
Papel aluminio	1 rollo	\$3.25	\$3.25
Film plástico	1 rollo	\$3.80	\$3.80
Alcohol	1 litros	\$2.50	\$2.50
Total			\$36.40

