



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar como biomaterial sustituto de la espuma de poliestireno

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORES:

Aranda Calipuy, Maria Melissa Semiramis (orcid.org/000-0001-9683-9027)

Roncal Lazaro, Alexia Solange (orcid.org/0000-0001-7323-640X)

ASESOR:

Quezada Alvarez, Medardo Alberto (orcid.org/0000-0002-0215-5175)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y Adaptación al Cambio climático

TRUJILLO — PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mi mamá, por motivarme, por su constante apoyo, por inculcarme el amor e integridad en mis acciones diarias, por verme y aún así amarme. A mi hermana, por ser mi persona, por el amor, la confianza y el valor que me da. A mi papá, por enseñarme a seguir mi corazón y no dejar de sonreír, por ti sé que el amor traspasa dimensiones, te mando un beso hasta el cielo.

A ti Meli, por mostrarte como eres y mantenerte fiel a tu esencia; confía en el tiempo de las cosas eres merecedora de cosas buenas.
“Live, work, POSE”

María Melissa Semiramis Aranda Calipuy

Dedico esta tesis a mis padres, que ahora son mis angelitos pero siempre me motivaron a salir adelante a pesar de todas las dificultades que se presente en el camino; a mi hermano que es mi ejemplo a seguir, que nunca me deja sola, por cuidarme y darme su apoyo incondicional para cumplir mis metas y llegar a culminar una etapa más de mi vida, a mi prima y mejores amigos por ser mi apoyo incondicional y estar conmigo en los buenos y malos momentos siempre sacandome una sonrisa.

Alexia Solange Roncal Lazaro

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios, quien es el que nos da la oportunidad de un día más de vida, permitiéndonos concluir con esta investigación y una etapa de nuestra carrera profesional.

A nuestro asesor, el Ing. Medardo Alberto Quezada Alvarez, por guiarnos a lo largo de este camino, asegurándose de que logremos nuestro objetivo y mejora continua como futuros profesionales.

Al Dr. Luis Alberto Cabanillas Chirinos, por apoyarnos desde un inicio en este proyecto, por mostrarnos que el mañana siempre va a traer algo nuevo y sobre todo por enseñarnos a disfrutar cada momento de este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población, muestra, muestreo.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5. Procedimientos.....	13
3.6. Método de análisis de datos.....	19
3.7. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
V. DISCUSIÓN.....	35
VI. CONCLUSIONES.....	41
VII. RECOMENDACIONES.....	43
REFERENCIAS.....	44
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del <i>Pleurotus Ostreatus</i>	9
Tabla 2. Prueba de Humedad: 340 g de sustrato	21
Tabla 3. Prueba de Humedad: 310 g de sustrato	21
Tabla 4. Valores promedio de los datos registrados para la prueba de densidad del biomaterial	24
Tabla 5. Valores promedio de los datos registrados para la prueba de absorción de agua del biomaterial	25
Tabla 6. Valores promedio de los datos registrados para las pruebas de dureza, elasticidad y resiliencia del biomaterial	25
Tabla 7. Valores obtenidos para la prueba de dureza de la muestra M1 con sus 6 réplicas... ..	27
Tabla 8. Valores obtenidos para la prueba de dureza de la muestra M2 con sus 6 réplicas... ..	28
Tabla 9. Valores obtenidos para la prueba de dureza de la muestra M3 con sus 6 réplicas... ..	28
Tabla 10. Valores obtenidos para la prueba de elasticidad de la muestra M1 con sus 6 réplicas	29
Tabla 11. Valores obtenidos para la prueba de elasticidad de la muestra M2 con sus 6 réplicas	29
Tabla 12. Valores obtenidos para la prueba de elasticidad de la muestra M3 con sus 6 réplicas	30
Tabla 13. Valores obtenidos para la prueba de resiliencia de la muestra M1 con sus 6 réplicas	30
Tabla 14. Valores obtenidos para la prueba de resiliencia de la muestra M2 con sus 6 réplicas	31
Tabla 15. Valores obtenidos para la prueba de resiliencia de la muestra M3 con sus 6 réplicas	31
Tabla 16. Coeficiente de variación en la prueba de dureza por cada muestra.....	32

Tabla 17. Coeficiente de variación en la prueba de elasticidad por cada muestra.....	33
Tabla 18. Coeficiente de variación en la prueba de resiliencia por cada muestra Tipo de muestra	33
Tabla 19. Comparación con los valores de otros biomateriales realizados	33
Tabla 20. Comparación con los valores standard de la espuma de poliestireno	34
Tabla 21. Tabla operacionalización de variables.....	51
Tabla 22. Formato N°01 – Análisis de Textura.....	54
Tabla 23. Formato N°02 – Análisis de Absorción de Agua.....	55
Tabla 24. Formato N°03 – Análisis de Densidad.....	56
Tabla 25. Formato N°04 – Cuadro Comparativo	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Valores promedio obtenidos de la prueba de dureza de las muestras M1,M2,M3 con sus respectivas réplicas	25
Gráfico 2. Valores promedio obtenidos de la prueba de elasticidad de las muestras M1,M2,M3 con sus respectivas réplicas.....	26
Gráfico 3. Valores promedio obtenidos de la prueba de resiliencia de las muestras M1,M2,M3 con sus respectivas réplicas.....	26
Gráfico 4. Valores obtenidos de las 6 réplicas de la muestra M1.....	52
Gráfico 5. Valores obtenidos de las 6 réplicas de la muestra M2.....	52
Gráfico 6. Valores obtenidos de las 6 réplicas de la muestra M3.....	53

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Medición de las dimensiones de los biomateriales obtenidos.....	17
Figura 2. Biomateriales cortados para la prueba de textura	18
Figura 3. Equipo TA.HDplus de Stable Micro Systems.....	18
Figura 4. Biomateriales sumergidos en recipientes con agua destilada para la Prueba de Absorción de Agua.....	19
Figura 5. Biomateriales obtenidos de la muestra “M1” con 340 g bagazo y 60g de micelio	22
Figura 6. Biomateriales obtenidos de la muestra “M2” con 320 g bagazo y 80g de micelio	22
Figura 7. Biomateriales obtenidos de la muestra “M3” con 300 g bagazo y 100g de micelio.....	23
Figura 8. Biomateriales obtenidos de los tratamientos controles.....	23
Figura 9. Entrega del bagazo de caña de azúcar por la empresa Sol de Laredo.....	59
Figura 10. Tamiz de 2mm.....	59
Figura 11. Proceso de tamizado del sustrato con un tamiz de 2mm	59
Figura 12. Pesado de 5gr de sustrato en balanza electrónica.....	60
Figura 13. Proceso de agitación.....	60
Figura 14. Medición del pH dando como resultado 6, valor bajo	60
Figura 15. Mezcla homogenizada.....	61
Figura 16. Se utilizaron 9 litros de agua destilada para 1 kg de sustrato...61	
Figura 17. Proceso de homogenización del sustrato con agua destilada...61	
Figura 18. Medición del Ph.....	62
Figura 19. Medición del Ph.....	62
Figura 20. Sustrato luego de ser escurrido.....	62
Figura 21. Distribución de 300 g de sustrato en bolsas de polipropileno.....	63

Figura 22. Distribución de 320 g de sustrato en bolsas de polipropileno.....	63
Figura 23. Distribución de 340 g de sustrato en bolsas de polipropileno.....	63
Figura 24. Equipo autoclave.....	64
Figura 25. Colocación del sustrato en la autoclave a 120 ° C por 30 min	64
Figura 26. Sustrato luego del auto clavado	64
Figura 27. Desinfección de la cabina con rayos UV	65
Figura 28. Distribución de micelio en bolsas de polipropileno de 1er uso	65
Figura 29. Distribución de micelio, 60 g... ..	65
Figura 30. Almacenaje de sustrato y micelio en la cabina de Flujo Laminar.....	66
Figura 31. Desinfección de los vasos con rayos UV.....	66
Figura 32. Siembra de Micelio de Pleurotus Ostreatus en el sustrato.....	66
Figura 33. Intercalado de sustrato y micelio en proceso de siembra.....	67
Figura 34. Muestra “M1” y sus réplicas ya sembrado.....	67
Figura 35. Se realizó 04 perforaciones de 0.5 cm.....	67
Figura 36. Día 03 de la Muestra 01 en la incubadora	68
Figura 37. Día 05 de la muestra 01 en la incubadora	68
Figura 38. Muestra “M1” y sus réplicas en proceso de oxigenación	68
Figura 39. Vaciado de sustrato inoculado con micelio a la bandeja	69
Figura 40. Adherencia de micelio en partículas del bagazo de caña de azúcar.....	69
Figura 41. Se mezcló el sustrato inoculado con micelio de la muestra “M1” y sus réplicas.....	69

Figura 42. Se volvió a colocar el sustrato inoculado de la muestra “M1” a los vasos precipitados	70
Figura 42. Muestra “M1” y sus respectivas replicas después del proceso deoxigenación	70
Figura 44. Día 05, Muestra “M1” luego de ser removido	70
Figura 45. Muestra “M2” y sus réplicas antes de someterlo al proceso de oxigenación	71
Figura 46. Día 05, Muestra “M1” proceso de oxigenación y homogenización	71
Figura 47. Se volvió a colocar el sustrato inoculado de la muestra “M2” a los vasos precipitados.....	71
Figura 48. Día 05, Muestra “M3” en vaso precipitado.....	72
Figura 49. Crecimiento del micelio Pleurotus Ostreatus en la muestra “M3”.....	72
Figura 50. Vaciado de la muestra “M3” en la bandeja para el proceso de oxigenación	72
Figura 51. Controles “C1” y “C2” con contenido de bagazo de caña de azúcar puro	73
Figura 52. Limpieza de moldes.....	74
Figura 53. Traspaso de todas las muestras a los moldes.....	74
Figura 54. Muestra “M1” en los moldes de madera.....	74
Figura 55. Muestra “M2” traspasado a sus moldes.....	75
Figura 56. Muestra “M3” traspasado a sus moldes.....	75
Figura 57. Control “C1” y “C2” en moldes.....	75
Figura 58. Fase de hidratación de las muestras... ..	76
Figura 59. Muestra “M1” a los 07 días de ser traspasados	76
Figura 60. Muestra “M3” a los 07 días de ser traspasados.....	76
Figura 61. Muestra “M1” a los 09 días de ser traspasados	77
Figura 62. Muestra “M2” a los 09 días de ser traspasados	77

Figura 63. Muestra “M3” a los 09 días de ser traspasados.....	77
Figura 64. Controles a los 09 días de ser traspasados	78
Figura 65. Muestra “M1” a los 11 días de ser traspasados.....	78
Figura 66. Muestra “M2” a los 11 días de ser traspasados.....	78
Figura 67. Muestra “M3” a los 11 días de ser traspasados.....	79
Figura 68. Controles a los 11 días de ser traspasados.....	79
Figura 69. Muestra “M1” a los 13 días de ser traspasados	79
Figura 70. Muestra “M2” a los 13 días de ser traspasados	80
Figura 71. Muestra “M3” a los 13 días de ser traspasados.....	80
Figura 72. Fase de desmolde de los biomateriales	80
Figura 73. Desmolde del Biomaterial “M1” a los 14 días de ser traspasado	81
Figura 74. Desmolde del Biomaterial M2 a los 14 días de ser traspasado.....	81
Figura 75. Desmolde del Biomaterial “M3” a los 14 días de ser traspasado.....	81
Figura 76. Acomodando los biomateriales en bolsas de polipropileno...	82
Figura 77. Desarrollo de Biomaterial y Controles en Estufa	82
Figura 78. Fase de inhibición del micelio en la estufa de secado a 60°C por 24 horas.....	83
Figura 79. Vista Frontal de Biomaterial obtenido.....	83
Figura 80. Biomaterial obtenido.....	83

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo elaborar un biomaterial sustituto a base de micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar, para reducir la contaminación blanca generada por el uso excesivo de EPS. De manera que, la elaboración constó de 3 fases: tratamiento al sustrato, inoculación del hongo en 3 (dosificaciones diferentes) y deshidratado del biomaterial. La caracterización física se llevó a cabo por medio de: densidad, absorción de agua y textura. El promedio de densidad varía entre 127,86 y 131,19 kg/m^3 , la muestra "M1" tuvo un alto porcentaje de absorción de agua con un 23,55% mientras que el M2 obtuvo un mejor comportamiento con un 11,79%. En la prueba de flexión presentaron mayores esfuerzos las muestras M2 y M3 con valores de 0,682 y M3 0,68 MPa respectivamente, siendo estructuralmente más resistentes a la flexión y a la vez más livianas. De acuerdo a los análisis realizados hasta el momento los biomateriales elaborados pueden ser alternativas como sustituto del EPS al ser utilizados en construcción no estructural, embalaje y amplio número de aplicaciones en arquitectura, debido a su fácil moldeado.

Palabras clave: Micelio fúngico, biomaterial, espuma de poliestireno, propiedades mecánicas, residuo lignocelulósico.

ABSTRACT

This research aimed to develop a substitute biomaterial based on *Pleurotus ostreatus* mycelium and sugarcane bagasse, to reduce white contamination generated by the excessive use of EPS. So, the elaboration consisted of 3 phases: treatment of the substrate, inoculation of the fungus in 3 (different dosages) and dehydration of the biomaterial. The physical characterization was carried out by means of: density, water absorption and texture. The average density varies between 127.86 and 131.19 kg/m³, the "M1" sample had a high percentage of water absorption with 23.55% while the M2 obtained a better behavior with 11.79%. . In the bending test, the samples M2 and M3 presented greater stresses with values of 0.682 and M3 0.68 MPa respectively, being structurally more resistant to bending and at the same time lighter. According to the analyzes carried out so far, the biomaterials produced can be alternatives as a substitute for EPS when used in non-structural construction, packaging and a wide number of architectural applications, due to their easy moulding.

Keywords: Fungal mycelium, biomaterial, Styrofoam, mechanical properties, lignocellulosic residue.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la población en el mundo excede los 7,7 mil millones de habitantes, probablemente ascenderá a 8,6 mil millones para 2030 y a los 9,8 mil millones para el 2050 (Singh y Kumari, 2019, p. 10), este exponencial crecimiento demográfico mundial, acompañado de su excesiva industrialización, la escasa difusión y aplicación de tecnologías alternativas ocasiona una crisis ambiental. Así mismo, el consumo de polímeros o plásticos ha aumentado de forma rápida en las últimas 5 décadas, estos petroquímicos han reemplazado de manera parcial y total en circunstancias específicas a muchos materiales naturales como la madera, algodón, papel, lana, piel, entre otros. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2021) nos comenta en su informe From Pollution to Solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution (p.5) la magnitud de generación de GEI vinculados a la producción, empleo y eliminación de plásticos procedentes de combustibles fósiles aumentará alrededor de 2,1 gigatoneladas de dióxido de carbono para el año 2040. De igual forma, otras fuentes calculan que estas emisiones procedentes de los plásticos fueron de 1,7 GtCO₂ e en el 2015 e incrementa hasta unas 6,5 GtCO₂ para el año 2050, equivale al 15 % del presupuesto de carbono a nivel mundial.

A la vez, Lozano, et al. (2020, p.2) indicó que en todo el mundo el 33% del total de residuos orgánicos obtenidos no son gestionados de manera correcta, en nuestro país sólo el 1% de estos residuos son aprovechados, provocando una emanación desproporcionada de gases de efecto invernadero, en el cual destacó el metano y el CO₂, contribuyendo significativamente al cambio climático. Por otro lado, en relación a la industrialización en el Perú, Díaz, et al. (2019, p.2) nos indicó que el sector sobresaliente es el agroindustrial, siendo la industria azucarera la que origina una cifra cuantiosa de desechos orgánicos, los cuales presentaron un alto contenido de lignina y celulosa, siendo este último uno de los compuestos que se encontraron en gran cantidad en todo el mundo, dado que pocos especímenes no fueron empleados y aprovechados como origen de alimento, sin embargo no están siendo aprovechados o valorizados. Hidalgo et al. (2018) recalcó que por cada

tonelada de caña de azúcar representa un 100%, de los cuales aproximadamente un 75% son residuos sólidos orgánicos, teniendo en mayor volumen el bagazo generado en procesos industriales como artesanales.

El uso extensivo del poliestireno expandido, conduce a la acumulación de residuos plásticos debido a su propiedad de no degradabilidad en estado natural, lo que ha generado graves impactos ambientales (contaminación blanca). Uno de los desafíos que prevaleció y enfrenta nuestra sociedad es la correcta disposición de los residuos producidos por actividades antropogénicas, conforme crezca la magnitud de elaboración de polímeros sintéticos también aumentará la cantidad de residuos plásticos (Hu, X., et al., 2017, p.3). Lamentablemente, son reciclados sólo una pequeña fracción, es un dilema inevitable, debido a los procesos de recolección, limpieza y separación, los materiales obtenidos no son competitivos en costos con los materiales vírgenes. Es por ello, que existe la necesidad inaplazable de una mayor cantidad de esfuerzos para realizar monitoreos en todos los periodos de tiempo ya que estos datos precisos sobre los desechos plásticos en especial del poliestireno expandido son de gran importancia para restablecer y perfeccionar la perspectiva del modelo global, regional y local, con ello optimizar las estrategias de prevención y recolección (Van Calcar, Van Emmerik, 2019, p.2).

Ante este aumento en el consumo y considerando que en el proceso de fabricación, uso y desecho del poliestireno expandido se han utilizado recursos tóxicos, algunos países han regulado su proceso de fabricación, mientras que otros, como en Estados Unidos, han prohibido o restringido su utilización como empaque de alimentos. Estas medidas, sin duda, han facilitado que se reduzca la cantidad de producción; sin embargo, no solucionan la problemática, pues según los datos anteriormente presentados, a excepción de Asia, el consumo de productos destinados al empaque de alimentos representa poco más del 30% del consumo total dejando pendiente el manejo integral del 70 restante (Watkins, 2017, p. 64). En 1986, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, informó que el proceso de fabricación de poliestireno era la quinta fuente más grande de residuos peligrosos, vinculándolo con efectos adversos para la salud en humanos y en el 2014 lo catalogaron como un potencial cancerígeno (Farrelly y Shaw, 2018,

p.47).

Ante esta problemática el presente proyecto de investigación tuvo como justificación la propuesta de una nueva alternativa en la química verde para reducir el uso de aditivos y de esta forma generar un biomaterial sostenible. En este caso, se analizó el uso de micelio, refiriéndose a las asociaciones que generan los hongos en las raíces para una mejor absorción de agua y nutrientes, como consecuencia del crecimiento de filamentos (hifas) (Furci, Giuliana, 2013, p.15). Así mismo, el uso de residuos como materia prima o sustrato, junto con la biodegradabilidad propia del biomaterial al final de su vida útil y la extensa escala de materiales que podría reemplazar garantizando una mejor gestión de desechos en el futuro si se aplica eficientemente (Gandia, Antoni, et al., 2021, p.1). La contribución de este proyecto de investigación, se conformó por la caracterización física y mecánica con el cual se obtuvo un biomaterial compuesto por micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar como sustituto de las espumas de poliestireno, presentándose como una alternativa para el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos del sector agroindustrial, de tal forma que pueda servir a futuros investigadores generando una armonía entre los ecosistemas y la necesidades fundamentales del ser humano, contribuyendo en la economía circular.

Es por ello, que se planteó el siguiente problema de investigación: ¿El biomaterial compuesto por micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar será un sustituto de las espumas de poliestireno?. La presente investigación tuvo como objetivo general: Elaborar un biomaterial compuesto por micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar como sustituto de las espumas de poliestireno. Los objetivos específicos son: Evaluar los parámetros físicos y mecánicos del biomaterial compuesto por micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar, Comparar los resultados obtenidos de las pruebas físico mecánicas del biomaterial compuesto por micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar con investigaciones anteriores de otros biomateriales y de la espuma de poliestireno. Teniendo como hipótesis general que la elaboración de un biomaterial compuesto por micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar será un sustituto de las espumas de poliestireno.

II. MARCO TEÓRICO

Rodriguez, Sebastián (2018) en su investigación, realizó un biomaterial compuesto a partir del micelio de hongos desintegradores de madera (*Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*) y residuos como rastrojos de alfalfa y la cáscara de nuez. Realizó pruebas como densidad, absorción de humedad, dureza, resistencia al impacto, a la compresión, al clavado y lo comparó con una placa de yeso-cartón y un tablero de madera ambos con 12 mm de espesor, con la finalidad de tener una perspectiva de cómo es el material y cómo actúa. Concluyendo que en un ambiente controlado (temperatura, humedad, radiación, luz, entre otros) el material no se degrada, pero sí presenta cambios en el aspecto óptico (color, textura, porosidad) sin afectar su rendimiento físico mecánico. Sin embargo, en un entorno no controlado el material sí muestra variaciones ya que empieza a descomponerse, no obstante, se puede mejorar desde el laboratorio aunque otra opción sería aprovechar su propiedad de descomposición calculando su tiempo de vida en circunstancias específicas de esta manera se podrían diseñar productos que requieran de estas características. En otras palabras, eligiendo un tipo de hongo y sustrato específico se puede elaborar un biomaterial más resistente, posibilitando el incorporamiento de materiales sostenibles para la fabricación de productos que sean aplicados en diversos sectores según sus características, además cuenta con la ventaja de adaptarse a diferentes geometrías y moldes (p. 13).

Gil, et al. (2021) en su investigación desarrolla un aislante termoacústico a base de micelio (*Pleurotus ostreatus*) fique y heno ajustándose a los índices higrotérmicos por el Consejo Colombiano de Eficiencia Energética (CCEE), sin agregar adhesivos sintéticos. Su metodología se conformó por 7 fases donde inicialmente las fibras de fique y heno fueron esterilizadas y luego inoculadas con el micelio. Agregaron sustrato MYA (extracto de malta, agar microbiológico, harina, agua mineral) a 25 °C con humedad del 67%, esto favoreció en el crecimiento del micelio, recomiendan germinar en algún grano o cereal para que el micelio logre una fijación eficaz en las fibras, utilizaron moldes con medidas de 50 x 50 x 5 cm, siendo el uso del micelio preciso en las fibras puesto que se extiende por el espacio acondicionado y se adhiere a las

superficies. Determinaron el tiempo óptimo de crecimiento, pasados 18 días de la inoculación cubrió el 100% de las fibras y las condiciones naturales que le beneficiaban y/o afecta, concluyen que al existir una unión conforme entre el fique y micelio en condiciones adecuadas de laboratorio sin embargo es susceptible a afectación si no cuenta con la temperatura y humedad adecuada para su crecimiento. De igual modo, este biomaterial tiene gran posibilidad de aporte dentro del sector construcción, debido a que esta fibra posee características sorprendentes para el área de estudio higrotérmico de zonas confinadas, además de ser altamente sostenible, natural y sobre todo amigable con el medio ambiente, genera bajas emisiones de gases de efecto invernadero, logrando un gran ahorro en climatización entre el 75 y 90%, otorgando un aporte significativo en la investigación biológica de biomateriales (p. 92).

Tinoco, G. (2018) en su investigación estuvo conformada por 2 fases, primero realizó la limpieza al bagazo de caña de azúcar para que sea una fibra apropiada, aplicó un tratamiento alcalino con silicato de sodio para bajar su índice hidrofílico. En la fase dos, elaboró los moldes, estos tuvieron diferentes dimensiones para los ensayos de resistencia a flexión, absorción de agua y para la densidad, integró sus componentes: la fibra vegetal, yeso, entre otros, produciendo un total de 15 muestras de placas. La Muestra 1, compuesta por 5% de fibra vegetal y 95% de yeso, obtuvo mejores resultados en los ensayos de absorción de agua obtuvo un 4% frente a las demás que obtuvieron 4,7 y 6 %, aguantó un peso de 18 kg consiguiendo resultados eficientes. El autor recalca que este biomaterial es una placa menos pesada ya que es menor su densidad, esto en beneficio de no contener demasiado volumen comparándolo con otros materiales. Finalmente demostró las características físicas y mecánicas competentes de placas ecológicas para ser utilizado en el área de construcción, ya sea elemento no estructural o también como división interna en sucursales, supermercados, residencias, incluso para la estética, con un peso más liviano y a la vez más económico (p. 15).

Apples, et al. (2019) en su investigación realizó un diseño experimental con *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor*, teniendo como sustrato paja, aserrín y algodón, según las características de cada sustrato

obtuvo distintos rendimientos mecánicos del biomaterial. Obtuvo en su resultado que los materiales de algodón eran más rígidos y resistentes al agua que el material de paja; en cuanto a la fabricación con el calor incrementó el triple la densidad del prensado ($0,10 - 0,39 \text{ g/cm}^3$) ayudando a la homogeneidad, la resistencia a la tracción y en la rigidez. Además este material se asemeja a la densidad y elasticidad de las espumas de poliestireno, concluyendo que es una buena opción como material de embalaje debido a su capacidad de amortiguación, sobresalen por tener una baja densidad, una buena resistencia, propiedades que ayudan en el impacto, tienen estabilidad a las altas temperaturas y las radiaciones UV, convirtiéndose en una buena opción de sustituto de materiales sintéticos (p.67).

Pelletier, et al. (2019) en su investigación realizaron un biopolímero natural teniendo como componente el micelio y como sustratos empleados para la inoculación y crecimiento de estos hongos usaron rastrojos de maíz molido, semillas de granos y una mezcla compleja de nutrientes y minerales representados por el 56,3; 27 y 16,7% respectivamente. Cada muestra se cortó en forma de disco con 31,7 mm de diámetro, aplicaron vaselina en los bordes para tener un buen sellado en los contornos. En la primera evaluación, obtuvieron los tableros de distintos espesores y densidades, identificaron como variables únicas el contenido de humedad del sustrato y volumen final. Asimismo realizaron un análisis de regresión múltiple de modelo lineal con relación al coeficiente de pérdida de propagación acústica examinando la absorción acústica en frecuencia de 350 a 4 kHz. Concluyendo que esta alternativa de espumas con base biológica (micelio) es prometedora, sirve como protección acústica, esencialmente para atenuar el ruido de rango de frecuencia baja a media, pero para obtener resultados más favorables, debe mezclarse con un absorbente como corcho, para manejar las frecuencias más altas (p. 5 - 6).

Haneef, et al. (2017), en su investigación realiza una combinación de micelio con sustratos basados en distintas composiciones de polisacáridos para crear películas fibrosas. Utilizaron 2 clases de hongos de carácter medicinal *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus*, debido a que estas pueden excretar distintas enzimas, como también son capaces de degradar

componentes de naturaleza vegetal. En este caso los sustratos empleados para este trabajo son biopolímeros a partir de celulosa pura y caldo de celulosa-patata dextrosa. La película fibrosa de crecimiento propio tapa toda el área del sustrato de alimentación (9,5 cm de diámetro) después de un cierto periodo. Como se esperaba, el crecimiento para ambas clases de micelio en los dos sustratos fue idéntico, porque ambas se encuentran en el grupo de pudrición blanca. Realizó una caracterización morfológica teniendo en cuenta el parámetro de la densidad de los filamentos resultando con aumento debido al tiempo de crecimiento, llegando a obtener una estructura compacta después de unos 20 días; en la caracterización hidrodinámica y termomecánica, las medidas de absorción y resistencia al agua se realizaron en películas fibrosas de micelio después de 20 días de crecimiento, tienen la capacidad de resistencia a la humedad y su absorción es mínima. Concluyendo en este caso que en cuanto a la caracterización mecánica se adquirió las curvas de tensión-deformación que son bastante lineales, fallas, algunas torceduras.

El poliestireno expandido (EPS) es uno de los polímeros más utilizados a nivel mundial debido a su combinación de características como la ligereza ya que es 93 – 95 % de aire, se fabrica a partir de estireno monómero (Poeta, et al., 2017, p. 2) procedente de la polimerización, se le adiciona feniletileno, para generar las perlas blancas que consisten en distintas celdas cerradas sólidamente selladas entre sí (Barrera, Ocampo y Olaya, 2017, p. 180). Se ha utilizado ampliamente para embalaje, edificación y construcción, acuicultura/agricultura y aplicaciones industriales, como las que se encuentran en las industrias automotriz, eléctrica y electrónica (Ward, et al., 2019, p. 3).

La producción mundial de la espuma de poliestireno en el 2021 fue aproximadamente de 110,9 millones de toneladas métricas y se proyectó que crecería a una tasa del 15,6 % en los siguientes años, esta cifra representa casi el 26,4 de la producción mundial de plástico ya que es utilizado en diversos sectores como embalaje, edificación y construcción, acuicultura/agricultura e industrias (automotriz, eléctrica y electrónica) (Yeo, et al., 2022, p.16). De hecho, en Corea se producen aproximadamente 2 millones de boyas EPS sólo en la industria acuícola de manera anual, sin embargo, después de ser utilizadas tan solo el 28% de las boyas se han podido recuperar simbolizando la mayor parte

de los desechos de las playas de esta zona, de macro hasta micro tamaño. Por lo que, el continente asiático es líder a comparación de los demás continentes en la fabricación de EPS y representa el 55,1 % de toda la producción mundial, esto se debe a su alta demanda en la industria acuícola (Tian, Kim y Hyum, 2020, p.2). Lamentablemente, se establece que un gran porcentaje de los residuos de EPS se eliminan como contaminantes sólidos, mayormente esto se da en los países en desarrollo. Una cantidad significativa de EPS se desecha habitualmente en fábricas, industrias, mercados mayoristas, supermercados, grandes almacenes, restaurantes, entre otros (Maafa, 2021, p.5).

El poliestireno expandido debido a su aumento de demanda y su reciclaje limitado, por su volumen y toxicidad, equivale una importante cantidad de desecho. Durante el año 2017, según datos europeos la producción de residuos de poliestireno expandido de los sectores tanto de construcción como embalaje generó 530 000 toneladas, teniendo el 27% el total para EPS (Turner, A., 2018, p.3). En el 2018, Estados Unidos generó 3 000 000 de toneladas de desechos de poliestireno expandido y se valorizaron sólo el 0,9%, la baja tasa de recuperación se debió en parte a las dificultades asociadas con la separación de los desperdicios. (Rahimi y García, 2019, p.3). Por otro lado, en el continente europeo la aplicación en el sector de construcción es cerca del 80 y 20% es para empaque y embalaje, siendo este último uno de los porcentajes relativamente bajo a nivel mundial. En Norteamérica aproximadamente el 40% del consumo es para la construcción y casi el 60% restante se distribuye en empaques y otros sectores (Thornberry, M., 2020, p.6).

El bagazo de caña de azúcar es considerado como residuo agroindustrial sólido de la caña de azúcar luego de la extracción del jugo, caracterizándose por ser el residuo fibroso de los tallos de la caña, es utilizado mayormente para la producción de energía (Gopinath, A., et al, 2018). Asimismo este es capaz de utilizarse como producto primario en la elaboración de recipientes desechables, porque posee componentes como 23% celulosa, 9,9% lignina, 12,3% hemicelulosa, 48,7% carbono, 4,9% hidrógeno, 1,1% fósforo y 1,3% nitrógeno (Bhatnagar, A. , et al , 2017, p.25). A nivel mundial la cifra de producción que se genera de toneladas de bagazo es alrededor de 54 millones; debido a su abundancia y bajo costo del residuo agroindustrial

convirtiéndose en una alternativa para reemplazar productos sintéticos que contaminan el medio ambiente. (Fonseca & Monroy , 2022, p.27).

En cuanto a los hongos existen muchas especies entre ellos están los comestibles que van incrementándose gracias a los avances tecnológicos. Por este motivo, cada día se introducen a la comercialización nuevas variedades de este tipo de hongo. Entre los más utilizados se encuentran: el Champiñón Ostra (*Pleurotus Ostreatus*), el C. blanco (*Agaricus Bisporus*), el Portobello (*Agaricus Brunnescens*) y Shiitake (*Lentinus Edodes*) (Freundt, 2012, p.9). Respecto a la especie de micelio del cual se utilizó es el hongo “*Pleurotus Ostreatus*”, que está dentro de las especies competentes en explotar estos materiales, debido a que los hongos que tienen pudrición blanca consume principalmente la celulosa y lignina de troncos mediante enzimas que segregan consiguiendo su alimento (Díaz, et al., 2019, p.3).

La taxonomía del *Pleurotus Ostreatus* es la siguiente:

Tabla 01: Taxonomía del Pleurotus Ostreatus

Reino:	<i>Basidiomycota</i>
Subdivisión:	<i>Basidiomycotina</i>
Clase:	<i>Homobasidiomycetes</i>
Subclase:	<i>Agaricomycetidae</i>
Orden:	<i>Tricholomatales</i>
Familia:	<i>Pleurotaceae</i>

Fuente: Asociación Micológica Fungipedia

El micelio de los hongos está conformado por cadenas de armazones de células de tipo filamentosa (hifas) con gran contenido de quitina las cuales tienen la capacidad de unión cuando se desarrollan sobre un sustrato en específico, generando gran resistencia, es fundamental el asimilamiento de la materia orgánica para su crecimiento adecuado (Attias et al., 2019, p.10). Ciertos parámetros son indispensables para lograr su evolución óptima, puesto que existe una relación significativa entre la variación cuantitativa de contenido de sustancia orgánica con los parámetros como la densidad y espesor del micelio, siendo un número casi infinito de posibles combinaciones (Sydor, et al., 2022, p. 14).

Los compuestos de micelio son fruto del crecimiento de hongos de tipo filamentoso en materias orgánicas como los residuos agrícolas. Simbolizan una opción optimista para una mejor elaboración de nuevos productos, tanto en los procesos de producción más limpia como en su vida útil circular (Yang, Park y Qin, 2021, p.2). Se caracterizan principalmente como espumas y son empleados en los sectores de embalaje y construcción, amortiguadores acústicos, piezas estructurales o electrónicas, entre otros, su rendimiento físico y mecánico cambia puesto que depende según la arquitectura de las hifas, el contenido de la pared celular y la cinética del crecimiento que, a su vez, están influenciados por factores inherentes y exógenos (Jones, et al., 2017, p. 241). Lopez, B nos dice que “Los biomateriales son considerados sustancias sintéticas o de origen natural; también se dice que son materiales biodegradables, habitualmente proveen un uso específico aplicado dentro del cuerpo, y así delimitar el tiempo de durabilidad del producto hasta que se descomponga dependiendo del componente” (2019, p. 20-23).

Por otro lado, Gutierrez, D. mencionó que “Los residuos son la parte inservible de los materiales o materia prima procesada; además se le considera como residuo a cualquier producto como resultado de las actividades diarias del ser humano en los distintos procesos como la extracción, transformación entre otros, careciendo de valor por lo que son derivados como desechos” (2017, p. 24). Entre los tipos de residuos tenemos a los orgánicos, estos presentan la característica de biodegradabilidad, lo cual les permite transformarse en otros compuestos orgánicos. Pueden ser restos de comida, vegetales, domiciliarios, es decir, son de origen natural que pueden echarse a perder (González, A., Lopez, J., Martínez N., 2020, p.19). El reciclaje es una forma de rescatar estos desperdicios con la finalidad de satisfacer el ciclo económico, aprovechándose nuevamente como materia prima para una nueva producción. Así también se dice que el reciclaje es un método de separar la basura por grupos, dependiendo de los tipos de residuos que se encuentren en ellos, y que casi toda la basura es contenido de reciclaje (Bolaños, 2019, p.10)".

III. METODOLOGÍA

La investigación fue de enfoque cuantitativo, debido a que se encontró basado en la medición cuantitativa del micelio del *Pleurotus Ostreatus* y del bagazo de caña de azúcar para la elaboración de un biomaterial.

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo aplicada y de diseño experimental puro, puesto que se manipularon las variables independientes

3.2 Variables y operacionalización:

3.2.1 Variable independiente:

- Micelio de *Pleurotus Ostreatus*
- Bagazo de caña de azúcar

3.2.2 Variable dependiente:

- Biomaterial sustituto del Poliestireno expandido

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población:

El Proyecto se trabajó con la población de Micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar de la empresa Agroindustrial Laredo, considerando referencias bibliográficas sobre su implantación y también a criterio personal.

3.3.2 Muestra

- 2 kg de Micelio de *Pleurotus Ostreatus*, el cual fue adquirido mediante la compra de distribuidores de hongos comestibles
- 6 kg de bagazo de caña de azúcar, fue donado por la empresa de Agroindustrial Laredo

3.3.3 Muestreo

El muestreo que se realizó en la investigación fue de tipo no probabilístico, por conveniencia ya que la muestra no se seleccionó por ningún criterio estadístico.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

3.4.1 Técnicas

En el presente proyecto de investigación se aplicó como técnica, la observación y formatos de evaluación, en donde se registraron los datos obtenidos en las pruebas físicas que fue sometido el biomaterial. Luego de plantear nuestras bases teóricas se constató si nuestra hipótesis propuesta es verídica mediante la manipulación de las variables independientes. Estas técnicas fueron efectuadas mediante el proceso de elaboración del biomaterial, con el fin de ver la evolución del crecimiento de Micelio *Pleurotus Ostreatus* en el sustrato para la obtención del biomaterial y recopilación de datos que fueron necesarios para su respectiva comparación con otros biomateriales.

3.4.2 Instrumentos

3.4.2.1 Formatos de evaluación

Se utilizaron como instrumento formatos de evaluación para la recopilación de datos en los ensayos realizados durante la fase de pruebas físicas del biomaterial. Incluso se recolectaron las dosificaciones de bagazo de caña de azúcar y micelio que tendrán las muestras de nuestro biomaterial, lo cual servirá para obtener un biomaterial con mayor firmeza. Los formatos empleados en esta investigación fueron:

- **FORMATO N° 01: Análisis de Textura**

Se empleó para registrar los picos más altos de las muestras en las pruebas de dureza, elasticidad y resiliencia para sacar un valor promedio.

- **FORMATO N° 02: Análisis de Absorción de Agua**

Se anotaron los datos del peso seco de todas las muestras y el peso final, registrando en el formato los datos obtenidos y sacar un promedio final de absorción por cada réplica de las muestras.

- **FORMATO N° 03: Análisis de Densidad**

Fue utilizado para registrar las dimensiones de todas las réplicas de las muestras elaboradas y sacar la densidad promedio del biomaterial.

3.4.2.2 Cuadro Comparativo

- **FORMATO N° 04: Cuadro comparativo**

Permitió la comparación de las cifras obtenidas de nuestros resultados en los ensayos de textura, absorción de agua y densidad con los resultados de otros biomateriales similares ya realizados por otros autores que se harán mención así como también de la espuma de poliestireno.

3.5 Procedimientos

3.5.1. Procedimiento de elaboración del biomaterial

La propagación del micelio de hongos ostra (*Pleurotus Ostreatus*) se basó según el procedimiento descrito por (Jimenez, 2018, p.37) en donde produce micelio de hongos con fines comestibles y/o medicinales; el método propuesto se diferencia por haber empleado moldes de madera de 20x15x3cm para la formación final del biomaterial. Según lo mencionado anteriormente, se utilizó el micelio de hongo *Pleurotus Ostreatus* adherido a semillas de trigo y como único sustrato el bagazo de caña, el cual sirvió para el desarrollo del hongo cubriendo sus necesidades nutricionales.

El procedimiento realizado para la fabricación de este biomaterial inició con el tratamiento del sustrato, el cual pasó por los siguientes procesos: tamizado, desinfección y pasteurización de las fibras. El tamizado, se aplicó con la finalidad de uniformizar el tamaño de partícula y que sea fácilmente aprovechable a nivel alimenticio por el hongo, es decir que cuanto más pequeño sea la partícula mayor será la superficie colonizada. Se utilizó un tamiz N° 10 obteniendo fibras de 2,0 mm, el sustrato tamizado se homogeneizó con movimientos rotatorios suaves y se almacenó hasta su uso (Fig. 2 ,3).

Se realizó las pruebas de pH para verificar si se encontraba dentro de los rangos óptimos (6,5 - 6,8), se siguió el procedimiento según (Peña, et al., 2016, p. 79) quien indica lo siguiente, en un vaso precipitado de 500 ml se pesó 50 g de sustrato y se añadieron 450 ml de agua destilada. Se mezcló con agitador magnético durante 10 minutos y se dejó reposar por 15 minutos. Se sumergió el electrodo en la solución y se realizó la medición de pH. Se obtuvo un pH de 6,00 siendo un rango bajo para el desarrollo del *P. ostreatus* (Fig. 6).

Debido a esto, se realizó un tratamiento por inmersión del sustrato a una mayor escala con el fin de ajustar su pH, el sustrato fue humedecido a fin de proporcionar un medio adecuado para el desarrollo del micelio. En un balde con volumen de 20 L, se agregó 9 L de agua destilada y se homogeneizó con 1 kg de sustrato (Fig. 8, 9), se elevó el pH hidratando hasta alcanzar un valor alrededor de 6.71 lo cual está dentro del rango idóneo (Fig. 10, 11), se escurrió el sustrato, apretando fuertemente con la mano, para quitar el exceso de humedad (Fig. 12). Se obtuvo en total 6 kg aproximadamente en peso húmedo del sustrato.

Se realizó la prueba de humedad, para calcular si se encontraba dentro del 85%, se siguió el procedimiento según (A.O.A.C.,2016) se utilizaron 05 vasos de 50 ml, se sacó un primer peso sin sustrato y sin secado en la balanza eléctrica, luego se llevaron a la estufa a 105°C por 30 minutos, se volvieron a pesar cada 5 minutos hasta obtener un peso constante, se agregó entre 3 - 4 g de bagazo de caña y se volvió a pesar. Finalmente se llevó a la estufa a 105°C por 1hr 30min se pesó en un primer momento y luego de 15 minutos hasta un peso constante. Aplicando la fórmula, se tuvo como resultado que el sustrato tiene entre 85 y 87% de humedad dentro del rango ideal.

El sustrato fue distribuido dentro de bolsas de polipropileno de primer uso en cantidades de 300, 320 y 340 gr, por cada peso se realizaron 6 réplicas (Fig. 13, 14 y 15). Se sometió al proceso de pasteurización a 120°C con 1 PA en autoclave por un lapso de tiempo de 30 minutos (Fig. 17), este paso, tuvo

como objetivo eliminar bacterias y/o microorganismos patógenos, minimizando la probabilidad de una contaminación posterior a la inoculación del micelio en las fibras y asegurando un ambiente óptimo y nutritivo para su crecimiento; se dejó dentro de la cabina de flujo laminar JSR hasta que alcance una temperatura ambiente. Así mismo, el inóculo del hongo *Pleurotus Ostreatus*, se obtuvo por medio de la empresa Fungi Perú, cabe mencionar que durante todo este procedimiento se mantuvo en condiciones asépticas. Se repartió en 100, 80 y 60 g dentro de bolsas ziploc, se realizaron 6 réplicas por cada peso, se mantuvo en la cabina de flujo laminar a temperatura ambiente hasta el momento de su uso (Fig. 22).

Una vez que el sustrato consiguió una temperatura ambiente se encontró apto para ser inoculado con el micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*. Según (Jimenez, 2018, p. 28) la cantidad adecuada de semilla a inocular es de aproximadamente el 20% del peso húmedo de la muestra, por lo que se utilizó cantidades de 15, 20 y 25% del peso húmedo del sustrato, este procedimiento se realizó en la cabina de flujo laminar, ya que, es un espacio cerrado lo cual reduce la posibilidad de afectación por agentes externos, se desinfectó la superficie con una solución de alcohol al 70% y con rayos UV por 15 minutos. Para observar el crecimiento del micelio dentro del sustrato se utilizaron beakers de 1 litro, la siembra se hizo alternando capas de sustrato y de semilla, de modo que quedó una mezcla uniforme y cubriendo todos los espacios. Se colocó parafilm en la parte superior y se realizaron 5 perforaciones de 0,5cm para que sea posible el intercambio de oxígeno.

Como se hizo mención anteriormente, se empleó 03 diferentes dosificaciones tanto de sustrato como de micelio con 06 réplicas de cada una, sembrando un total de 18 unidades, fueron nombradas como M1, M2 y M3; los vasos "M1" para 340 g de sustrato con 60 g de semilla, "M2" para 320 g de sustrato con 80 g de semilla y M3 para 300 g de sustrato con 100 g de semilla, así mismo se hizo 02 controles sólo con 400 g de sustrato. Se dieron las mismas condiciones tanto a las muestras como a los controles, se colocaron en las incubadoras a 26°C, fueron hidratadas entre 5-10 ml con agua destilada

estéril y agitadas cada 2-3 días manualmente con el fin de homogeneizar y que el inóculo crezca en todo el sustrato (Fig. 25-43). Al cabo de 10 días de la inoculación se traspasaron a los moldes de madera (Fig. 44-50), estos sirvieron para la formación final del biomaterial, fueron llevados a la estufa en condiciones asépticas, oscuridad, T°: 26°C y una Humedad: 85-86% se cubrieron con papel film y se realizaron 6 perforaciones de 0,5cm.

Se les hizo un seguimiento diario a las muestras y controles para constatar el crecimiento del micelio dentro del sustrato y también verificar si estuviera siendo afectado por alguna posible contaminación por otros microorganismos como bacterias, hongos, entre otros, se observó como una masa de color blanco intenso y de textura algodonosa se expandía. Se siguió hidratando con agua esteril cada 2-3 días entre 5 - 10 ml pero sin remover, para esta etapa se hizo uso de un pulverizador de modo que no quedó superficie sin hidratar (Fig. 51). Al transcurrir 14 días, el micelio fue colonizando la parte exterior de los sustratos, se procedió con el desmolde de las muestras y se colocaron dentro bolsas de polipropileno con aire adentro, dejando en incubación por 5 días (Fig. 65 - 69). Terminado este tiempo, se sacaron las muestras de las bolsas, siguiendo con la fase final de la deshidratación del biomaterial elevando la temperatura a 60°C con el propósito de eliminar el exceso de agua y detener el crecimiento del hongo, obteniendo como resultado biomateriales resistentes con poca densidad (Fig. 71)

3.5.2. Procedimiento de caracterización física del biomaterial

Los biomateriales obtenidos fueron trasladados al Laboratorio de la Escuela de Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo en donde se realizó la caracterización física, realizando pruebas de textura, absorción de agua y densidad.

3.5.2.1 Densidad:

Fue una prueba importante para la categorización de los biomateriales ya que nos proporcionó información sobre la cantidad de masa dividida por unidad de volumen.

Este proceso se hizo sin deformación de los biomateriales, se utilizó una regla y un vernier de 150mm, se realizaron las mediciones de longitud, ancho y espesor de las 6 réplicas por cada muestra y también se utilizó una balanza electrónica para la medición de la masa.

Según la norma C303-10, se debe llevar a cabo un proceso de secado antes de iniciar con las mediciones con el fin de quitar el exceso de humedad, sin embargo, este paso no fue incluido ya que las muestras fueron analizadas de manera inmediata luego de haberse llevado a cabo la fase final de deshidratación para la obtención del biomaterial.

$$D = \frac{M}{V}$$

D= Densidad Kg/m^3

M= Masa

V= Volumen



Figura 1: Medición de las dimensiones de los biomateriales obtenidos

3.5.2.2 Textura:

Para este análisis se usó el TA.HDplus de Stable Micro Systems (Fig. 3), este equipo es ideal para realizar pruebas a materiales de pocos gramos de manera precisa. Las muestras fueron cortadas en fragmentos de 7 x 6 cm (Fig. 2) aproximadamente y luego colocadas cubriendo la cama de prueba en un marco de doble columna ejerciendo una fuerza perpendicular a las mismas, se usó una P/75 a una velocidad de 1 mm/sec y una distancia

media entre los soportes. Los datos obtenidos fueron procesados y analizados gráficamente a través de su software Exponent Connect.



Figura 2: Biomateriales cortados para la prueba de textura



Figura 3: Equipo TA.HDplus de Stable Micro Systems

3.5.2.3 Absorción de humedad:

En este análisis, a los biomateriales se les midió su capacidad de absorción de agua según la norma ASTM D 570-98 (2018). Las seis réplicas por cada muestra fueron cortadas con dimensiones de 7 x 6 cm aproximadamente, se les calculó su peso medio inicial (P1). Las muestras fueron sumergidas en agua destilada a una temperatura ambiente, por un periodo de tiempo de 45 minutos. Se retiraron de las bandejas y se retiró el exceso de agua con papel

absorbente, se pesaron nuevamente para conseguir el peso final (P2). Se aplicó la siguiente ecuación, para calcular el porcentaje peso ganado:

$$\Delta M = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$



Figura 4: Biomateriales sumergidos en recipientes con agua destilada para prueba de absorción de agua.

3.5.2. Comparación con otros Biomateriales y espuma de poliestireno.

Para este ítem se realizó una revisión bibliográfica en distintas base de datos con el fin de recolectar información de biomateriales realizados anteriormente por otros autores, se tuvo en cuenta el tipo de sustrato (residuos forestal, agroindustrial, entre otros), tipo de hongo (*Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma*) así como también las pruebas físicas realizadas (densidad, humedad, elasticidad). Así mismo para la comparación con la espuma de poliestireno primero se obtuvo sus valores estándar de estas mismas bases de datos; luego de haber realizado esta revisión bibliográfica se registraron todos los valores tanto de la espuma de poliestireno como de otros biomateriales en el Formato N° 04 - Cuadro Comparativo, para su respectiva comparación con el Biomaterial elaborado en esta investigación.

3.6 Método de Análisis de datos

Para el análisis y comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio propuestos, se hizo uso de los programas tales como Microsoft Word 2021 para la redacción del informe y el Excel 2021 para la creación de tablas, cuadros y gráficos que se utilizaron durante la caracterización física del biomaterial.

Además se empleó el software Exponent Connect para procesar datos de las pruebas de textura (dureza, elasticidad y resiliencia), después de haber obtenido los datos se aplicó el contraste de Grubbs para identificar los valores anómalos y poder descartar datos que no sean significantes en el resultados, se procedió a sacar el coeficiente de variación para las muestras en cada prueba y con ello poder interpretar nuestros resultados finales.

3.7 Aspectos éticos

Como es de nuestro conocimiento, la ética es el análisis de las bases de la moral mientras que esta es un conjunto de principios que rige la conducta de la sociedad. En pocas palabras, la moral es un modelo de normas de conductas que debemos tomar como ejemplo, por otra parte la ética indaga dichas normas, no resuelve los problemas aún así plantea las posibles soluciones, además comprende la facultad de diferenciar lo correcto de lo incorrecto.

En el proyecto se acató de manera intangible el principio de la ética por ende las bases de datos y referencias a emplear están correctamente estipuladas y citadas según lo establecido en la ISO 9001, siendo auténtico y los datos obtenidos en nuestros ensayos en el etapa experimental es la evidencia de ello. Teniendo como base los siguientes principios éticos honestidad, responsabilidad, respeto por el medio ambiente y la biodiversidad, libertad, singularidad, gratitud, compromiso con la no discriminación, equidad de genero, justicia, equidad y la cooperación.

IV. RESULTADOS

4.1. Parámetros físicos y químicos del biomaterial

4.1.1. Prueba de humedad del sustrato:

Según las pruebas de humedad (Tabla 02 y 03) realizadas al bagazo de caña de azúcar se constató que está dentro de los porcentajes óptimos para el crecimiento micelial teniendo un rango entre el 85 y 87%.

Tabla 02 : Bolsa de polipropileno con 340 g de sustrato

Muestra	Peso(Vaso)	Peso (Vaso+Muestra)	Peso Muestra (P.inicial)	P. muestra seca (P. Final)	%Humedad
M1	30,20	34,02	3,81	30,71	86,72
M2	30,41	34,02	3,60	30,88	87,11
M3	30,98	34,26	3,27	31,41	86,77
M4	29,75	33,53	3,78	30,24	86,97
M5	30,47	33,78	3,31	30,90	87,25

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 03 : Bolsa de polipropileno con 310 g de sustrato

Muestra	Peso(Vaso)	Peso (Vaso+Muestra)	Peso Muestra (P.inicial)	P. muestra seca (P. Final)	%Humedad
M1	30,20	33,98	3,78	30,71	86,71
M2	30,41	34,14	3,73	30,97	85,14
M3	30,98	34,31	3,33	31,40	87,38
M4	29,75	33,39	3,64	30,20	87,47
M5	30,47	34,75	4,27	31,03	86,90

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Biomateriales obtenidos

En las figuras 5-7, se observan los biomateriales logrados de las diferentes dosificaciones y las condiciones necesarias para su desarrollo como: la oscuridad, temperatura (26°C) y la humedad del sustrato (85 - 87%) durante los 29 días de la colonización del micelio; mostraron un aspecto blanquecino con algunos tonos amarillentos y cafés esto es debido al aumento de temperatura en la etapa final para la inhibición del hongo. Al uniformizar el tamaño de partícula del sustrato se incrementó su eficiencia para el desarrollo y crecimiento del micelio. Este resultado se obtuvo como consecuencia del aumento del intercambio de oxígeno e incremento de la retención de humedad.

Además, presentó una textura suave y algodonosa propia del micelio formado en la parte superficial o también llamada "piel fúngica", desarrollada de forma irregular, se visualizaron diferencias significativas ya que se elaboró diferentes tratamientos, obteniendo como resultado el análisis de un total de 18 muestras inoculadas y sólo 01 presentó contaminación por moho al día 14 de la siembra dentro del sustrato.



Figura 5: Biomateriales obtenidos Biomateriales obtenidos de la muestra "M1" con 340 g bagazo y 60 g de micelio.



Figura 6: Biomateriales obtenidos de la muestra "M2" con 320 g bagazo y 80 g de micelio



Figura 7: Biomateriales obtenidos de la muestra "M3" con 300 g bagazo y 100 g de micelio

4.3 Tratamientos control

En la figura 8 se pueden apreciar los tratamientos control de los sustratos sin inocular, se les dio las mismas condiciones controladas: la oscuridad, temperatura (26°C) y la humedad del sustrato (85 - 87%) durante los 29 días, No obstante se observó que a diferencia de las muestras M1, M2 y M3 estas no lograron consistencia ni obtuvieron la forma del molde en el que fue traspasado.



Figura 8: Biomateriales obtenidos de los tratamientos controles.

Para determinar las pruebas físicas y mecánicas del biomaterial se tuvo que realizar pruebas destructivas, estas se realizaron en probetas o muestras del biomaterial, debido a que fueron sometidos a distintos análisis y fuerzas hasta que se presente alguna modificación en su composición; siendo estas las propiedades las que nos dieron una perspectiva en qué circunstancias se puede utilizar el biomaterial y si estas características son similares a otros biomateriales ya elaborados (Manjunath, Meet & Ayush, 2021).

Las 3 muestras M1, M2 y M3 fueron capaces de pasar por las pruebas físicas planteadas, por el contrario, los controles debido a la poca firmeza y consistencia del bagazo no fueron capaces de realizar las pruebas planteadas.

Densidad:

En la Tabla 04 se puede observar los valores promedio obtenidos para este ensayo, teniendo como resultados para la muestra M1 una densidad promedio de $130,99 \text{ kg/m}^3$, para la muestra M2 de $131,19 \text{ kg/m}^3$ y para la muestra M3 se obtuvo $127,86 \text{ kg/m}^3$, esta última presentó una menor densidad de las 3 muestras analizadas.

Tabla 04: Valores promedio de los datos registrados para la prueba de densidad del biomaterial

Tipo de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Masa (g)	Densidad (kg/m^3)
M1 (340 g; 60 g)	18,7	14,7	2,4	85,2	130,99
M2 (320 g; 80 g)	18,8	14,6	2,5	88,5	131,19
M3 (300 g; 100 g)	18,5	14,3	2,3	78,1	127,86

Fuente: Elaboración propia

Absorción de agua:

En la Tabla 05 se puede observar los valores promedio obtenidos en este ensayo teniendo como resultados para la muestra M1 un porcentaje de absorción de agua promedio de 23,55%, para la muestra M2 de 11,79% y para la muestra M3 se obtuvo 15,35%, en esta prueba el M2 fue el que obtuvo una menor absorción de agua.

Tabla 05: Valores promedio de los datos registrados para la prueba de absorción de agua del biomaterial

Tipo de muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorción de agua (%)
M1 (340 g; 60 g)	13,88	17,18	23,55
M2 (320 g; 80 g)	16,95	18,95	11,79
M3 (300 g; 100 g)	16,69	19,25	15,35

Fuente: Elaboración propia

Textura:

En la Tabla 06 se puede observar los valores promedio obtenidos de las pruebas de dureza, elasticidad y resiliencia de las 03 muestras.

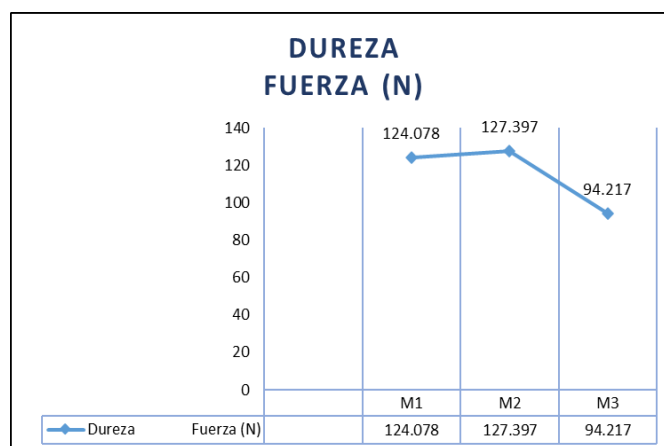
Tabla 06: Valores promedio de los datos registrados para las pruebas de dureza, elasticidad y resiliencia del biomaterial

Tipo de muestra	Dureza Fuerza (N)	Elasticidad (N/Pa)	Resiliencia (J/m^3)
M1 (340 g; 60 g)	124,078	0,538	0,163
M2 (320 g; 80 g)	127,397	0,682	0,209
M3 (300 g; 100 g)	94,217	0,68	0,238

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 01, se puede observar que el promedio de dureza de la muestra M2 es mayor a la muestra M1, y M3; es decir tiene mayor fuerza y resistencia al desgaste.

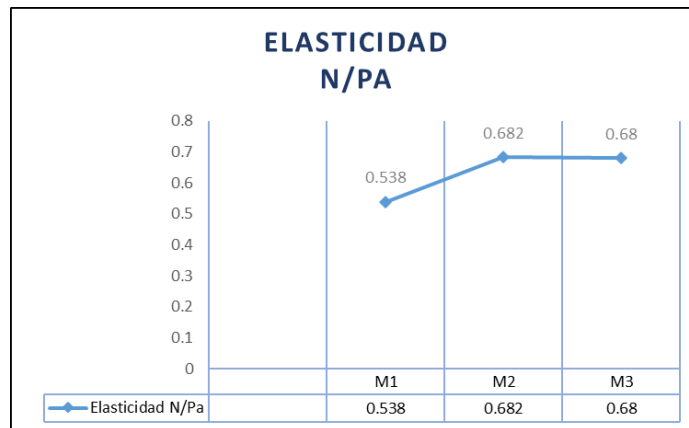
Gráfico 01: Valores promedio obtenidos de la prueba de dureza de las muestras M1, M2, M3 con sus respectivas réplicas.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 02, se puede observar que el promedio de elasticidad de la muestra M2 es mayor a la muestra M1, mientras que las M2 y M3 tuvieron valores iguales es decir tiene la misma capacidad de elasticidad.

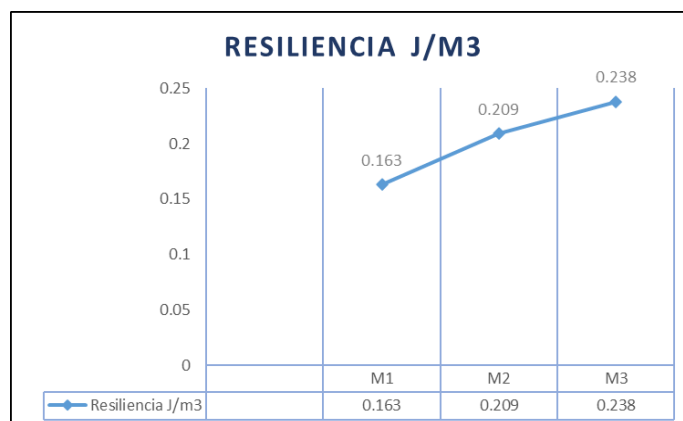
Gráfico 02: Valores promedio obtenidos de la prueba de elasticidad de las muestras M1,M2,M3 con sus respectivas réplicas.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 03, se puede observar que el promedio de resiliencia de la muestra M3 es mayor a la muestra M1 y M2, es decir tuvieron mayor capacidad de recuperar su forma al ser sometida a una fuerza.

Gráfico 03: Valores promedio obtenidos de la prueba de resiliencia de las muestras M1,M2,M3 con sus respectivas réplicas.



Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Constante de Grubbs

Se realizó un contraste de significación de los datos obtenidos para cada tipo de muestra. Este análisis se aplicó con el fin de decidir si la diferencia entre la cantidad medida y la cantidad conocida son significativas atribuyendo un error aleatorio, los contrastes se aplican ampliamente en la rama de investigaciones experimentales (Miller, 2002, p. 55).

Específicamente se utilizó el contraste de Grubbs para datos anómalos, se utiliza siempre y cuando el tamaño de la muestra sea entre 3 a 7, ya que en los resultados algunas réplicas de una misma muestra mostraron valores que difieren del resto. Este contraste menciona que si el valor G supera el valor crítico es decir $G > 1,887$ se rechaza la hipótesis de que el valor no sea anómalo. Sin embargo, luego de este análisis exhaustivo tan sólo dos muestras se rechazó la hipótesis debido a que dos valores eran anómalos, por lo que fueron retiradas de nuestras bases de datos, se empleó la siguiente fórmula:

$$G = \frac{|valor\ sospechoso - \bar{x}|}{s}$$

Donde:

\bar{x} = promedio

s = desviación estándar

En la Tabla 07, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de dureza de M1 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ no lo superan, es decir no se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo.

Tabla 07: Valores obtenidos para la prueba de dureza de la muestra M1 con sus 6 réplicas

	Dureza	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
M1	211,66	57,20	124,08	1,53	No es anómalo
	153,22	57,20	124,08	0,51	No es anómalo
	129,84	57,20	124,08	0,10	No es anómalo
	124,76	57,20	124,08	0,01	No es anómalo
	73,03	57,20	124,08	-0,89	No es anómalo
	51,96	57,20	124,08	-1,26	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M1 se refiere al biomaterial con 340 g bagazo y 60 g de micelio

En la Tabla 08, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de dureza de M2 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ no lo superan, es decir no se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo.

Tabla 08: Valores obtenidos para la prueba de dureza de la muestra M2 con sus 6 réplicas

	Dureza	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
M2	202,963	47,59	127,40	1,59	No es anómalo
	168,561	47,59	127,40	0,86	No es anómalo
	109,15	47,59	127,40	-0,38	No es anómalo
	107,828	47,59	127,40	-0,41	No es anómalo
	94,651	47,59	127,40	-0,69	No es anómalo
	81,228	47,59	127,40	-0,97	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M2 se refiere al biomaterial con 320 g bagazo y 80 g de micelio

En la Tabla 09, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de dureza de M3 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ no lo superan, es decir no se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo.

Tabla 09: Valores obtenidos para la prueba de dureza de la muestra M3 con sus 6 réplicas

	Dureza	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
M3	116,364	25,50	94,22	0,87	No es anómalo
	111,406	25,50	94,22	0,67	No es anómalo
	108,461	25,50	94,22	0,56	No es anómalo
	103,772	25,50	94,22	0,37	No es anómalo
	72,051	25,50	94,22	-0,87	No es anómalo
	53,247	25,50	94,22	-1,61	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M3 se refiere al biomaterial con 300 g bagazo y 100 g de micelio

En la Tabla 10, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de resiliencia de M1 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ sólo un valor lo supera, es decir se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo solo al primer valor de M1.

Tabla 10: Valores obtenidos para la prueba de elasticidad de la muestra M1 con sus 6 réplicas

	Elasticidad	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
M1	0,662	0,06	0,55	1,97	Es un valor anómalo
	0,542	0,06	0,55	-0,12	No es anómalo
	0,532	0,06	0,55	-0,30	No es anómalo
	0,511	0,06	0,55	-0,67	No es anómalo
	0,506	0,06	0,55	-0,75	No es anómalo
	0,542	0,06	0,55	-0,12	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M1 se refiere al biomaterial con 340 g bagazo y 60 g de micelio

En la Tabla 11, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de elasticidad de M2 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ no lo superan, es decir no se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo

Tabla 11: Valores obtenidos para la prueba de elasticidad de la muestra M2 con sus 6 réplicas

	Elasticidad	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
M2	0,769	0,05	0,68	1,73	No es anómalo
	0,699	0,05	0,68	0,33	No es anómalo
	0,693	0,05	0,68	0,21	No es anómalo
	0,657	0,05	0,68	-0,51	No es anómalo
	0,641	0,05	0,68	-0,83	No es anómalo
	0,635	0,05	0,68	-0,95	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M2 se refiere al biomaterial con 320 g bagazo y 80 g de micelio

En la Tabla 12, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de elasticidad de M3 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ no lo superan, es decir no se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo.

Tabla 12: Valores obtenidos para la prueba de elasticidad de la muestra M3 con sus 6 réplicas

M3	Elasticidad	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
	0,755	0,05	0,68	1,53	No es anómalo
	0,723	0,05	0,68	0,88	No es anómalo
	0,675	0,05	0,68	-0,09	No es anómalo
	0,651	0,05	0,68	-0,58	No es anómalo
	0,644	0,05	0,68	-0,72	No es anómalo
	0,63	0,05	0,68	-1,01	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M3 se refiere al biomaterial con 300 g bagazo y 100 g de micelio

En la Tabla 13, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de resiliencia de M1 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ sólo un valor lo supera, es decir se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo solo al primer valor de M1.

Tabla 13: Valores obtenidos para la prueba de resiliencia de la muestra M1 con sus 6 réplicas

M1	Resiliencia	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
	0,206	0,02	0,16	1,90	Es un valor anómalo
	0,169	0,02	0,16	0,27	No es anómalo
	0,156	0,02	0,16	-0,31	No es anómalo
	0,152	0,02	0,16	-0,49	No es anómalo
	0,145	0,02	0,16	-0,80	No es anómalo
	0,150	0,02	0,16	-0,58	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M1 se refiere al biomaterial con 340 g bagazo y 60 g de micelio

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de resiliencia de M2 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ no lo superan, es decir no se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo.

Tabla 14 : Valores obtenidos para la prueba de resiliencia de la muestra M2 con sus 6 réplicas

	Resiliencia	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
M2	0,23	0,02	0,21	1,04	No es anómalo
	0,226	0,02	0,21	0,84	No es anómalo
	0,221	0,02	0,21	0,59	No es anómalo
	0,205	0,02	0,21	-0,21	No es anómalo
	0,194	0,02	0,21	-0,76	No es anómalo
	0,179	0,02	0,21	-1,50	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M2 se refiere al biomaterial con 320 g bagazo y 80 g de micelio

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15, se puede apreciar que los resultados obtenidos en el contraste de Grubbs de la prueba de resiliencia de M3 al comparar con el valor crítico $G > 1,887$ no lo superan, es decir no se rechazó la hipótesis de que el valor no sea anómalo.

Tabla 15: Valores obtenidos para la prueba de resiliencia de la muestra M3 con sus 6 réplicas

	Resiliencia	Desviación Estándar	Promedio	Contraste de Grubbs	Resultado
M3	0,28	0,03	0,24	1,65	No es anómalo
	0,254	0,03	0,24	0,64	No es anómalo
	0,235	0,03	0,24	-0,10	No es anómalo
	0,229	0,03	0,24	-0,34	No es anómalo
	0,218	0,03	0,24	-0,77	No es anómalo
	0,21	0,03	0,24	-1,08	No es anómalo

Fuente: Elaboración propia

Nota: Muestra M3 se refiere al biomaterial con 300 g bagazo y 100 g de micelio

Fuente: Elaboración propia

Coeficiente de Variación

Luego de quitar los valores anómalos de nuestra base de datos, se realizó la medición del coeficiente de variación por cada muestra y en cada prueba.

Siendo ejemplo de error relativo, por lo que se expresa en porcentaje, se calcula para cada una de las distribuciones y los valores que se obtienen se comparan entre sí (Miller, 2002, p. 23).

Los errores relativos se utilizan con frecuencia al comparar las precisiones de los resultados que tienen diferentes magnitudes, la mayor dispersión corresponderá al valor del coeficiente de variación mayor. Indicando lo siguiente:

Si $CV \leq 30\%$ Los datos de la muestra son relativamente homogéneos, Por lo tanto, la media es representativa.

Si $30\% < CV \leq 70\%$ Los datos de la muestra son heterogéneos. Por lo tanto, la media no es representativa

Por ello se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Coeficiente de variación (CV)} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

\bar{x} = promedio

s = desviación estándar

En la Tabla 16, se puede observar el coeficiente de variación para cada muestra en la prueba de dureza siendo el M1 y M2 tuvieron una alta variabilidad con 46,10 y 37,36% respectivamente, sus datos son heterogéneos, las medias no son representativos, mientras que M3 tuvo una variabilidad moderada con 27,06% sus datos son homogéneos, la media es representativa representativa.

Tabla 16: Coeficiente de variación en la prueba de dureza por cada muestra

Tipo de muestra	Dureza Fuerza (N)	Coeficiente de variación (%)
M1 (340 g; 60 g)	124,08	46,10
M2 (320 g; 80 g)	127,40	37,36
M3 (300 g; 100 g)	94,22	27,06

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 17, se puede observar el coeficiente de variación para cada muestra en la prueba de elasticidad siendo el M1 es el que presentó la menor dispersión o variabilidad muy baja con 3,25%, por otro lado el M2 y el M3 contó con una variabilidad baja con 7,33 y 7,25% respectivamente, en las 3 muestras los datos son homogéneos, siendo sus medias representativas.

Tabla 17: Coeficiente de variación en la prueba de elasticidad por cada muestra

Tipo de muestra	Elasticidad N/Pa	Coeficiente de variación (%)
M1	0,538	3,25
M2	0,682	7,33
M3	0,680	7,25

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 18, se puede observar el coeficiente de variación en la prueba de resiliencia por cada muestra, el M1 es el que tuvo la menor dispersión o variabilidad muy baja con 5,88%, por otro lado el M2 y el M3 presentó una variabilidad baja con 9,60 y 10,80% respectivamente, en las 3 muestras los datos son homogéneos, siendo sus medias representativas..

Tabla 18: Coeficiente de variación en la prueba de resiliencia por cada muestra

Tipo de muestra	Resiliencia J/m ³	Coeficiente de variación (%)
M1	0,163	5,88
M2	0,209	9,60
M3	0,238	10,80

Fuente: Elaboración propia

4.2. Comparación del biomaterial elaborado con otros biomateriales y espuma de poliestireno

4.2.1. Comparado con otros biomateriales

En la Tabla 19, se puede apreciar la comparación entre nuestros resultados obtenidos en la caracterización física (densidad, absorción de humedad y elasticidad) del biomaterial realizado en este proyecto con los resultados de otros autores.

Tabla 19: Comparación con los valores de otros biomateriales realizados

CUADRO COMPARATIVO					
BIOMATERIALES	TIPO DE RESIDUO	HONGO	DENSIDAD (kg/m^3)	ABSORCIÓN DE AGUA (%)	ELASTICIDAD (MPa)
M1 (340 g; 60 g)	Bagazo de caña de azúcar	<i>Pleurotus ostreatus</i>	130,99	23,55	0,538
M2 (320 g; 80 g)			131,19	11,79	0,682
M3 (300 g; 100 g)			127,86	15,35	0,68
Rodriguez, Sebastián (2018, p. 11)	rastrojos de cereales y cáscaras de frutos secos	<i>Pleurotus ostreatus</i> y <i>Trametes versicolor</i>	149,37	15	1,21
Ocegueda, Diana (2021, p. 50)	residuos lignocelulósicos de encino	<i>Pleurotus ostreatus</i>	96 - 198	33,66 - 40,2	-
Apples, et al. (2019, p. 7)	paja, aserrín y algodón	<i>Trametes multicolor</i> y <i>Pleurotus ostreatus</i>	100 - 390	11,63	0,24
Jones, et al. (2020, p. 5)	residuos forestales	<i>Pleurotus ostreatus</i>	87 - 300	30 - 43	0,15 - 0,24
	residuos agroindustriales		130	10 - 26	0,52 - 1,10
Susel, et al. (2021, p. 14)	cáscara de nuez y aserrín	<i>Ganoderma lucidum</i>	169	-	0,392
Jimenez, Fabián (2018, p.38)	pasto de arroz y bagazo de caña de azúcar	<i>Pleurotus ostreatus</i>	132,7	-	1,43

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Comparado con espuma de poliestireno

En la Tabla 20, se puede apreciar la comparación entre nuestros resultados obtenidos en la caracterización física (densidad, absorción de humedad y elasticidad) del biomaterial realizado en este proyecto con los datos estándar de la espuma de poliestireno.

Tabla 20: *Comparación con los valores standard de la espuma de poliestireno*

CUADRO COMPARATIVO				
CARACTERIZACIÓN FÍSICA	MATERIAL MICELIO			EPS
	M1 (340 g; 60 g)	M2 (320 g; 80 g)	M3 (300 g; 100 g)	
DENSIDAD (kg/m^3)	130,99	131,19	127,86	10 - 50
ABSORCIÓN DE AGUA (%)	23,55	11,79	15,35	0,3 - 9
ELASTICIDAD (MPa)	0,538	0,682	0,68	1,24 - 3,45

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

- Este tipo de investigación, en donde están inmersos microorganismos, resulta compleja puesto que existen factores que intervienen en el desarrollo micelial, de manera que se debe seguir un monitoreo constante y vigoroso (Susel, et al., 2021, p. 12). Pese a que, el sustrato fue esterilizado y se dieron condiciones controladas (oscuridad, temperatura, humedad y tiempo) a las muestras incluido los controles, una de las muestras presentó contaminación por agentes externos, puesto que el micelio es susceptible y/o vulnerable en su fase de desarrollo (Sydor, et al., 2021, p.10). Para aclarar la diferencia de rendimiento en las muestras hay factores probables, tales como, al realizar la inoculación en cada muestra se puede deducir que no hubo una distribución adecuada de las semillas de micelio. Agregando a lo anterior, Elsacker, et al. recalcan que en un gran porcentaje de laboratorios se tiende a trabajar con microorganismos como bacterias, hongos, entre otros, por lo sigue existiendo esa probabilidad de contaminación del sustrato o del micelio durante la fase de siembra, así se los equipos e instrumentos estén en condiciones asépticas (2020, p. 5). Se debe tener en cuenta que el mínimo cambio en cualquier de los parámetros puede desencadenar una variación contundente en el desarrollo y homogeneidad de la colonización (Attias, et al., 2019, p. 10), como también la manipulación en la siembra dentro del sustrato, evidenciando lo complejo que es el trabajo con organismos vivos que dependen de condiciones controladas para el desarrollo de biomateriales a base de crecimiento micelial (Gil, et al, 2021, p. 22). Tras todas estas consideraciones se logró elaborar un biomaterial compuesto por micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar, en cuestión, el procedimiento está redactado en la metodología de este documento. Estos biomateriales no cuentan con normas propias, por consiguiente, se comparó con los datos obtenidos de biomateriales reportados en la literatura así como también con valores estándar del poliestireno expandido.

- Para el desarrollo del segundo objetivo de este proyecto se realizó la comparación de los resultados obtenidos de las pruebas físico mecánicas del biomaterial compuesto por micelio de *Pleurotus Ostreatus* y bagazo de caña de azúcar con investigaciones anteriores de otros biomateriales y de la espuma de poliestireno, encontrando diferencias significativas con este último.

La baja densidad es considerada importante en la competitividad con las espumas sintéticas, en nuestros resultados se obtuvo una densidad promedio entre 127,86 - 131,19 kg/m^3 , lo que significa que su densidad es baja, es decir son livianos, estos valores son relativamente cercanos comparados con los compuestos elaborados a base de micelio *Pleurotus ostreatus* y *Trametes versicolor* con rastrojos de cereales y cáscaras de frutos secos por Rodríguez, Sebastián (2018, p. 11) obtuvo como resultado una densidad de 149,37 kg/m^3 . Así mismo, Ocegueda, Diana en sus bioplásticos elaborados con micelio de *Pleurotus ostreatus* en residuos lignocelulósicos de encino (*Quercus castanea* née) y olote de maíz (*Zea mayz*) sus valores promedio de densidad variaron entre 96 - 198 kg/m^3 (2021, p. 50). Apples, et al., en sus compuestos miceliales con *Trametes multicolor* y *Pleurotus ostreatus* en sustratos como paja, aserrín y algodón obtuvo como valores promedio entre 100 - 390 kg/m^3 (2019, p. 7). Por otro lado, Jones, et al. mencionan que los biomateriales que contienen sustratos de residuos forestales, como el aserrín, tienen una densidad que varía entre 60 y 300 kg/m^3 , en cambio los que contienen como “relleno” sustratos de residuos agroindustriales, como fibras de paja entre otros, tienen densidades bajas alrededor de 130 kg/m^3 , esto se pudo comprobar ya que en nuestra investigación utilizamos residuos agroindustriales y nuestros valores están dentro del rango indicado por el autor (2020, p. 5). Respaldo esta afirmación tenemos el trabajo de Jimenez, Fabián el cual realizó biomateriales a partir de *Pleurotus ostreatus* y residuos como bagazo de caña de azúcar y pasto de arroz teniendo un promedio de densidad de 132,7 kg/m^3 siendo el

valor que más asemeja a nuestro resultado obtenido, el autor resalta que el desarrollo de este tipo de biomateriales en base a hongos para diferentes aplicaciones hoy en día ya dejó de ser un tema insustancial y que representa un alto grado de originalidad (2018, p.38). Así mismo Susel, et al. en sus bioplásticos elaborados con *Ganoderma lucidum* y residuos de cáscara de nuez y aserrín, obtuvo una densidad de 169 kg/m^3 indica que puede aprovecharse en el área de construcción no estructural recomendando mayores análisis ya que este tipo de compuestos son nuevos e innovadores (2021, p. 14).

Sin embargo, al compararlo con los valores estándar del poliestireno expandido (EPS) este presenta intervalos que oscilan entre $10 - 50 \text{ kg/m}^3$ lo cual es un rango mucho más bajo que el obtenido en esta investigación. Pese a ello, los autores anteriormente mencionados afirman que estos biomateriales si pueden utilizarse como un material alternativo de embalaje a las espumas tradicionales de poliestireno para el empaque de diferentes artículos o alimentos, donde su combinación de baja densidad y bajo costo les da una ventaja competitiva, a pesar de que la producción sigue siendo limitada, el proceso productivo está mejorando rápidamente.

- Para Pelletier, et al. los compuestos a base de crecimiento micelial pueden mostrar variación así se utilice el mismo tipo de fibra, ya que es directamente proporcional a la expansión del tejido propio del micelio dentro del sustrato, siendo mayor la absorción de humedad en aquellos que contengan fibras entrelazadas, facilitando la propagación de agua en el biomaterial (2019, p. 6). En nuestros resultados se obtuvo un porcentaje de absorción de agua entre 23,55% para la muestra M1, 11,79% para la muestra M2 y para la muestra M3 se obtuvo 15,35%, presentando el M2 un mejor comportamiento, es decir, tiene una menor absorción. Este porcentaje obtenido es relativamente bajo en comparación con los resultados por parte de Rodríguez, Sebastián quien obtuvo una absorción del 15%, hace mención que esta capacidad de

absorción de agua de materiales a base de micelio están generando un gran interés ya que pueden ser aprovechados como superabsorbentes (2018, p.12). De igual forma, Apples, et al. obtuvieron un resultado alrededor del 11,63%, este resultado se asemeja con el nuestro, menciona que la homogeneidad en el grado de colonización, así como el grosor de la piel fúngica y el tipo de sustrato, influyen en la rigidez y la resistencia al agua de los biomateriales (2019, p.9). Por otro lado, Ocegueda, Diana en sus bioplásticos obtuvo un alto grado de absorción de agua entre 33,66 y 40,2% la autora indica que en lugar de ver como una desventaja su alta capacidad de absorción se puede aprovechar en diferentes áreas (2021, p. 50). Comprobando estos datos se verificaron con la hipótesis planteada por Jones, et al., el cual indica que los biomateriales elaborados con residuos forestales su porcentaje de absorción varía entre 30-43%, mientras que los que incluyen solo residuos agroindustriales su porcentaje de absorción es mucho menor con un rango entre el 10-26%, esto también se pudo comprobar con nuestros datos obtenidos (2020, p. 5). Igualmente, Rodríguez, Sarache & Orrego hacen mención que el porcentaje de absorción de agua de estos compuestos puede alterar directamente en las pruebas físicas, ya que tanto los sustratos como el micelio absorben una cantidad significativa de agua (2014, p. 31).

Agregando a lo anterior, una de los inconvenientes de los materiales elaborados a base de micelio es su absorción de humedad ya que es más alta comparando con los valores estándar del poliestireno expandido (0,03 - 9% en peso) pudiendo ser una posible dificultad si se aplica para dentro del sector de construcción (techos, paredes, entre otros) debido a que presentaría fugas. La limitación en el volumen de absorción de agua de estos biomateriales hace que eleve su resistencia a la degradación cuando son expuestos a condiciones ambientales como la humedad, luz solar, variación de temperatura, preservando sus propiedades mecánicas y su estabilidad dimensional. (Yang, Park & Zhao, 2021, p. 9)

- En el ensayo de textura se obtuvieron resultados de dureza, elasticidad y resiliencia. Las muestras M1, M2 y M3 obtuvieron valores de 0,538, 0,682 y M3 con 0,68 MPa respectivamente para la elasticidad, se observó que el máximo esfuerzo en las fibras fue registrado para la muestra M3, mostrando una diferencia entre las muestras M1 y M3, este último fue mayor a los resultados obtenidos por los autores mencionados en sus biomateriales. En la investigación realizada por Appels et al., sometieron sus muestras a procesos de prensados en calor, frío y también sin prensar, las muestras prensadas en calor tuvieron un módulo elástico más alto, en comparación con las prensadas en frío y no prensadas obtuvo un módulo de 0,24 MPa (2019, p.68). Así mismo Susel, et al. obtuvo un valor de 0,392 MPa concluyendo que tiene una resistencia alta a la compresión, recalcan que estos compuestos dependen del tipo de residuo utilizado como sustrato para el micelio (2021, p. 14). Así mismo Jones, et al. indica que utilizando residuos agroindustriales se puede llegar a obtener un rango de elasticidad entre 0,32-1,10 MPa estos son valores aproximados e indica que dependerá si se incluye o no otros procesos tales como el prensado en frío o caliente. (2020, p. 7). Jimenez, Fabián obtuvo con valores promedio de 1,43 M/Pa indica que este material puede ser utilizado en aplicaciones donde no se demande del soporte de altas cargas de flexión, recomienda que puede obtenerse una mejora adicional de los materiales de micelio promoviendo la colonización en la parte central del sustrato (2018, p.38). Agregando a lo anterior, los autores en la literatura mencionan que esta característica puede verse afectada por las técnicas aplicadas tales como el prensado, ya que el prensado con calor puede aumentar sustancialmente la resistencia a la tracción.

Al comparar con el poliestireno expandido, este ha registrado valores entre 1,24 - 3,45 MPa, por consiguiente, hay una relación directa de proporcionalidad entre la densidad y la resistencia a la flexión, por el contrario los biomateriales son consistentes y fuertes pero quebradizos. La resiliencia depende del esfuerzo desviador para la densidad más baja; para mayor densidad ese efecto es muy ligero, es decir, éste

incrementa a medida que aumenta la densidad del material (Haneef, et al, 2017, p. 7). Las muestras M1, M2 y M3 consiguieron unos valores de 0,163, 0,209, 0,238 J/m^3 respectivamente teniendo relación con lo anteriormente mencionado, como se recalca la densidad es una de las causas que influyen en las propiedades mecánicas. De acuerdo con la literatura, la composición micelial, morfología y el rendimiento físico mecánico del micelio se ve influenciado por parámetros como el contenido de sustrato, las condiciones de incubación y el proceso de fabricación (Islam, et al.,2017, p.9). Por otra parte, la producción de este tipo de biomaterial sigue siendo un campo pionero y no se ha identificado un proceso estandarizado para producir propiedades optimizadas del material, aún no está definido cómo personalizar los tipos de sustratos para ciertas especies de hongos para maximizar el rendimiento de micelio y para optimizar el rendimiento mecánico. Es de suma importancia sintetizar información de la literatura científica, de patentes y la propia experiencia para identificar barreras y posibilidades para una implementación efectiva de los compuestos a base de micelio en la fabricación industrial, en el diseño de interiores arquitectónicos de apartamentos o en el sector de embalaje.

VI. CONCLUSIONES

- Con base en los resultados obtenidos, fue posible la elaboración de un biomaterial sustituto de la espuma de poliestireno a través del crecimiento micelial en bagazo de caña de azúcar. Haciendo una contribución significativa dentro de la investigación biológica del micelio, representando una opción viable y alternativa para el manejo de residuos sólidos.
- En los resultados obtenidos, el promedio de densidad de las tres muestras varía entre 127,86 y 131,19 kg/m^3 . Además, la muestra "M1" tuvo un alto porcentaje de absorción de agua con un 23,55%, mientras que el M2 obtuvo un mejor comportamiento con un 11,79%. En la prueba de flexión presentaron mayores esfuerzos las muestras M2 y M3 con valores de 0,682 y M3 0,68 MPa respectivamente, siendo estructuralmente más resistentes a la flexión y a la vez más livianas. Concluyendo que el M2 fue el que obtuvo resultados más eficientes y constantes en todas las pruebas a comparación de las otras muestras.
- Al realizar la comparación de los resultados obtenidos de las pruebas físico mecánicas realizadas al biomaterial con los valores del EPS se encontró que si hay diferencias notorias y significativas. Sin embargo, obtuvo valores similares a los compuestos a base de micelio elaborados por otros autores, presentando rigidez esta característica es debido a su baja densidad, lo cual es beneficioso, trae consigo ventajas e inconvenientes en comparación a las espumas de poliestireno, las ventajas, es su bajo impacto ambiental y su bajo costo de producción convirtiéndose en una prometedora alternativa ecológica. Los inconvenientes que pueden tener es su porcentaje de absorción de agua y el tiempo de elaboración, puede llegar a demorar mínimo un mes.

VII. RECOMENDACIONES

- Es recomendable utilizar moldes antiadherentes, de fácil autoclavado y reutilizables con la finalidad de que la biomasa crezca sin complicaciones por agentes patógenos.
- Es recomendable investigar y experimentar el uso de diferentes residuos agroindustriales, como también del aserrín de madera e inclusive mezclas de diferentes sustratos, estudiar las diversas especies de hongos (por tipo de pudrición, tipo de hifa, etc.) para identificar los más prometedores, puesto que pueden incluso mejorar las propiedades de interés a los materiales.
- Se recomienda investigar sobre suplementos que puedan ayudar a desarrollar y mejorar el crecimiento micelial como la cáscara de huevo, yeso, la melaza e inclusive plumas de gallina.
- Es recomendable contar con la cantidad necesaria de equipos y materiales confiables de modo que se garantice las condiciones de temperatura y humedad constantes a las muestras.
- Es recomendable realizar un estudio previo de los sustratos utilizados, se debe evitar que tengan residuos de plaguicidas, una menor cantidad de cenizas, ya que pueden afectar en el desarrollo micelial y en consecuencia también en las propiedades del biomaterial.
- Se recomienda realizar análisis de biodegradabilidad y también evaluar la compostabilidad para establecer su aporte benéfico así como someter a otro tipo de pruebas físicas.
- Es recomendable sintetizar información de la literatura científica, de patentes y la propia experiencia para identificar barreras y posibilidades para una implementación efectiva de los compuestos a base de micelio en la fabricación industrial, en el diseño de interiores arquitectónicos de apartamentos o en el sector de embalaje.

REFERENCIAS

A.O.A.C. - Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 20th Edition. Rockville: AOAC International, 2016. 3172p.

APPELS, Freek VW, et al. "Fabrication factors influencing mechanical, moisture-and water-related properties of mycelium-based composites." *Materials & Design* 161 (2019): 64-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>

ASTM D570-98 (2018). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.

ASTM C303-10(2016) .Standard Test Method For Dimensions And Density Of Preformed Block And Board-Type Thermal Insulation

ATTIAS, Noam, et al. Implementing bio-design tools to develop mycelium-based products. *The Design Journal*, 2019, vol. 22, no sup1, p. 1647-1657.

ATHIRA, et al. Effective utilization of sugar industry waste in Indian construction sector: A geospatial approach. *The Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2020 22(3), 724-736.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s10163-019-00963-w>

BARRERA, G., CARMONA, & OLAYA, J., "Production and characterization of the mechanical and thermal properties of expanded polystyrene with recycled material," *Ing. Univ.*, vol. 21, no. 2, pp. 177-194.

BHATNAGAR, A. ,et al. Multidisciplinary Approaches to Handling Wastes in Sugar Industries. *Water, Air and Soil Pollution*, 2017, 227(1), 1-30. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11270-015-2705-y>

BOLAÑOS ZEA, Juan Jose Gary. Reciclado de plástico PET. 2019. Disponible en:

http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLA%C3%91OS_ZEA_JUA_PET.pdf

DÍAZ MUÑOZ, Kevin, et al. Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 2019, vol. 26, no 3, p. 1177-1184.

ELSACKER, Elise, et al. A comprehensive framework for the production of mycelium-based lignocellulosic composites. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 725, p. 138431.

FARRELLY, Trisia A.; SHAW, Ian C. Polystyrene as hazardous household waste. *Household hazardous waste management*, 2019, p. 45-60.
<https://doi.org/10.5772/65865>

FREUNDT ESPINOSA, Pierre Agustín. Producción y comercialización de hongos comestibles para el mercado nacional e internacional. 2012.

FONSECA BALLESTEROS, Paula & MONROY MUNÉVAR. Propuesta de un medio filtrante biodegradable mediante fibras de celulosa a partir del bagazo de caña de azúcar. 2022. Tesis: Título de Ingeniero Químico. Fundación Universidad de América.

FURCI, G. (2013). Guía de campo: hongos de Chile (Vol. 1). INIAP Archivo Histórico.

GANDIA, A., et al . Flexible fungal materials: shaping the future. *Trends in Biotechnology*, 2021, 39(12), 1321-1331.

GIL JAIME, Brian Stevenson, et al. Entropía aislante termoacústico a partir de fique, micelio y heno. 2021.

GONZÁLEZ, Ángela; LÓPEZ, Jeiffer; MARTÍNEZ, Nohora. Propuesta de Recolección de Residuos Orgánicos del Municipio de Chía. 2020. Tesis Doctoral. Corporación

Universitaria Minuto de Dios. disponible

en:

https://repository.uniminuto.edu/xmlui/bitstream/handle/10656/12586/TE.PRO_LopezJeiffer-GonzalezAngela-MartinezNohora_2020.pdf?sequence=5&isAllowed=y

GOPINAT, Athira, et al. (2018). A circular framework for the valorisation of sugar industry wastes: Review on the industrial symbiosis between sugar, construction

and energy industries. Journal of Cleaner Production, vol. 203, p. 89-108

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.252>

GUTIÉRREZ MORENO, David Ramón. Gestión Integral de los Residuos Sólidos

Domiciliarios para mejorar la calidad ambiental urbana en el Distrito de Piura—

2017.

2018.

Disponible

en:

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/11774/gutierrez_md.pdf?sequence=1

HU, X. Q., et al. Photo-and Chemo-Degradable Polystyrene Containing & ITo&IT-Nitrobenzyl Ester and Trithiocarbonate Moieties. ACTA POLYMERICA SINICA, 2017, Vol 12, 1939-1946.

JIMÉNEZ REY, Fabián David. Elaboración de un material biológico a partir del hongo Pleurotus ostreatus para su utilización en aplicaciones de

ingeniería.Universidad de Costa Rica, escuela de Ingeniería de Biosistemas.
2018. Disponible en:
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/8603>

JONES, Mitchell, et al. Mycelium composites: a review of engineering characteristics and growth kinetics. *Journal of Bionanoscience*, 2017, vol. 11, no 4,p. 241-257.

LÓPEZ ESPINOZA, Bryan. Diseño de contenedores biodegradables para el transporte de alimentos. 2019. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Disponible en:
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9182/1/14826.pdf>

LOZANO, L. V., & ROJAS, E. A. Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar. 2020.

ISLAM, Mohammad Retaful, et al. Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Scientific reports*, 2017, vol. 7, no 1, p. 1-12.

MAAFA, Ibrahim M. Pyrolysis of polystyrene waste: A review. *Polymers*, 2021,vol. 13, no 2, p. 225. <https://doi.org/10.3390/polym13020225>

MANJUNATH,Shettar, MEET, Doshi & AYUSH, Kumar. Study on mechanical properties and water uptake of polyester-nanoclay nanocomposite and analysis of wear property using RSM. *Journal of Materials Research and Technology*, 2021, pag. 1620-1622.

VAN, C. V., & VAN, T. V. Abundance of plastic debris across European and Asian rivers. *Environmental Research Letters*, 14, 2019 , Vol 12, 124051.

WATKINS, Emma, et al. Marine litter: socio-economic study. 2017. p. 64.

MILLER, James N.; MILLER, Jane C. *Estadística y quimiometría para química analítica*. 2002.

OCEGUEDA VEGA, Diana Stephanie, et al. Bioplástico por biodesarrollo micelial de *Pleurotus ostreatus* en sustratos de residuos lignocelulósicos de encino (*Quercus castanea neé*) y olote de maíz (*Zea mayz*). 2021.

Pleurotus Ostreatus. Asociación Micológica Fungipedia. 2020. Fecha de consulta:

24 de Mayo del 2022. Disponible en:
<https://www.fungipedia.org/hongos/pleurotus-ostreatus.html>

PELLETIER, M. G., et al. Acoustic evaluation of mycological biopolymer, an all-natural closed cell foam alternative. *Industrial Crops and Products*, 2019, vol. 139, 111533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111533>

PEÑA CONTRERAS, Karla. Caracterización y biodegradación de los residuos lignocelulósicos domésticos. 2016.

POETA, Gianluca, et al. Plasticsphere in action: evidence for an interaction between expanded polystyrene and dunal plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no 12, p. 11856-11859. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8887-7>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente para América Latina. 2021. [en línea] [Fecha de consulta: 13 de Mayo del 2022] Disponible en: <https://www.unep.org/es>

RAHIMI, AliReza; GARCÍA, Jeannette M. Chemical recycling of waste plastics for new materials production. *Nature Reviews Chemistry*, 2017, vol. 1, no 6, p. 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41570-017-0046>

RODRÍGUEZ, Lady J.; SARACHE, William A.; ORREGO, Carlos E. Compuestos de Poliéster Reforzados con Fibra de Plátano/Banano (*Musa paradisiaca*) Modificada Químicamente: Comparación con Fibra de Vidrio y Fique (*Furcraea andina*). *Información tecnológica*, 2014, vol. 25, no 5, p. 27-34.

RODRÍGUEZ, Sebastián. Material biobasado compuesto por el micelio de hongos descomponedores de madera y residuos agroindustriales. RChD: creación y pensamiento, 2018, vol. 3, no 5.

SINGH, D. P., et al. Agrowaste bioconversion and microbial fortification have prospects for soil health, crop productivity, and eco-enterprising. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2019, 8, 457-472.

SUSEL, Gutiérrez Díaz Evelyn, et al. Biomaterial obtenido a partir de micelio de hongo (*ganoderma lucidum*) y residuos agrícolas: Biomaterial obtained from fungus micellium (*ganoderma lucidum*) and agricultural wastes. *South Florida Journal of Development*, 2021, vol. 2, no 3, p. 4663-4681.

SYDOR, M., et al. Mycelium-Based Composites in Art, Architecture, and Interior Design: A Review. *Polymers* 2022, 14, 145. 2021.

TIAN, Zhexi; KIM, Seung-Kyu; HYUN, Jung-Ho. Environmental distribution of styrene oligomers (SOs) coupled with their source characteristics: tracing the origin of SOs in the environment. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, vol. 398, p. 122968. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122968>

THORNBERRY, M. (2020). Expanding the Knowledge Base of Expanded and Extruded Polystyrene: A Report. Available online at: https://repak.ie/images/uploads/reports/Expanding_the_Knowledge_Base_of

[_Expanded_and_Extruded_Polystyrene.pdf](#)

TINOCO PADILLA, Giovanni Américo. Uso del residuo agrícola de la caña de azúcar como material alternativo para la elaboración de paneles prefabricados ecológicos de yeso—Lima 2018. 2018.

TURNER, Andrew. Foamed polystyrene in the marine environment: sources, additives, transport, behavior, and impacts. *Environmental science & technology*, 2020, vol. 54, no 17, p. 10411-10420. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03221>

YANG, Libin; PARK, Daekwon; QIN, Zhao. Material Function of Mycelium Based Bio-composite: A Review. *Frontiers in Materials*, 2021, vol. 8, p. 374. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.737377>

YEO, Bee Geok, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in new unexposed and beached expanded polystyrene foams. *Environmental Monitoring and Contaminants Research*, 2022, vol. 2, p. 14-21. <https://doi.org/10.5985/emcr.20210012>

WARD, Collin P., et al. Sunlight converts polystyrene to carbon dioxide and dissolved organic carbon. *Environmental science & technology letters*, 2019, vol.6, no 11, p. 669-674. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.9b005>

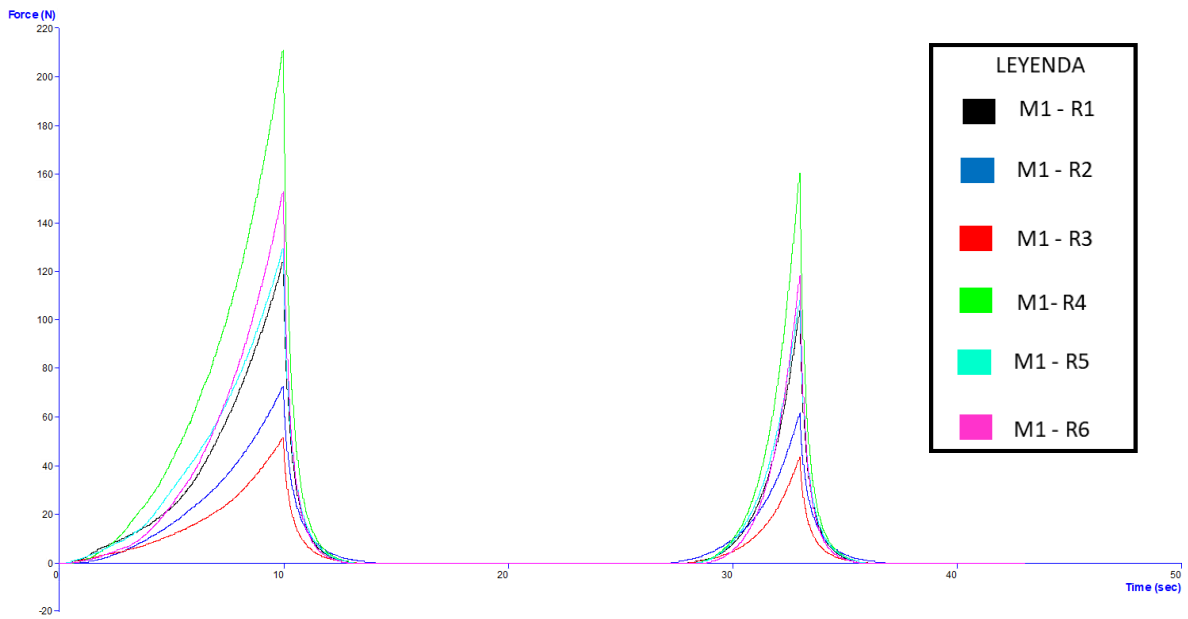
ANEXOS

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Micelio de <i>Pleurotus Ostreatus</i>	El hongo " <i>Pleurotus Ostreatus</i> ", está dentro de las especies competentes en explotar estos materiales ya que los hongos de pudrición blanca degradan la celulosa y lignina de troncos a través de enzimas que secretan al medio en el que crecen obteniendo así sus nutrientes (Díaz, et al., 2019, p.3).	Consiste en una red de estructura filamentosa que será empleada para la unión con el sustrato mediante su crecimiento para obtención del biomaterial. Se tomarán muestras de los diferentes materiales a utilizar, aplicándolos distintos pesos de micelio de <i>Pleurotus Ostreatus</i> .	Cantidad de micelio	Kilogramo (Kg)
Bagazo de caña de azúcar	El bagazo de caña de azúcar es considerado uno de los residuos sólidos de la caña de azúcar luego de la extracción del jugo, caracterizándose por ser el residuo fibroso de los tallos de la caña de azúcar, es utilizado mayormente para la generación de energía (Gopinath, A., et al, 2018)	El bagazo de caña de azúcar servirá como sustrato para la elaboración del biomaterial, sirviendo como base para el crecimiento de las colonias de micelio <i>Pleurotus Ostreatus</i> . Se aplicará distintos pesos de bagazo de caña de azúcar	Cantidad de bagazo de caña de azúcar	Kilogramo (Kg)
Biomaterial sustituto de la espuma de poliestireno	Los compuestos hechos a base de micelio son el resultado del crecimiento de hongos filamentosos en materiales orgánicos como los flujos de residuos agrícolas. Estos nuevos biomateriales representan una opción optimista para el diseño y elaboración de productos, tanto en términos de procesos de producción más limpia como en su vida útil circular. (Yang, Park y Qin, 2021 , p.2).	Elaboración de Biomaterial sustituto de Poliestireno Expandido a través de Micelio que sirven como materia prima y el Bagazo de caña de azúcar que funciona como sustrato para el crecimiento de micelio generando la respectiva unión con el bagazo para la formación del biomaterial. Luego se realizarán pruebas en las muestras, para poder determinar su eficiencia.	Porcentaje de eficiencia	Porcentaje (%)
			Absorción de agua	Abs (%)
			Densidad	(kg/m ³)
			Resistencia a la Flexión	kg/ cm ²

Tabla 21: Tabla operacionalización de variables

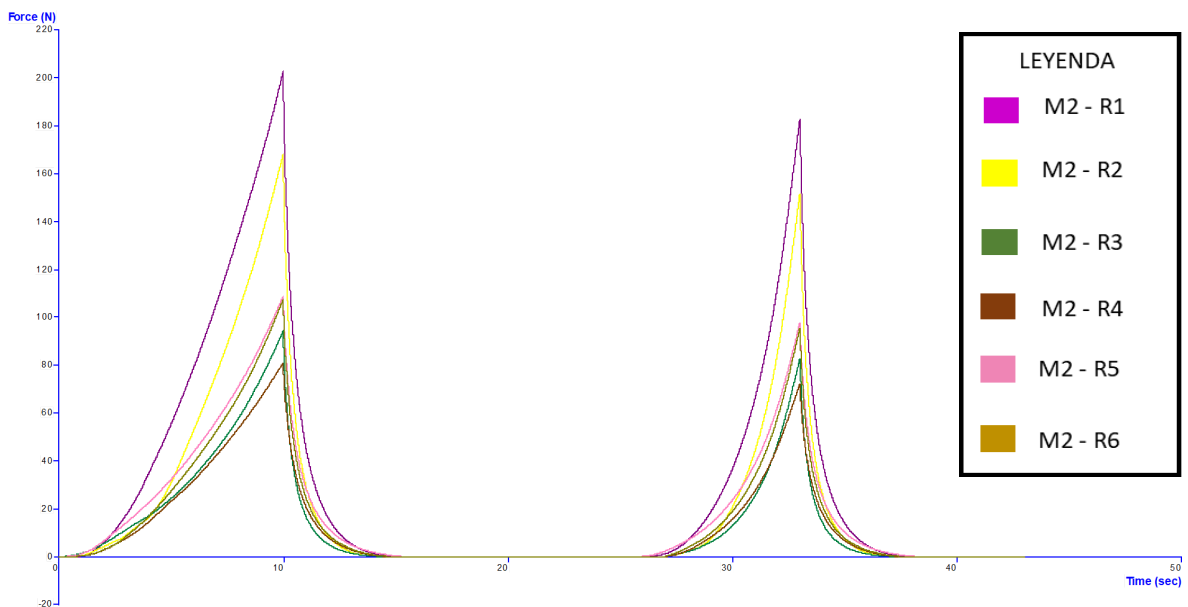
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 04: Valores obtenidos de las 6 réplicas de la muestra M1



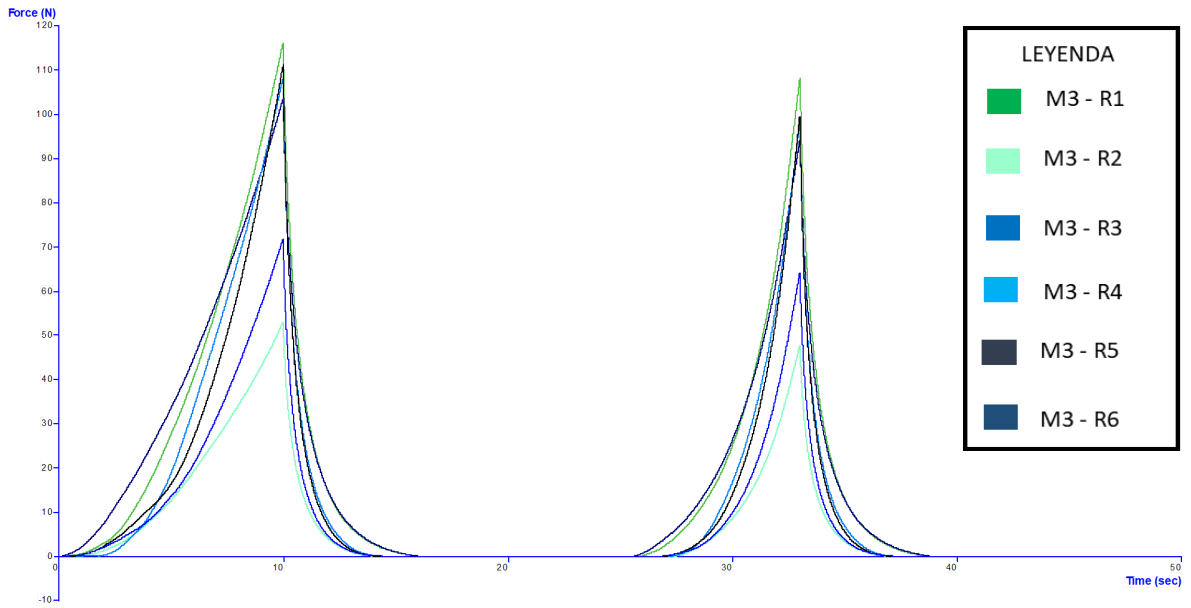
Nota: Muestra M1 se refiere al biomaterial con 340 g bagazo y 60 g de micelio

Gráfico 05: Valores obtenidos de las 6 réplicas de la muestra M2



Nota: Muestra M2 se refiere al biomaterial con 320 g bagazo y 80 g de micelio

Gráfico 06: Valores obtenidos de las 6 réplicas de la muestra M3



Nota: Muestra M3 se refiere al biomaterial con 300 g bagazo y 100 g de micelio

Tabla 22: Formato N°01 – Análisis de textura

ANALIS DE TEXTURA																																											
Fecha:	Formato: N°01																																										
<table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO DE LA PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Largo:</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Ancho:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Espesor:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DOSIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Bagazo de caña de azúcar</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Micelio</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Dureza(N)</td> <td style="width: 50%;">Promedio de las muestras</td> </tr> <tr> <td style="height: 30px;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Elasticidad (N/Pa)</td> <td style="width: 50%;">Promedio de las muestras</td> </tr> <tr> <td style="height: 30px;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Resiliencia (J/m3)</td> <td style="width: 50%;">Promedio de las muestras</td> </tr> <tr> <td style="height: 30px;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Tipo de Muestra</th> <th style="width: 25%;">Dureza (N)</th> <th style="width: 25%;">Elasticidad (N/Pa)</th> <th style="width: 25%;">Resiliencia (J/m3)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Nota: Valores promedio de las muestras con sus respectivas replicas.</p>		TAMAÑO DE LA PLACA		Largo:		Ancho:		Espesor:		DOSIFICACIÓN		Bagazo de caña de azúcar		Micelio		Dureza(N)	Promedio de las muestras			Elasticidad (N/Pa)	Promedio de las muestras			Resiliencia (J/m3)	Promedio de las muestras			Tipo de Muestra	Dureza (N)	Elasticidad (N/Pa)	Resiliencia (J/m3)	M1				M2				M3			
TAMAÑO DE LA PLACA																																											
Largo:																																											
Ancho:																																											
Espesor:																																											
DOSIFICACIÓN																																											
Bagazo de caña de azúcar																																											
Micelio																																											
Dureza(N)	Promedio de las muestras																																										
Elasticidad (N/Pa)	Promedio de las muestras																																										
Resiliencia (J/m3)	Promedio de las muestras																																										
Tipo de Muestra	Dureza (N)	Elasticidad (N/Pa)	Resiliencia (J/m3)																																								
M1																																											
M2																																											
M3																																											

Fuente: (Tinoco, Giovanni, 2018)

Tabla 23: Formato N°02 – Análisis de Absorción de Agua

ANALISIS DE ABSORCIÓN DE AGUA																															
Fecha:	Formato: N°02																														
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO DE LA PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Largo:</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Ancho:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Espesor:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DOSIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Bagazo de caña de azúcar</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Micelio</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> $\Delta M = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$ <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">Tipo de Muestra</th> <th style="width: 25%;">Peso inicial (g)</th> <th style="width: 25%;">Peso final (g)</th> <th style="width: 25%;">Absorción de agua (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Nota: Valores promedio de las muestras con sus respectivas replicas.</p>		TAMAÑO DE LA PLACA		Largo:		Ancho:		Espesor:		DOSIFICACIÓN		Bagazo de caña de azúcar		Micelio		Tipo de Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorción de agua (%)	M1				M2				M3			
TAMAÑO DE LA PLACA																															
Largo:																															
Ancho:																															
Espesor:																															
DOSIFICACIÓN																															
Bagazo de caña de azúcar																															
Micelio																															
Tipo de Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorción de agua (%)																												
M1																															
M2																															
M3																															

Fuente: (Tinoco, Giovanni, 2018)

Tabla 24: Formato N°03 – Análisis de Densidad

ANALISIS DE DENSIDAD																																											
Fecha:			Formato: N°03																																								
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO DE LA PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Largo:</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Ancho:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Espesor:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DOSIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Bagazo de caña de azúcar</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Micelio</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> $\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$ <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Tipo de Muestra</th> <th>Largo(cm)</th> <th>Ancho(cm)</th> <th>Espesor (cm)</th> <th>Masa(g)</th> <th>Densidad (kg/m3)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						TAMAÑO DE LA PLACA		Largo:		Ancho:		Espesor:		DOSIFICACIÓN		Bagazo de caña de azúcar		Micelio		Tipo de Muestra	Largo(cm)	Ancho(cm)	Espesor (cm)	Masa(g)	Densidad (kg/m3)	M1						M2						M3					
TAMAÑO DE LA PLACA																																											
Largo:																																											
Ancho:																																											
Espesor:																																											
DOSIFICACIÓN																																											
Bagazo de caña de azúcar																																											
Micelio																																											
Tipo de Muestra	Largo(cm)	Ancho(cm)	Espesor (cm)	Masa(g)	Densidad (kg/m3)																																						
M1																																											
M2																																											
M3																																											
Nota: Valores promedio de las muestras con sus respectivas replicas.																																											

Fuente: (Tinoco, Giovanni, 2018)

Tabla 25: Formato N°05 – Cuadro Comparativo

CUADRO COMPARATIVO					
Fecha:			Formato N°04		
MUESTRA	DOSIFICACIÓN		DENSIDAD	ABSORCIÓN DE AGUA	Textura
	BAGAZO	MICELIO			Elasticidad
N° 1					
N° 2					
N° 3					

Fuente: Tinoco, Giovanni, 2018

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.



ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189

INFORME DE ANÁLISIS FQAPERU SAC

SOLICITANTE	: MELISSA ARANDA CALIPUY
MUESTRA	: BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR
FECHA DE INGRESO	: 20 DE SETIEMBRE DEL 2022
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

DETERMINACIONES	Unidades	Resultados
HUMEDAD	%	47.99
DENSIDAD	g/cc	0.126
CENIZAS	%	0.97
NITRIGENO	%	0.27
MATERIA ORGANICA	%	16.8

DETERMINACIONES	Unidades	Resultados
LIGNINA	%	12.6
CELULOSA	%	24.4
HEMICELULOSA	%	20.1

Métodos empleados:

Método Kjendalh (nitrogeno)

Espectrometría UV (potasio, fósforo)

Método de Dicromato de Potasio

*Metodología analítica para cuantificar el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina

*Metodología analítica para cuantificar el contenido de ceniza, método de cenizas totales(calcinación)

TRUJILLO 23 DE SETIEMBRE DEL 2022


Ing. DSO Pedro A. Yajqui Mendoz
C.I.P. 122588
GERENTE GENERAL

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 942 844 957 - 949 959 63 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperu@hotmail.com



Figura 9: Entrega del bagazo de caña de azúcar por la empresa Sol de Laredo



Figura 10: Tamiz de 2mm



Figura 11: Proceso de tamizado del sustrato con un tamiz de 2mm

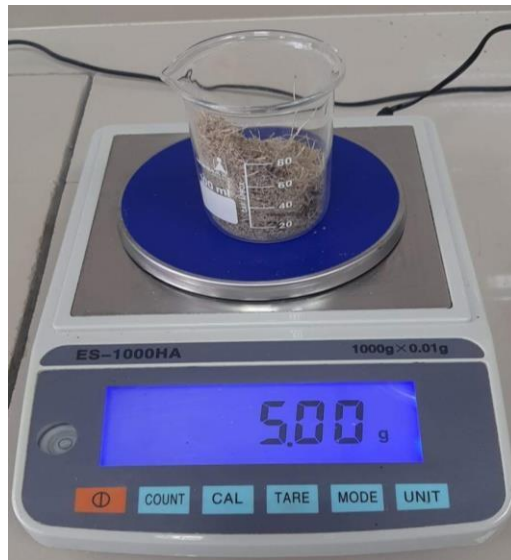


Figura 12: Pesado de 5g de sustrato en balanza electrónica



Figura 13: Proceso de agitación



Figura 14: Medición el pH dando como resultado 6, valor bajo



Figura 15: Mezcla homogenizada

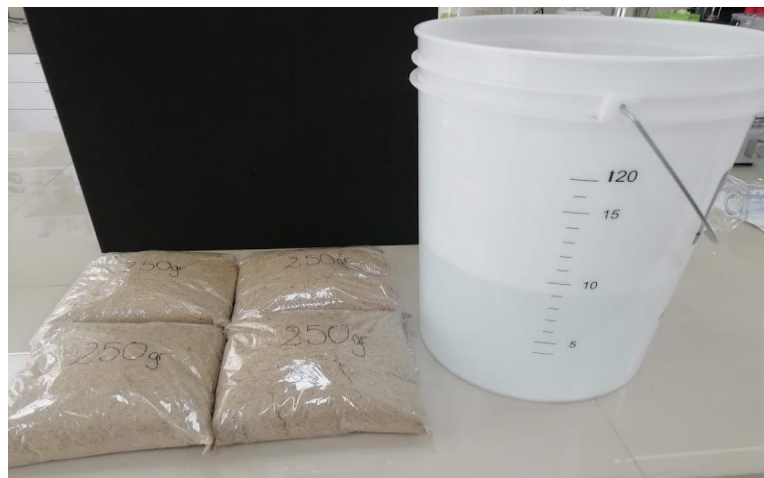


Figura 16: Se utilizaron 9 litros de agua destilada para 1 kg de sustrato



Figura 17 : Proceso de homogenización del sustrato con el agua destilada



Figura 18 y 19: Medición del Ph



Figura 20: Sustrato luego de ser escurrido



Figura 21: Distribución de 300 g de sustrato en bolsas de polipropileno



Figura 22: Distribución de 320 g de sustrato en bolsas de polipropileno



Figura 23: Distribución de 340 g de sustrato en bolsas de polipropileno



Figura 24: Equipo autoclave



Figura 25: Se colocó el sustrato en la autoclave a 120 ° C por 30 min



Figura 26: Sustrato luego del auto clavado



Figura 27: Desinfección de la cabina con rayos UV

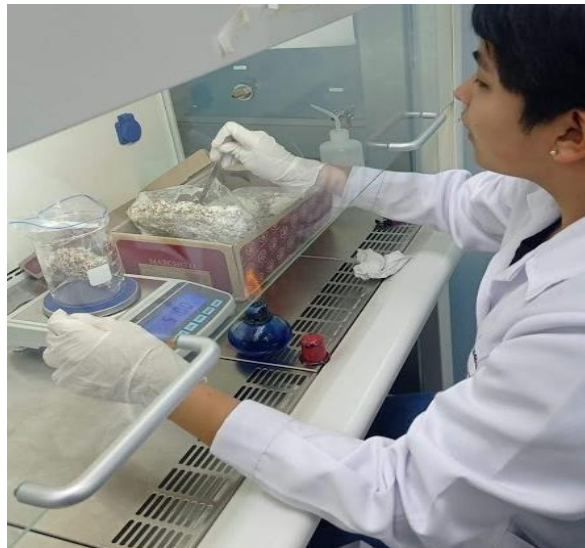


Figura 28: Distribución de micelio en bolsas de polipropileno de 1er uso



Figura 29: Distribución de micelio, 60 gr



Figura 30: Almacenaje del sustrato y micelio en la cabina de flujo laminar

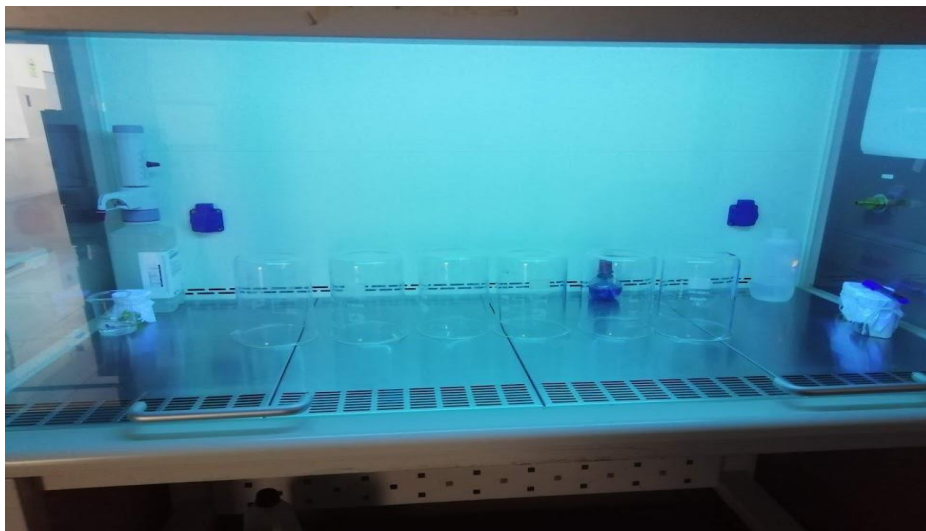


Figura 31: Desinfección de los vasos con rayos UV



Figura 32: Siembra de Micelio de *Pleurotus Ostreatus* con el sustrato



Figura 33: Intercalado de sustrato y micelio en proceso de siembra.

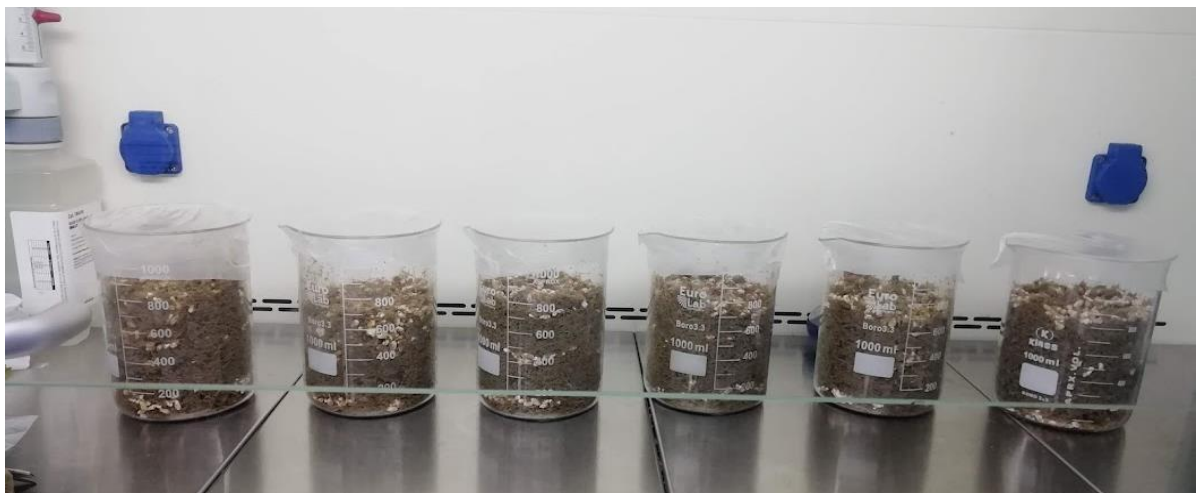


Figura 34: Muestra 01 ya sembrado



Figura 35: Se realizó 04 perforaciones de 0.5 cm



Figura 36: Día 03 de la Muestra 01 en la incubadora



Figura 37: Día 05 de la muestra 01 en la incubadora



Figura 38: Muestra "M1" y sus réplicas en proceso de oxigenación.



Figura 39: Vaciado de sustrato inoculado con micelio a la bandeja.



Figura 40: Adherencia de micelio en partículas del bagazo de caña de azúcar.



Figura 41: Se mezcló el sustrato inoculado con micelio de la muestra "M1" Y sus réplicas.



Figura 42: Se volvió a colocar el sustrato inoculado de la muestra "M1" a los vasos precipitados.



Figura 43: Muestra "M1" y sus respectivas replicas después del proceso de oxigenación.



Figura 44: Día 05, Muestra "M1" luego de ser removidos.



Figura 45: Muestra “M2” y sus réplicas antes del someterlo al proceso de oxigenación.



Figura 46: Día 05, “M1” proceso de oxigenación y homogenización.



Figura 47: Se volvió a colocar el sustrato inoculado de la muestra “M2” a los vasos precipitados



Figura 48: Día 05, Muestra "M3" en vaso precipitado.



Figura 49: Crecimiento del micelio *Pleurotus Ostreatus* en la muestra "M3".



Figura 50: Vaciado de la muestra "M3" en la bandeja para el proceso de oxigenación.



Figura 51: Controles C1 y C2 con contenido de bagazo de caña de azúcar puro.



Figura 52: Limpieza de moldes



Figura 53: Traspaso de todas las muestras a los moldes



Figura 54: Muestra "M1" en los moldes de madera

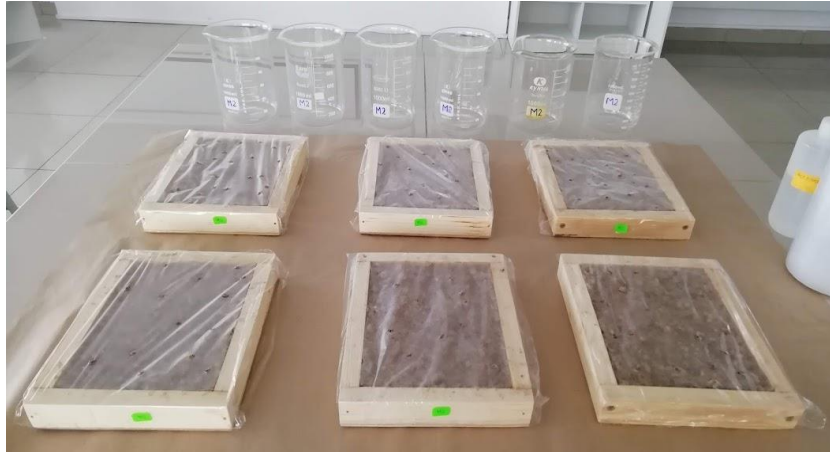


Figura 55: Muestra "M2" trasapado a sus moldes

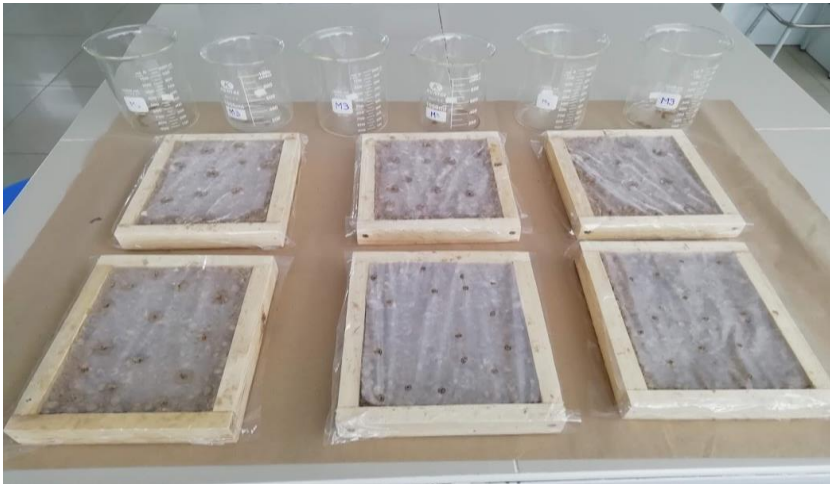


Figura 56: Muestra "M3" trasapado a sus moldes



Figura 57: Control "C1" y "C2" en moldes



Figura 58: Fase de hidratación de las muestras



Figura 59: Muestra "M1" a los 07 días de ser traspasados



Figura 60: Muestra "M3" a los 07 días de ser traspasados



Figura 61: M1 a los 09 días de ser traspasados

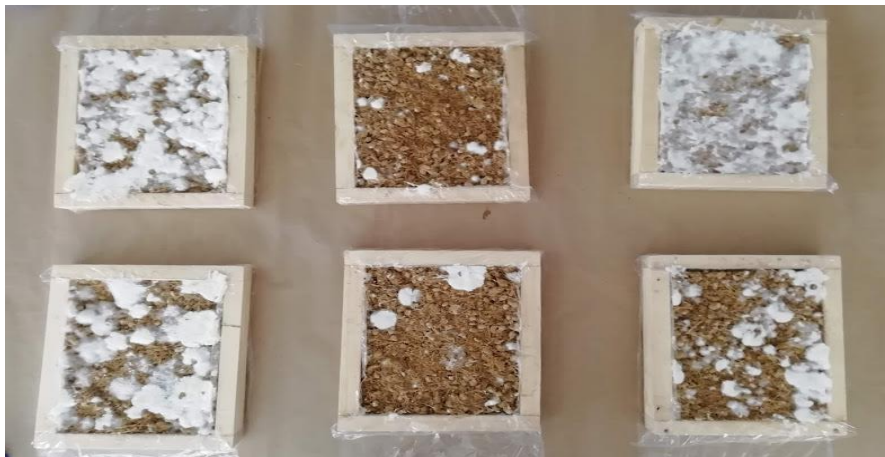


Figura 62: Muestra "M2" a los 09 días de ser traspasados.



Figura 63: Muestra "M3" a los 09 días de ser traspasados.



Figura 64: Controles a los 09 días de ser traspasados

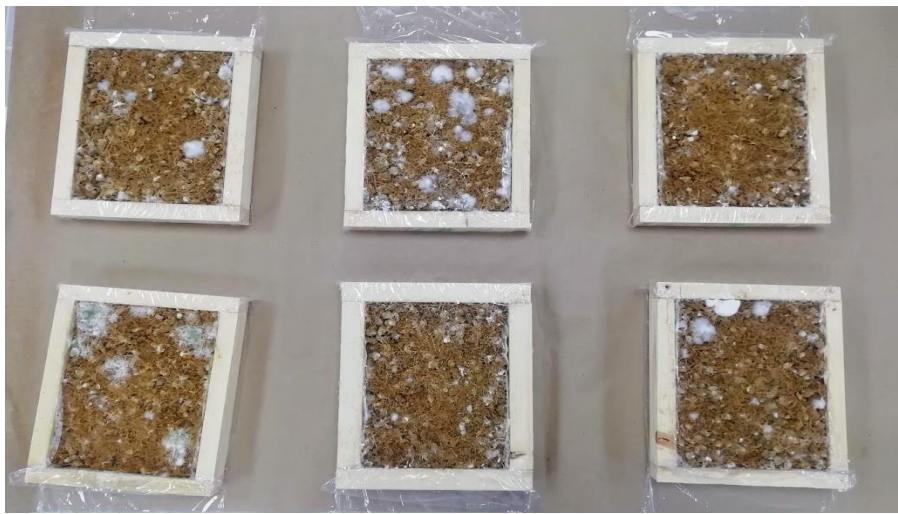


Figura 65: Muestra "M1" a los 11 días de ser traspasados

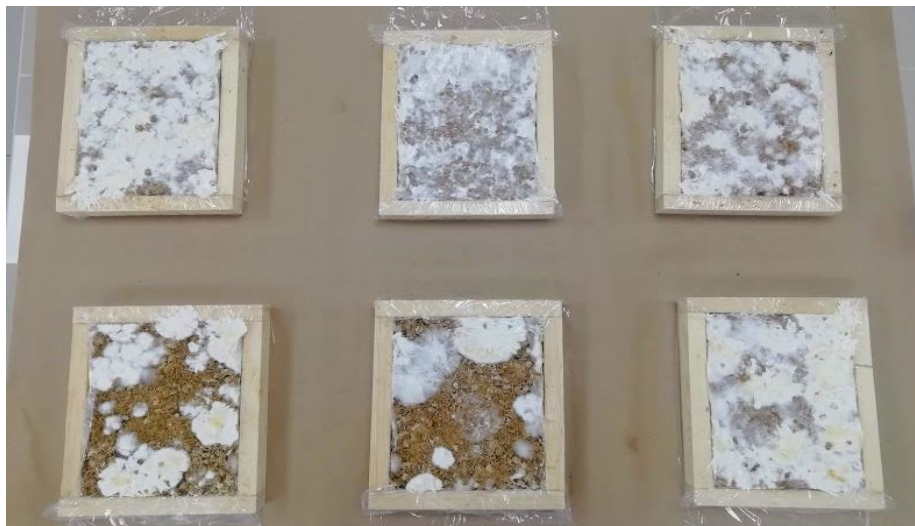


Figura 66: Muestra "M2" a los 11 días de ser traspasados



Figura 67: Muestra "M3" a los 11 días de ser traspasados



Figura 68: Controles a los 11 días de ser traspasados

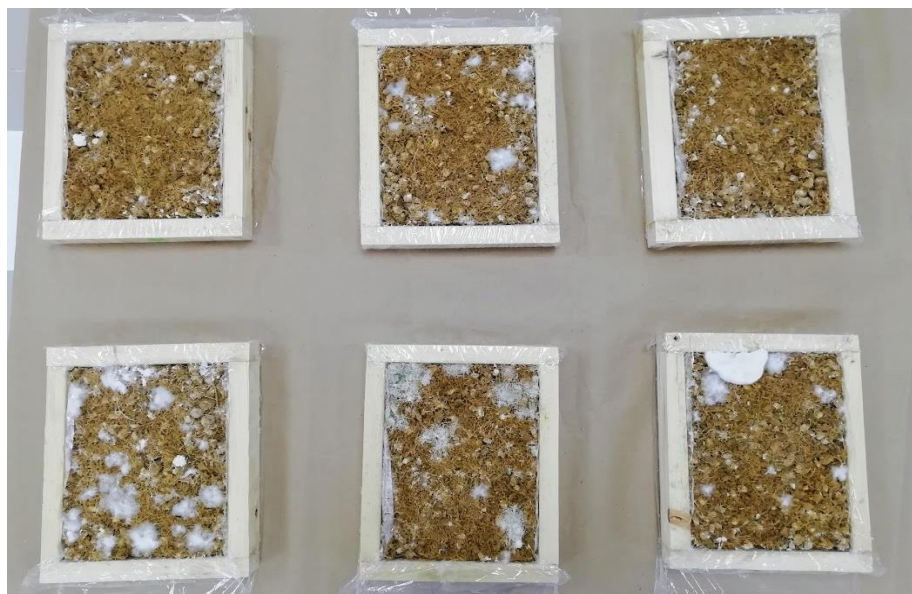


Figura 69: Muestra "M1" a los 13 días de ser traspasados.

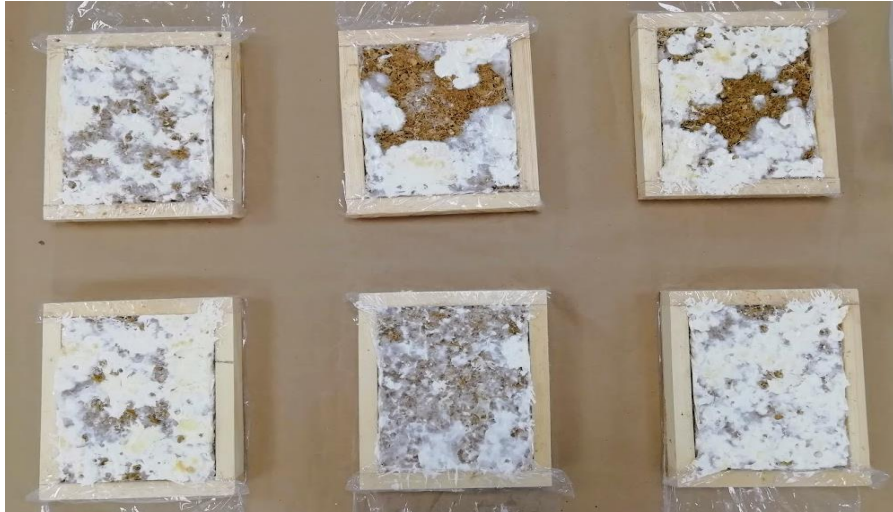


Figura 70: Muestra "M2" a los 13 días de ser traspasados



Figura 71: Muestra "M3" a los 13 días de ser traspasados



Figura 72: Fase de desmolde de los biomateriales



Figura 73: Desmolde del Biomaterial "M1" a los 14 días de ser trasgado



Figura 74: Desmolde del Biomaterial "M2" a los 14 días de ser trasgado



Figura 75: Desmolde del Biomaterial "M3" a los 14 días de ser trasgado



Figura 76: Acomodando los biomateriales en bolsas de polipropileno



Figura 77: Desarrollo de Biomaterial y Controles en Estufa



Figura 78: Fase de inhibición del micelio en la estufa de secado a 60°C por 24hr



Figura 79: Vista frontal de Biomaterial obtenido



Figura 80: Vista frontal de Biomaterial obtenido



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Micelio de Pleurotus Ostreatus y bagazo de caña de azúcar como biomaterial sustituto de la espuma de poliestireno", cuyos autores son ARANDA CALIPUY MARIA MELISSA SEMIRAMIS, RONCAL LAZARO ALEXIA SOLANGE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 6.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 21 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO DNI: 18110481 ORCID: 0000000202155175	Firmado electrónicamente por: MAQUEZADAA el 20- 12-2022 13:53:46

Código documento Trilce: TRI - 0448990