



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO I

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL MICELIO DE
GANODERMA LUCIDUM**

PRESENTADO POR:

11941390

FRANCISCO ALEJANDRO LANZA ALVARADO

11811182

JORGE DAVID CENTENO AGUILAR

ASESOR TEMÁTICO: ING. MSc. JULIO CÉSAR LÓPEZ ZERÓN

ASESOR TEMÁTICO: ING. MSc. JUAN CARLOS REYES ZÚNIGA

ASESORA METODOLÓGICA: ING. MSc. KARLA ANTONIA UCLÉS BREVÉ

CAMPUS TEGUCIGALPA; OCTUBRE, 2022.

RESUMEN EJECUTIVO

Diversas investigaciones han demostrado que actividades relacionadas al rubro de la construcción se consideran como una de las causantes del daño al medio ambiente, siendo parte de ello las acciones vinculadas con la fabricación de materiales de construcción.

Debido a esto es importante identificar nuevos procedimientos y materias primas que provean una mayor sostenibilidad para mitigar el efecto provocado al medio ambiente.

Como propuesta se ha planteado un trabajo de investigación para fabricar un material compuesto de micelio cultivado en sustratos de aserrín de caoba y aserrín de pino para determinar sus propiedades mecánicas. El hongo seleccionado ha sido obtenido en el Centro de Micología Tropical de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, denominado "*Ganoderma Lucidum*", popularmente conocido como "hongo Reishi".

Además de fabricar un material que pudiera ser sostenible, se ha recopilado información mediante diferentes fuentes bibliográficas en la web, como lo es la base de datos "Scielo" y biblioteca del CRAI de UNITEC, acerca de las resistencias a compresión de diferentes tipos de micelio para realizar un análisis comparativo y determinar los posibles usos en la industria de la construcción.

Para la investigación se han fabricado 9 probetas cilíndricas para determinar la resistencia a la compresión y la absorción de micelio cultivado en aserrín de pino, aserrín de caoba y semillas de maicillo, donde se han obtenido que el micelio cultivado en semillas de maicillo tiene una resistencia a la compresión de 0.36 Mpa y un porcentaje de absorción promedio del 28.44 %, así mismo se observó un bajo crecimiento del micelio en el aserrín de caoba y de pino.

Palabras clave: *Ganoderma Lucidum*, aserrín de pino, aserrín de caoba, resistencia a compresión.

ABSTRACT

Various investigations have shown that activities related to the construction sector are considered one of the causes of damage to the environment, being part of it the actions related to the manufacture of construction materials.

Due to this, it is important to identify new procedures and raw materials that prove greater sustainability to mitigate the effect caused to the environment.

As a proposal, a research work has been proposed to manufacture a material composed of mycelium cultivated in substrates of mahogany sawdust and pine sawdust to determine its mechanical properties. The selected mushroom has been obtained at the Tropical Mycology Center of the National Autonomous University of Honduras, called "Ganoderma Lucidum", popularly known as "Reishi mushroom".

In addition to manufacturing a material that could be sustainable, information has been compiled through different bibliographic sources on the web, such as the "Scielo" database and UNITEC's CRAI library, about the compressive strengths of different types of mycelium. to perform a comparative analysis and determine the possible uses in the construction industry.

For this research, 9 cylindrical test tubes have been manufactured to determine the resistance to compression and the absorption of mycelium cultivated in pine sawdust, mahogany sawdust and sorghum seeds, where it has been obtained that the mycelium cultivated in sorghum seeds has a resistance at a compression of 0.36 Mpa and an average absorption percentage of 28.44%, likewise a low growth of the mycelium was demonstrated in the Mahogany and Pine sawdust.

Keywords: Ganoderma Lucidum, specimen, mahogany sawdust, pine sawdust, compressive strength.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I	Introducción	1
II	Planteamiento del Problema.....	6
2.1	Precedentes del Problema	6
2.2	Definición del Problema	9
2.3	Justificación.....	11
2.4	Preguntas de Investigación.....	14
2.5	Objetivos.....	14
2.5.1	Objetivo general.....	14
2.5.2	Objetivos específicos.....	14
III	Marco Teórico.....	15
3.1	Impacto de la construcción en el medio ambiente.....	15
3.1.1	Impacto social, en el ecosistema y los recursos naturales	15
3.1.2	Evaluación del Impacto Ambiental.....	21
3.2	Materiales de construcción tradicionales.....	23
3.2.1	Conglomerantes	23
3.2.2	Mortero.....	27
3.2.3	Concreto.....	28
3.2.4	Bloques de concreto	28
3.2.5	Ladrillo de arcilla	30
3.3	Materiales de construcción alternativos vs ladrillos de adobe.....	31
3.3.1	Ladrillos de adobe.....	32

3.3.2	Ladrillos ecológicos y otras alternativas	36
3.4	Micelio de hongo	40
3.4.1	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MICELIO.....	43
3.4.2	HONGO GANODERMA LUCIDUM	47
3.4.3	SUSTRATOS PARA EL CULTIVO DEL MICELIO.....	49
3.5	Usos del micelio en la industria de la construcción.....	51
3.5.1	AISLANTE TÉRMICO HECHO A BASE DE MICELIO	51
3.5.2	BLOQUES DE MICELIO	54
IV	Metodología.....	57
4.1	Enfoque	57
4.1.1	Enfoque mixto	57
4.2	Variables de Investigación	57
4.2.1	Variables dependientes.....	58
4.2.2	Variables independientes.....	58
4.3	Técnicas e instrumentos aplicados	60
4.3.1	Esterilización de sustrato por medio de olla de presión	61
4.3.1	Método de incubación.....	62
4.3.1	Monitoreo de temperatura.....	63
4.3.2	Fuentes secundarias de investigación	64
4.3.3	Asesoría temática	64
4.3.4	Características del micelio.....	64
4.4	Materiales.....	67
4.5	Metodología de estudio	68

4.5.1	Selección de micelio.....	69
4.5.2	Selección de sustrato	70
4.5.3	Adquisición de micelio.....	70
4.5.4	Adquisición de sustratos.....	71
4.5.5	Moldes cilíndricos para ensayo de compresión.....	71
4.5.6	Análisis de laboratorio.....	72
4.5.7	Preparación de sustrato	79
4.5.8	Inoculación del micelio	83
4.5.9	Monitoreo	86
4.5.10	Montaje en moldes.....	87
4.5.11	Desmontaje.....	88
4.5.12	Secado de micelio.....	89
4.5.13	Análisis de laboratorio del micelio.....	91
V	Resultados y análisis	95
5.1.1	Análisis de sustratos	95
5.1.2	Secado del micelio.....	95
5.1.3	Crecimiento del micelio en sustratos.....	96
5.1.4	Análisis de laboratorio de probetas de micelio.....	100
5.1.5	Comparativa de resistencia a compresión con materiales de construcción tradicionales	104
VI	Conclusiones.....	105
VII	Recomendaciones.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mundo sostenible vs mundo consumista	1
Ilustración 2 Impactos del cambio climático en América Latina.....	6
Ilustración 3 Edificio Transoceánica de Chile	7
Ilustración 4 Emisiones de CO ₂ en producción de cemento	9
Ilustración 5 Análisis del ciclo de vida de un edificio	10
Ilustración 6 Emisiones de fabricación de materiales para un m ² de construcción.....	10
Ilustración 7 Diagrama cíclico de materiales de micelio.....	12
Ilustración 8 Micelio utilizado en “arquitectura viva” en su etapa de crianza	13
Ilustración 9 Ilustración 6 Micelio utilizado en “arquitectura viva” en su etapa final.....	13
Ilustración 10 Ciclo de vida de los materiales de construcción.....	18
Ilustración 11 Manejo de residuos en obras de construcción	20
Ilustración 12 Manejo de residuos de construcción.....	20
Ilustración 13 Componentes de un estudio de impacto ambiental	21
Ilustración 14 Organigrama para la ejecución de proyectos.....	22
Ilustración 15 Cemento natural sin mezclar	24
Ilustración 16 Cemento portland sin mezclar	25
Ilustración 17 Mapa conceptual de los tipos de cal	26
Ilustración 18 Yeso usado en pared interior.....	27
Ilustración 19 Mortero de cal	27
Ilustración 20 Mezcla de concreto en obra.....	28

Ilustración 21 Muro de bloques de hormigón.....	29
Ilustración 22 Ladrillo de arcilla roja.....	30
Ilustración 23 Horno artesanal en el Municipio Lobatera, Estado Táchira, Venezuela.....	31
Ilustración 24 Ladrillo romano con el sello de la "Legio XXII Primigenia".....	31
Ilustración 25 Conformación artesanal de ladrillos a base de adobe	32
Ilustración 26 Diagrama del sistema de fabricación básica del mampuesto de adobe	33
Ilustración 27 Proceso de elaboración del ladrillo ecológico	40
Ilustración 28 Micelio sobre tronco de madera	41
Ilustración 29 Componentes del hongo.....	41
Ilustración 30 Crecimiento del micelio de <i>Pleurotus Ostreatus</i>	43
Ilustración 31 Hifas de micelio.....	44
Ilustración 32 Hongo <i>Ganoderma lucidum</i>	48
Ilustración 33 Sustrato de paja picada.....	49
Ilustración 34 Producción industrial de sustrato de madera para cultivo de hongos comestibles	51
Ilustración 35 Pared con aislamiento cultivado a partir de hongos	52
Ilustración 36 Ecovative, casa hecha con aislante de micelio.....	53
Ilustración 37 Ladrillo entrelazado fabricados por la empresa "MycoWorks"	54
Ilustración 38 Arco hecho con bloques de micelio de <i>Ganoderma Lucidum</i>	55
Ilustración 39 La Torre de Ladrillos de Hongos Orgánicos llamado "Hy-Fi Tower"	56
Ilustración 40 Variables de investigación de resistencia a compresión.....	59
Ilustración 41 Variables de investigación de ensayo de absorción.....	59
Ilustración 42 Variables de investigación de fabricación de materiales de micelio.....	60

Ilustración 43 Olla de presión convencional.....	62
Ilustración 44 Bolsas de polipropileno con filtro de micra.....	63
Ilustración 45 Medidor de temperatura.....	63
Ilustración 46 Página principal de "Scientific Electronic Library Online" (SciELO).....	64
Ilustración 47 Máquina "Prensas de Carga HM-5030".....	66
Ilustración 48 Proceso utilizado en la elaboración de material a base de micelio.....	69
Ilustración 49 Crecimiento de micelio de <i>Ganoderma Lucidum</i> en semillas de maicillo.....	71
Ilustración 50 Aserrín de caoba.....	71
Ilustración 51 Moldes cilíndricos para realización de probetas de micelio y aserrín.....	72
Ilustración 52 Cuarteo de aserrín.....	73
Ilustración 53 Tamizadora.....	73
Ilustración 54 Registro de peso de aserrín retenido en tamiz.....	74
Ilustración 55 Tamizado #4 de aserrín.....	75
Ilustración 56 Registro de peso de latas para prueba de humedad.....	76
Ilustración 57 Toma de peso de la lata más el aserrín.....	77
Ilustración 58 Colocación de latas en bandeja.....	77
Ilustración 59 Colocación de latas de contenido de humedad dentro del horno.....	78
Ilustración 60 Registro de peso de aserrín de Caoba en bolsa.....	79
Ilustración 61 Medición de agua para humectación de sustrato.....	81
Ilustración 62 Olla de presión con rejilla.....	82
Ilustración 63 Colocación de sustrato en olla de presión.....	82
Ilustración 64 Esterilización de sustrato en olla de presión.....	83
Ilustración 65 Tiempo de espera de enfriamiento.....	83

Ilustración 66	Peso de micelio utilizado para inoculación	84
Ilustración 67	Inoculación de micelio.....	86
Ilustración 68	Lugar de crecimiento de micelio	86
Ilustración 69	Colocación de sustrato en moldes cilíndricos.....	87
Ilustración 70	Incubación final del micelio en moldes.....	88
Ilustración 71	Desmontaje de micelio cultivado	88
Ilustración 72	Cilindros de micelio para prueba de compresión	89
Ilustración 73	Medición de dimensiones de cilindro de micelio.....	90
Ilustración 74	Secado del micelio al horno	90
Ilustración 75	Colocación de micelio en máquina de compresión	91
Ilustración 76	Registro de deformación de micelio	92
Ilustración 77	Fallo de cilindros de micelio.....	92
Ilustración 78	Peso de cilindro de micelio antes de sumersión en agua	93
Ilustración 79	Cilindros de micelio sumergidos en agua	93
Ilustración 80	Secado del micelio una vez sumergido en agua durante 24 horas.....	94
Ilustración 81	Peso de cilindros humedecidos durante 24 horas	94
Ilustración 82	Monitoreo de crecimiento del micelio en aserrín de Caoba.....	97
Ilustración 83	Monitoreo de crecimiento del micelio en aserrín de Pino.....	98
Ilustración 84	Resultados del crecimiento del micelio a los 14 días.....	98
Ilustración 85	Crecimiento de micelio en moldes cilíndricos	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Impactos medioambientales de los proyectos de construcción	15
Tabla 2 Impactos medioambientales de los proyectos de construcción	16
Tabla 3 Impactos medioambientales de los proyectos de construcción	17
Tabla 4 Procedimiento paso a paso en la elaboración de ladrillos de adobe	36
Tabla 5 Porcentajes óptimos de materiales reciclados.....	37
Tabla 6 Características de materiales inorgánicos plásticos en los ladrillos ecológicos.....	38
Tabla 7 Clasificación taxonómica del <i>Ganoderma Lucidum</i>	48
Tabla 8 Producción mundial de hongos utilizando sustratos acondicionados	50
Tabla 9 Materiales utilizados en elaboración de ladrillos.....	67
Tabla 10 Tipos de hongos utilizados como materiales	69
Tabla 11 Granulometría combinada de aserrín de Caoba	74
Tabla 12 Peso de latas para pruebas de humedad	76
Tabla 13 Peso de lata más aserrín	77
Tabla 14 Pesos de las latas más el aserrín seco	78
Tabla 15 Porcentaje de contenido de humedad en el aserrín.....	78
Tabla 16 Peso seco de aserrín de Caoba en bolsas	80
Tabla 17 Ml de agua a utilizar para aserrín de Caoba	80
Tabla 18 Cantidad de micelio a inocular en aserrín de Caoba.....	85
Tabla 19 Cantidad de micelio a inocular en aserrín de Pino	85
Tabla 20 Características de sustratos.....	95
Tabla 21 Pesos y dimensiones de cilindros de micelio en semillas de maicillo.....	95

Tabla 22 Pesos y dimensiones de cilindros a las 4 horas de secado al horno	95
Tabla 23 Peso unitario de probetas	96
Tabla 24 Resultados de ensayo de resistencia a compresión en probeta no. 1.....	100
Tabla 25 Resistencia máximo del micelio en maicillo	102
Tabla 26 Resistencia a la compresión de diferentes tipos de micelio.....	103
Tabla 27 Módulo de Young promedio.....	103
Tabla 28 Porcentaje de absorción	103
Tabla 29 Resistencia a compresión de materiales de construcción comunes.....	104
Tabla 30 Acta de Asesoramiento 1.....	121
Tabla 31 Acta de Asesoramiento 2.....	122
Tabla 32 Acta de Asesoramiento 3.....	123
Tabla 33 Acta de Asesoramiento 4.....	124
Tabla 34 Acta de Asesoramiento 5.....	125
Tabla 35 Acta de Asesoramiento 6.....	126
Tabla 36 Monitoreo de temperatura de aserrín de Caoba en semana 1.....	127
Tabla 37 Monitoreo de temperatura de aserrín de caoba en semana 2	128
Tabla 38 Monitoreo de temperatura de aserrín de pino en semana 1	129
Tabla 39 Monitoreo de temperatura de aserrín de pino en semana 2	130
Tabla 40 Resultados de ensayo de resistencia a compresión en probeta no. 2.....	130
Tabla 41 Resultados de ensayo de resistencia a compresión en probeta no. 3.....	133

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Módulo de elasticidad de compuestos de micelio en compresión uniaxial.....	46
Gráfica 2 Resumen del módulo de Young [MPa] frente a la densidad [kg/m ³]	47
Gráfica 3 Curva granulométrica combinada de aserrín de Caoba	75
Gráfica 4 Esfuerzo-deformación en probeta de micelio de semillas de maicillo no. 1.....	101
Gráfica 5 Esfuerzo-deformación en probeta de micelio de semilla de maicillo no. 2	101
Gráfica 6 Esfuerzo-deformación en probeta de micelio de semilla de maicillo no. 3	102
Gráfica 7 Curva granulométrica combinada de aserrín de Pino	127

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Actas de asesoramiento temático.....	121
Anexo 2 Tamaño de partículas de aserrín de Pino.....	127
Anexo 3 Monitoreo de temperaturas durante crecimiento de micelio.....	127
Anexo 4 Resultados de ensayo a compresión.....	130

I INTRODUCCIÓN

Durante la última década se ha visto una presión significativa en la industria de la construcción, dado que el suministro de materiales de construcción tradicionales, como el cemento, ladrillos, madera, materiales de revestimiento y tabiquería, ha perseverado para mantenerse al día con una población mundial en constante crecimiento (Pheng & Hou, 2019).

La producción de estos materiales de construcción convencionales consume energía, recursos naturales y contamina el aire, tierra y agua (Madurwar, Ralegoankar, Mandavgane, 2013).



Ilustración 1 Mundo sostenible vs mundo consumista

Fuente: (Asturmex, 2018)

Ortega (2015) define a los materiales sostenibles como duraderos con el paso del tiempo, reutilizables, reciclables, que no necesitan mayor mantenimiento, provenientes de fuentes renovables, con producción de contaminantes minimizada, primando el respeto hacia el medio ambiente.

A partir de esta definición, en la búsqueda de la reducción y mitigación de los impactos ambientales generados por el rubro de la construcción, se mostrará el resultado de la investigación, basado en una propuesta sostenible consistente en materiales compuestos por micelio del hongo tipo *Ganoderma Lucidum*, mejor conocido como "Hongo Reishi", combinado con 2 diferentes tipos de sustratos individualmente: aserrín de caoba y aserrín de pino. Además, se propondrá el micelio cultivado en maicillo de manera individual, sin ninguna combinación con sustratos. Estos materiales serán comprimidos en una probeta y se les practicarán los ensayos de resistencia a la compresión y absorción.

Asimismo, se construirá la base teórica de la investigación, de tal modo que se plantearán los temas que fundamentarán la investigación; se mostrará también el enfoque y la metodología a desarrollar, para así tener la programación del trabajo, se presentarán los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se realizará el análisis de los datos y finalmente, se procederá a concluir y realizar las recomendaciones pertinentes de la investigación realizada donde se harán en base a los objetivos planteados.

LISTA DE SIGLAS

CRAI	Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MPa	Megapascal
ONU	Organización de las Naciones Unidas
RESET	Requisitos para Edificios Sostenibles en el Trópico
SciELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SERNA	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente

GLOSARIO

Biomaterial: “Es aquel que tiene una constitución más natural que químico. Además, deja una huella ecológica mínima durante su tratamiento y también después, como residuo”(Servei Estació, 2022).

Cambio climático: “La modificación del clima que ha tenido lugar respecto de su historial a escala regional y global. En general, se trata de cambios de orden natural, pero actualmente, se los encuentra asociados con el impacto humano sobre el planeta” (ONG *Manos Unidas*, s/f).

Clinker: “Es un producto en forma de gránulos o pequeñas bolas, de entre 0,5 y 25 mm, principalmente, que se forma a partir de la calcinación de caliza, y arcilla, y otros componentes minoritarios, a temperaturas que oscilan entre los 1350 y 1450°C” (CEMEX España, s/f).

Contaminación: “Cuando en un entorno ingresan elementos o sustancias que normalmente no deberían estar en él y que afectan el equilibrio del ecosistema” (EAFIT, s/f).

Efecto invernadero: “Es el fenómeno que, en condiciones normales, permite la vida del planeta tierra tal y como la conocemos” (*Portal del Gobierno de La Rioja*, s/f).

Esterilizar: Destruir los gérmenes por la acción de agentes físicos o químicos (ASALE & RAE, 2021a).

Fraguado: “Es el Fenómeno por medio del cual la pasta de cemento cambia de plástico a endurecido, es posterior al fenómeno de hidratación” (Guillen, s/f).

Impacto ambiental: “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza” (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

Incubar: Hacer que algo comience a desarrollarse antes de su plena manifestación (ASALE & RAE, 2021b).

Inocular: supone, en el sentido más amplio, colocar algo que podrá desarrollarse y reproducirse (Pérez & Merino, 2022).

Materiales de construcción: “Son los productos, subproductos y materias primas empleados en la fabricación de edificaciones y obras civiles” (E-Construir, s/f).

Mezcla homogénea: “Es la combinación de 2 o más elementos o sustancias (que pueden presentarse en cualquier estado de la materia) inidentificables dentro de la solución” (Significados, s/f).

Micelio: “Talo de los hongos, formado comúnmente de filamentos muy ramificados y que constituye el aparato de nutrición de estos seres vivos” (ASALE & RAE, s/f).

Recursos naturales: “Son aquellos bienes que provee la naturaleza y que son utilizados por las personas ya sea para consumirlos directamente o bien para ser utilizados en algún proceso de producción” (*Recursos-Naturales. Renovables y no renovables*, s/f).

Residuos de Construcción: “Cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de residuo (cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar), se genere en una obra de construcción o demolición” (AEC, s/f).

Sustrato: es un estrato que subyace a otro y sobre el cual está en condiciones de ejercer algún tipo de influencia. (J. Pérez & Gardey, 2021).

II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación, con el propósito de exponer los motivos de la investigación, se detallarán los precedentes del problema, descripción del problema, justificación de la investigación, las preguntas de investigación planteadas y los objetivos establecidos.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) (2014), organismo de las Naciones Unidas encargado de evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático, sostiene que a partir del siglo XIX, coincidiendo con el auge de las principales revoluciones en las industrias, y por ende al ser humano como causa principal, la temperatura en la superficie terrestre ha ido en aumento progresivo hasta alcanzar los 0.85°C (IPCC, 2014).

En la Ilustración 2 se describen los principales impactos del cambio climático en América Latina:



Ilustración 2 Impactos del cambio climático en América Latina

Fuente: (IPCC, 2014)

El efecto invernadero es una de las principales problemáticas que atañen al mundo en cuanto a temas ambientales. Es a partir de ello que se introduce el nuevo término de “sostenibilidad”, el cual tiene por definición fundamental la búsqueda del desarrollo de la sociedad, sin privar con ello a las generaciones futuras de las fuentes y recursos naturales básicos para la subsistencia, complementando con ello el respeto mismo de estos recursos, para el caso, se muestra un edificio con generación de energía sostenible en la Ilustración 3 (IPCC, 2014).



Ilustración 3 Edificio Transoceánica de Chile

Fuente: (Apive, 2020)

A pesar de existir desarrollos significativos en el ámbito de la construcción sostenible, en Latinoamérica esta temática continúa siendo tratada de manera básica. A nivel centroamericano los mayores esfuerzos han sido realizados por países como Guatemala, con el denominado “Plan Nacional de Desarrollo al 2032” y, Costa Rica, con la norma “RESET”,

que significa "Requisitos para Edificios Sostenibles en el Trópico", implementada a través del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (Flores, 2021).

Flores (2021) también menciona:

"En países latinoamericanos existen diversos factores que limitan el desarrollo sostenible, tales como las minimizadas normativas y reglamentos que vayan en pro de la construcción sostenible, la poca supervisión del cumplimiento, la falta de promoción de certificaciones de construcción de edificaciones sostenibles y la baja inversión e incentivos financieros para la formación profesional y técnica".

Centroamérica es responsable de menos del 0,5% de las emisiones de gases de efecto invernadero, pero es conocido como uno de los "puntos calientes" más prominentes de los trópicos y emerge como la zona más vulnerable al impacto del cambio climático (Sfera, 2012),

Centroamérica es el "punto caliente" más vulnerable al cambio climático entre las regiones tropicales del mundo, considerando que el calentamiento global estaría asociado a aumentos o reducciones de la precipitación en diversas zonas y estaciones, con los consecuentes problemas para la gestión de los recursos hídricos. (Sfera, 2012).

Según SERNA (2010), de acuerdo con el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), durante el 2000 los procesos industriales generaron 689.97×10^9 gr (689,970 Ton) de emisiones de dióxido de carbono (CO_2), representando un 9.87% del total emitido por los países industrializados, siendo una de las causas de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) la cocción de ladrillos de arcilla.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La producción de cemento para fabricar concreto implica un alto consumo energético y grandes emisiones de gases, lo que lo convierte en un material contaminante. A escala mundial, la industria del cemento tiene el 2 % del consumo global de energía y el 5 % del consumo global de energía industrial, lo que genera aproximadamente una tonelada de CO₂ por cada tonelada de Clinker, dependiendo de la eficiencia de la planta; como muestra del alto grado de emisiones que producen las fábricas de cemento tenemos la Ilustración 4 (Molina et al., 2015).



Ilustración 4 Emisiones de CO₂ en producción de cemento

Fuente: (Ennomotive, s/f)

La extracción de materias primas, transporte, producción del material base y elaboración de 1m² de muro de ladrillo impacta al medio ambiente casi 3.75 veces más que los impactos totales en los mismos procesos para 1m² de muro de block (cemento-arena-gravilla); casi 4.5 veces más que para 1m² de muro terrablock (adobe-cemento-cal); y casi 10 veces más que las mismas actividades impactarían para elaborar 1m² de muro tabitec (adobe cal) (Agora, 2017).



Ilustración 5 Análisis del ciclo de vida de un edificio

Fuente: (Agora, 2017)

A su vez, los impactos totales generados por los procesos de extracción, transporte, producción y edificación de 1m² de muro de ladrillo se elevan hasta 5, 6, y 10 veces más, que los mismos procesos para la elaboración de 1m² de muro de block, tal como se observa en la Ilustración 6, terrablock (adobe cemento-cal), y tabitec (adobe-cal) respectivamente.

(Arista & Aguillón, 2016)

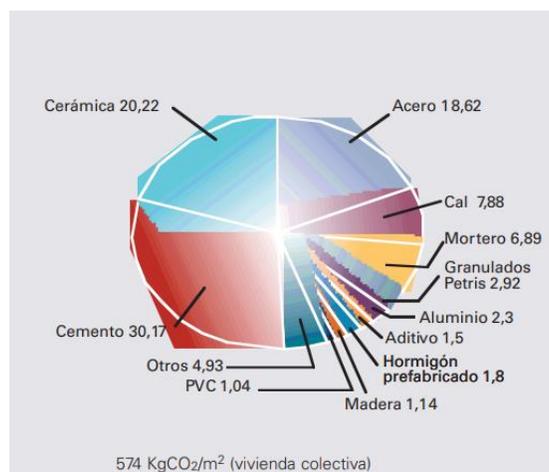


Ilustración 6 Emisiones de fabricación de materiales para un m² de construcción.

Fuente: (Cuchí, Wadel, López, Sagrera., 2007)

2.3 JUSTIFICACIÓN

Desde una perspectiva de ciclo de vida, la reducción del impacto medioambiental de los edificios conlleva el uso de materiales renovables o reciclados de la biosfera, como la madera, las fibras animales o vegetales, las pinturas y barnices naturales, con bajo nivel de procesado industrial. En todos estos casos la mayoría de la energía asociada a su producción proviene del sol, por lo que el consumo de energías no-renovables y las emisiones asociadas se reducen considerablemente (EcoHabitar, 2020).

Al analizar los distintos productos cerámicos (ladrillos, baldosas y tejas) se observa que, especialmente las baldosas cerámicas, tienen una gran energía incorporada, debido principalmente al elevado consumo de gas natural durante su cocción. Respecto a las distintas tipologías de ladrillos, el uso de ladrillos de arcilla aligerada y sobre todo de ladrillos sílice-calcáreos conlleva una clara disminución de los impactos energéticos y ambientales (EcoHabitar, 2020).

Los biomateriales compuestos por micelio de hongo son un tipo de material nuevo que está siendo estudiado y que, al realizarse una comparación en su producción con los más comunes utilizados en construcción (acero, ladrillos y hormigón), es muy notoria la diferencia de energía que conlleva producirlos, el ciclo de vida de los materiales hechos a base de micelio se puede observar en la Ilustración 7 (Coloma Hohlberg, 2021a).



Ilustración 7 Diagrama cíclico de materiales de micelio

Fuente: (Coloma Hohlberg, 2021a)

El tema de la bio fabricación de materiales de construcción a base de micelio es de interés incluso para la agricultura, ya que muchos de estos desechos pueden ser debidamente aprovechados al utilizarse como sustrato y así realizar la respectiva conformación del material final (Fuentes, 2020).

Si bien los biomateriales aún están en una etapa experimental para su aplicación arquitectónica, pueden convertirse en una de las principales soluciones sostenibles a futuro. (María Mallo, 2019).

Como menciona *María Mallo* (2019), doctora arquitecta y técnico superior en artes aplicadas a la escultura que funge como profesora de Ideación Gráfica en la ETSAM y Diseño

de Producto en el IED, existe la posibilidad de que, en el futuro, desde la misma construcción, los materiales logren ser "criados".

Muestra del micelio en su etapa de crianza en "arquitectura viva", es el que se presenta en la Ilustración 8



Ilustración 8 Micelio utilizado en "arquitectura viva" en su etapa de crianza

Seguido, en la Ilustración 9, se observa el micelio ya en su etapa final como parte de la "arquitectura viva".



Ilustración 9 Ilustración 6 Micelio utilizado en "arquitectura viva" en su etapa final

Fuente: Wladimir Pulupa (2019)

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cómo reacciona el micelio de *Ganoderma Lucidum* al combinarse con aserrín humedecido?
2. ¿Cuál es el proceso constructivo y cómo se comporta el micelio cultivado en sustratos en condiciones de temperatura no controlada?
3. ¿Qué propiedades mecánicas y características poseen los materiales a base de micelio?
4. ¿Para qué usos constructivos pueden ser utilizados los materiales hechos a base de micelio a partir de la resistencia a compresión?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la resistencia a la compresión, porcentaje de absorción y procesos de fabricación del micelio de hongo *Ganoderma Lucidum* en semilla de maicillo y en combinación de aserrín de caoba y de pino, de manera que pueda determinarse si pueden ser usados como materiales de construcción sostenibles.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar las características principales del micelio de *Ganoderma Lucidum* y cómo se comporta en combinación con el aserrín de caoba y de pino.
2. Replicar el proceso constructivo de materiales a base de micelio y aserrín en un ambiente tropical sin condiciones controladas de temperatura utilizando moldes prefabricados y micelio adquirido comercialmente.
3. Construir cilindros de micelio y someterlos a compresión y ensayos de absorción utilizando el equipo de laboratorio de Ingeniería Civil de Unitec.
4. Definir a partir de las propiedades y la reacción que resulte de la combinación con los diferentes sustratos, para qué usos pueden ser utilizados los materiales hechos a base de micelio.

III MARCO TEÓRICO

Como parte del marco teórico, se expondrán los impactos de la construcción en el medio ambiente, los materiales de construcción tradicionales, los materiales de construcción alternativos vs los ladrillos de adobe, las propiedades mecánicas del micelio y los usos del micelio en la industria de la construcción.

3.1 IMPACTO DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL MEDIO AMBIENTE

El impacto de la construcción en el medio ambiente es uno de los principales temas por lo que se llevó a cabo la siguiente investigación, por lo que se detallará el impacto social, impacto en el ecosistema, en los recursos naturales y la evaluación del impacto ambiental.

3.1.1 IMPACTO SOCIAL, EN EL ECOSISTEMA Y LOS RECURSOS NATURALES

Según Enshassi, Kochendoerfer, Rizq (2014): “El sector de la construcción es considerado mundialmente como una de las principales fuentes de contaminación medioambiental, pues produce enormes efectos negativos en el medioambiente ya sea directa o indirectamente”.

En la Tabla 1 se enlistan los principales impactos medioambientales tratados en trabajos de investigación previos.

Tabla 1 Impactos medioambientales de los proyectos de construcción

Autor/Impactos medioambientales		Muhwezi et al. (2012)	Zolffagharian et al. (2012)	Li et al. (2010)	Pittet and Kotak (2012)	Chang et al. (2011)	Kaur and Arora (2012)	Eras et al. (2012)	Gangolells et al. (2011)	Gangolells et al. (2009)	Ijigah et al. (2013)
No.	Efecto en el ecosistema										
1	Contaminación por ruido o acústica										

Tabla 2 Impactos medioambientales de los proyectos de construcción

Autor/Impactos medioambientales		Muhwezi et al. (2012)	Zolfagharian et al. (2012)	Li et al. (2010)	Pittet and Kotak (2012)	Chang et al. (2011)	Kaur and Arora (2012)	Eras et al. (2012)	Gangolells et al. (2011)	Gangolells et al. (2009)	Jjigah et al. (2013)
2	Generación de polvo con la maquinaria de construcción										
3	Contaminación del suelo										
4	Sustancias suspendidas en el agua tales como plomo y arsénico (toxicidades transmitidas por el agua)										
5	Contaminación del aire o atmosférica										
6	Uso del suelo										
7	Operaciones con remoción de la vegetación										
8	Emisión de COV y CFC										
9	Generación de residuos inertes										
10	Operaciones con alti potencial de erosión del suelo										
11	Contaminación del agua										
12	Generación del polvo por las actividades de construcción										
13	Agua inerte y contaminación de aguas										
14	Contaminación química										
15	Alteración del paisaje										
16	Generación de tóxicos										
17	Emisión de gases de efecto invernadero										
18	Cambio climático										
19	Vertido de aguas residuales										
20	Gases que agotan el ozono										
21	Calentamiento global										

Tabla 3 Impactos medioambientales de los proyectos de construcción

Autor/Impactos medioambientales		Muhwezi et al. (2012)	Zolfagharian et al. (2012)	Li et al. (2010)	Pittet and Kotak (2012)	Chang et al. (2011)	Kaur and Arora (2012)	Eras et al. (2012)	Gangolells et al. (2011)	Gangolells et al. (2009)	Jjigah et al. (2013)
22	Emisiones de CO ₂ , SO ₂ , CO y Nox										
23	Partículas en suspensión										
24	Acidificación y calor residual										
25	Eutrofización										
26	Esmog fotoquímico										
27	Consumo innecesario en edificaciones										
28	Los impactos ambientales de las edificaciones durante toda su vida útil están reconocidos como un problema grave para la industria de la construcción										
29	Malos olores										
30	Emisiones de gases causada por el movimiento de los vehículos y de la maquinaria de construcción										
31	Vertido de aguas provenientes de la ejecución de las fundaciones y muros de contención										
32	Vibraciones provocadas por las actividades de la obra										
33	Rotura de tuberías subterráneas (cables eléctricos, líneas telefónicas, tuberías de agua)										

Fuente: (Enshassi et al., 2014)

La industria de la construcción es una de las principales responsables de los altos niveles de contaminación como resultado de la energía consumida durante la extracción, el procesamiento y el transporte de materias primas (Morel, Mesbah, Oggero, Walker, 2001).

Los materiales que se utilizan en el rubro de la construcción se fabrican a partir de agentes con cierto grado de toxicidad que contaminan la capa de ozono, por ende, el aire. Agregado a esto, se debe resaltar la implicación e incremento de los recursos renovables y no renovables requeridos en el proceso de producción de materiales de construcción (CMICAC, s/f).

En la Ilustración 10 se detalla el proceso productivo, vida útil y fase final de los materiales de construcción.

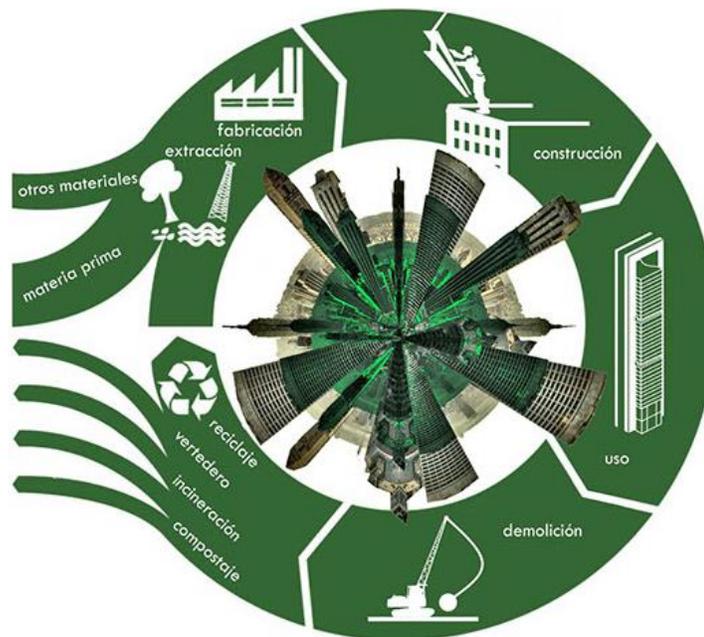


Ilustración 10 Ciclo de vida de los materiales de construcción

Fuente: (CMICAC, 2018)

Debido a la naturaleza misma en la que se desarrolla la construcción actualmente, los procesos relacionados a este rubro no resulta ser amigable con el medio ambiente (Li, Zhu, Zhang, 2010).

El impacto ambiental que la producción de ladrillos representa es tan significativo que, por ejemplo, aproximadamente son 17 millones los ladrillos fabricados en Bangladesh, los cuales en el proceso de secado utilizan hornos que a su vez consumen recursos como leña y carbón, representados en cerca de 4,000 millones de toneladas, generando entonces emisiones significativas de CO₂ (Pérez, Sánchez, Peña, 2021).

Dentro del grupo de materiales que se emplean en obras civiles, el ladrillo es de los más utilizados. Cada ladrillo producido, en promedio consume aproximadamente 2 kWh, generando también 0.41 kg de CO₂ (González, Pérez, Pita, Sánchez, 2019).

Los grandes impactos negativos en temas como la sostenibilidad urbana, valores económicos afines y la seguridad ambiental son producto del excesivo incremento en los residuos de construcción y demolición (Aslam, Huang, Cui, 2020).

ITeC (2006) afirma:

Los residuos de las obras de construcción pueden tener diferentes orígenes: la propia puesta en obra, al transporte interno desde la zona de acopio hasta el lugar específico para su aplicación, unas condiciones de almacenaje inadecuadas, embalajes que se convierten automáticamente en residuos, la manipulación, los recortes para ajustarse a la geometría, etc. Según el tipo de residuos de construcción que se manejen en la obra, se sigue la siguiente simbología mostrada en la Ilustración 11. **LEP**



ASCENSORES Y EQU.
ELECTROMECAÑICOS



INSTALACIONES
ELÉCTRICAS



INSTALACIONES
HIDROSANITARIAS



MAMPOSTERIA



MATERIALES
ESTRUCTURALES



PINTURA



IMPERMEABILIZACIÓN



ENCHAPES Y ACABADOS



DRYWALL



CARPINTERÍA METÁLICA

Ilustración 11 Manejo de residuos en obras de construcción

Fuente: ("Manejo de Residuos en Obras de Construcción", s/f)

El impacto asociado a los residuos de construcción está relacionado con los vertederos no controlados, los vertederos autorizados y al transporte mismo de los residuos al vertedero (Mañá et al., 2000).

A continuación, se muestra en la Ilustración 12 los residuos de una construcción común:



Ilustración 12 Manejo de residuos de construcción

Fuente: (Interempresas, 2017)

3.1.2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta importante para la gestión de los usos humanos en el entorno a través de un proceso sistemático y público para identificar y diseñar desde el punto de vista medioambiental proyectos, planes y programas, pero este proceso tiene y tendrá cierta incertidumbre (Bargues, 2014).

Además Bargues (2014), apunta que el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten establecer una estimación de los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad causa sobre el medio ambiente.

En la Ilustración 13 se identifican, según la matriz de Leopold, los principales componentes que debe contener un estudio de impacto ambiental.

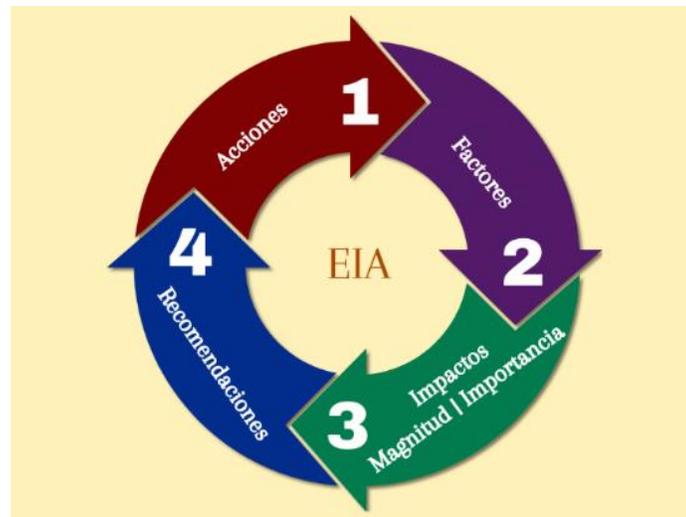


Ilustración 13 Componentes de un estudio de impacto ambiental

Elaboración propia. Fuente: (Ponce, s/f)

Los proyectos de obra civil y los proyectos industriales son los que principalmente se someten a EIA.

Todo proyecto o actividad humana en general considera valoraciones de tipo económico, de modo que entra en escena el término de rentabilidad, el cual consiste en que los costos sean sobrepasados por los beneficios de este (Garmendia Salvador, 2010).

A continuación, en la Ilustración 14, se visualiza un organigrama básico de ejecución de proyectos sometidos a EIA, los cuales deben no solo estar sujeto a nomas técnicas, sino también a ambientales.

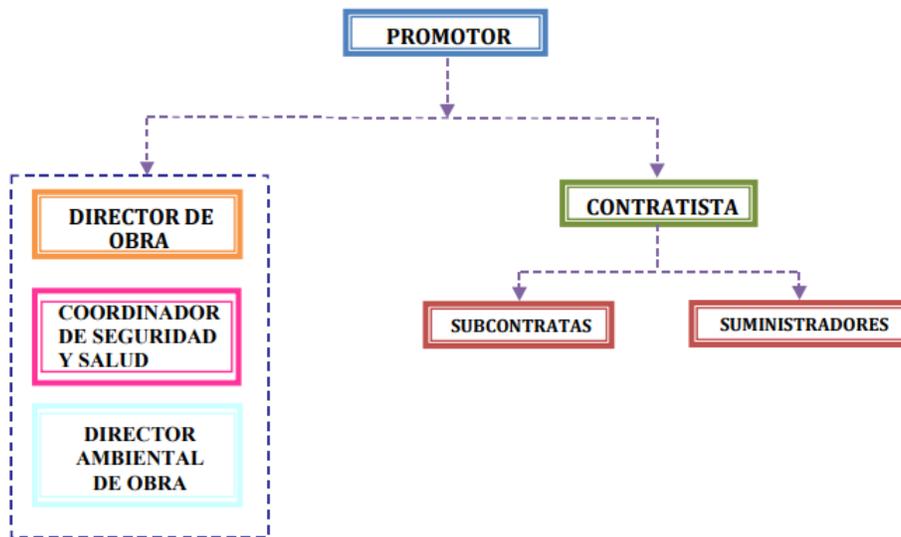


Ilustración 14 Organigrama para la ejecución de proyectos

Fuente: (Bargues, 2014)

A partir de esto entra en juego el término de sostenibilidad. La sostenibilidad es un criterio dentro de la evaluación ambiental que se encarga de realizar aplicaciones de equidad, teniendo en cuenta tanto a las sociedades actuales como las futuras, de modo que en la búsqueda del desarrollo presente no se llegue a afectar el desarrollo de las generaciones futuras (Garmendia Salvador, 2010).

Por lo tanto, si hablamos de sostenibilidad, también debemos referirnos al equilibrio que debe haber entre la sociedad, la economía y la ecología (Hernández, Agudelo, Cardona, 2012).

Teniendo en cuenta ese tridente, el mundo actual de la construcción debe abrirse paso a nuevos procedimientos y materiales que permitan a las sociedades avanzar, sin que con ello se deba implicar en daños ambientales irreversibles, ni tampoco poniendo en riesgo la estabilidad económica del rubro.

3.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONALES

La industria de la construcción ha desempeñado y desempeña un rol fundamental en la sociedad de todos los tiempos, gracias a ella se logra la construcción de obras de distinto tipo y carácter, como viales, hidráulicas, edificaciones sociales, industriales, viviendas, de la defensa, etc. Toda edificación se ejecuta o está hecha con materiales de construcción, de modo que, en esencia, los materiales constituyen la base de toda construcción, de ahí su importancia cardinal. (Betancourt, Artiles, Ravelo, 2017)

3.2.1 CONGLOMERANTES

Se definen como conglomerantes todos los materiales que pueden adherirse a otros y permitir cohesión de manera conjunta a partir de reacciones químicas, originándose entonces un nuevo conjunto. (Sanjuan Barbudo & Chinchón Yepes, 2014)

Se dividen en dos tipos: los aéreos, que al mezclarse con agua proceden a fraguar y endurecerse en el aire, por lo que no son resistentes al agua, y por otro lado los hidráulicos,

que al fraguar los productos que resultan son estables ya que endurecen en el aire así como sumergidos en agua. (Sanjuan Barbudo & Chinchón Yepes, 2014)

3.2.1.1 Cemento natural

Salamanca (2001) acerca del cemento afirma: "Es un producto intermedio utilizado para fabricar materiales de construcción: morteros y concretos. La trabajabilidad de estos materiales en estado fresco, sus propiedades una vez endurecidos y los costos, son decisivos para su aplicación como materiales de construcción" (p. 33).

Una proporción de entre el 22 y 26% de una mezcla homogénea, ya sea natural o artificial, de caliza y arcilla, se calcina a temperaturas que van de los 1280 a 1350°C, de modo que así se obtenga una fase líquida. De este modo se obtiene el denominado "clinker de cemento natural", un producto aglomerado que luego se moltura a la finura establecida para poder emplearse, tal cual se visualiza en la Ilustración 15. (Gomá, 1979)



Ilustración 15 Cemento natural sin mezclar

Fuente: (CANNABRIC, 2009)

3.2.1.2 Cemento Portland

El cemento portland, según afirman Sanjuan Barbudo & Chinchón Yepes (2014), es un polvo molido de manera fina, que se compone por silicatos de calcio en mayor proporción, y por aluminatos de calcio en menor, se mezcla y combina con agua, para finalmente fraguar y endurecer en condiciones de temperatura ambiente.

En la Ilustración 16 se muestra el cemento portland sin mezclar.



Ilustración 16 Cemento portland sin mezclar

Fuente: (Arcus Global, 2016)

3.2.1.3 Cal

La cal viva, compuesta por óxido de calcio, se obtiene a través de la descomposición, o bien calcinado de las rocas caliza, siendo calentadas a más de 900°C. Según su uso en construcción, se encuentra dividida en los siguientes tipos: cal aérea (dividida a su vez en cal domítica y cal grasa) y la cal hidráulica, tal como se presentan en la Ilustración 17. (Sanjuan Barbudo & Chinchón Yepes, 2014).



Ilustración 17 Mapa conceptual de los tipos de cal

Fuente: (Salvador, s/f)

3.2.1.4 Yeso

El yeso se consigue del aljez, compuesto principalmente por sulfato cálcico dihidratado, el cual es triturado y sometido a un proceso de cocción mediante el cual se extrae el agua de cristalización que contiene, de modo que se convierte en un sulfato cálcico hemihidratado, para finalmente ser molido. Este material es mayormente usado en interiores debido a su mala reacción ante agentes atmosféricos. Ejemplo de dicho uso es el que se muestra en la Ilustración 18 (Sanjuan Barbudo & Chinchón Yepes, 2014).



Ilustración 18 Yeso usado en pared interior

Fuente: (MN Del Golfo, s/f)

3.2.2 MORTERO

El mortero se define como la mezcla de aglomerantes y áridos, que al ser añadirse y amasar con agua, generan una pasta plástica o fluida que finalmente se endurece a partir de procesos químicos intrínsecos. Se pueden encontrar combinaciones con los siguientes aglomerantes: cal, cemento, cal y cemento; barro y yeso.(Botero, s/f).

Para ejemplo, en la Ilustración 19 se muestra una mezcla de mortero de cal.



Ilustración 19 Mortero de cal

Fuente: (HORCALSA, 2020)

3.2.3 CONCRETO

El concreto se define como la mezcla de la pasta de cemento, que consiste en la previa combinación de cemento, agua, y los vacíos que normalmente quedan, agregados y en casos específicos aditivos u otro producto relacionado. El componente activo es la pasta de cemento, que llena los espacios que se encuentran entre los agregados. De esto modo, los agregados más comunes son la grava y la arena. (Salamanca, 2001).

Se muestra una mezcla de concreto en obra en la Ilustración 20.



Ilustración 20 Mezcla de concreto en obra

Fuente: (adminreinarsa, 2016)

3.2.4 BLOQUES DE CONCRETO

La Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón en España, ANDECE (2019) define:

Al bloque de hormigón como una pieza prefabricada de forma rectangular, con una relación longitud/anchura inferior a 6, altura/longitud inferior a 1 y sin armadura alguna. El orden para designar las dimensiones es longitud x altura x anchura. Se pueden establecer las dimensiones de los bloques más comunes en los siguientes

rangos de medidas: longitud (40 - 50 cm), altura (10 - 20 cm) y ancho (10 - 30 cm).

Como ejemplo se muestra una pared de bloques de hormigón en la Ilustración 21.



Ilustración 21 Muro de bloques de hormigón

Fuente: (Limited, 2018)

Los bloques de hormigón requieren una técnica constructiva que debe ser respetada. Toda la obra se recomienda que sea ejecutada por mano de obra calificada. Durante la ejecución, se debe considerar la estabilidad de la estructura de los muros individualmente. A continuación, se destacan dos importantes criterios a considerar para realizar una correcta ejecución:

- Humectación de las piezas: Se procurará utilizar las piezas de hormigón secas. Los bloques de hormigón (contrariamente a las piezas de cerámica) no deben humedecerse para su colocación. No se deben colocar bloques saturados de agua y se debe evitar en lo posible su colocación en tiempo de heladas.
- Correcta orientación de las piezas: Las piezas tienen normalmente alveolos interiores de forma cónica. Es importante que el bloque se coloque de tal manera

que quede en la parte superior aquel lado que tenga las paredes más gruesas para poder colocar sobre ellas el mortero de las juntas. (ANDECE, 2019)

3.2.5 LADRILLO DE ARCILLA

El ladrillo de arcilla destaca por su forma de prisma rectangular y sus diversas características, que lo convierten en un material con alto grado de resistencia a la compresión. La fabricación se basa en una mezcla hecha a base de barro, específicamente cerámica roja aglomerada con otros elementos, como se visualiza en la Ilustración 22. (Cementos Cibao, 2017).

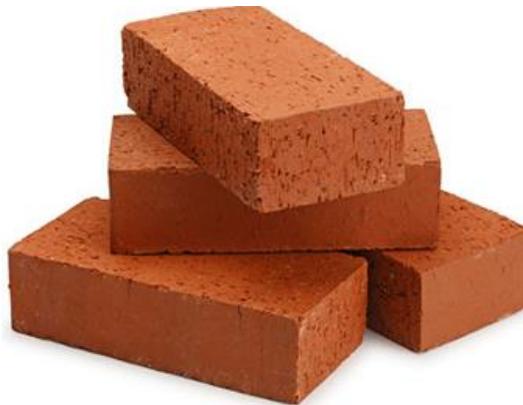


Ilustración 22 Ladrillo de arcilla roja

Fuente: (Arkiplus, 2018)

La arcilla, denominada “tierra blanda”, se presenta de manera plástica y se define como un silicato de aluminio hidratado que normalmente se encuentra mezclado con impurezas. Al encontrarse en su forma pura se le llama arcina China o caolín. (Botero, s/f)

La fabricación de ladrillos de arcilla se realiza generalmente en hornos que desprenden grandes cantidades de CO₂, como es el caso del horno artesanal mostrado en la Ilustración 23. (Ramos, 2019).



Ilustración 23 Horno artesanal en el Municipio Lobatera, Estado Táchira, Venezuela.

Fuente: (Vásquez, 2008)

3.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ALTERNATIVOS VS LADRILLOS DE ADOBE

A lo largo de la historia, el ladrillo ha sido uno de los materiales constructivos más utilizados, de modo que su uso ha perdurado hasta la actualidad. Un ejemplo de ladrillos usados en la antigüedad es el de la Ilustración 24. Se trata de un ladrillo romano del siglo I, conservado en el Museo de Saalburg.



Ilustración 24 Ladrillo romano con el sello de la "Legio XXII Primigenia"

Fuente: (Hartmann, 2009)

Martín (1996) define al ladrillo como: “Una pieza paralelepípedica, generalmente en forma de ortoedro, obtenida por moldeo, secado y cocción de una pasta de arcilla o tierras arcillosas, a veces con adición de otras materias, utilizada en la construcción de muros”.

3.3.1 LADRILLOS DE ADOBE

Según (*Gendrop*, 2001), el adobe es “masa de barro, frecuentemente mezclada con paja cortada o estiércol mezclada al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros, en forma de ladrillos de un tamaño mucho mayor que el de uno normal”.

En la Ilustración 25 se muestra un ejemplo básico de la producción cotidiana de ladrillos de adobe:



Ilustración 25 Conformación artesanal de ladrillos a base de adobe

Fuente: (Canal 22 México, 2019)

3.3.1.1 *Historia del adobe como material constructivo*

Como material constructivo, el adobe lleva milenios de implementación, sobre todo por parte de los pueblos indígenas que poblaron América, recorriendo desde el sur oeste de Estados Unidos de América, pasando por Mesoamérica, hasta llegar a Sudamérica, en la región andina. (Castro, Cruz, Puig, Alcalá, Cabadas, 2012)

Además, Gama Castro et al (2012) apunta que actualmente el 50% de las casas a nivel mundial están construidas a partir del adobe como materia prima.

Constructivamente, los muros hechos a base de adobe, denominados comúnmente como "sistemas en tierra cruda", se conforman de un conjunto unidades de tierra cruda, la cual es secada típicamente mediante luz solar, y en la cual su procedimiento histórico no ha variado considerablemente. Los únicos cambios significativos vienen por parte de elementos adicionales que se incluyen en la mezcla de adobe, como ser materiales orgánicos e inorgánicos, y de la metodología de desarrollo física y química, que buscan mejorar sus funciones mecánicas y su reacción ante diferentes factores externos. (Rivera Torres, 2012).

En la Ilustración 26 se muestran las acciones variables e invariables en la fabricación unitaria del mampuesto de adobe.

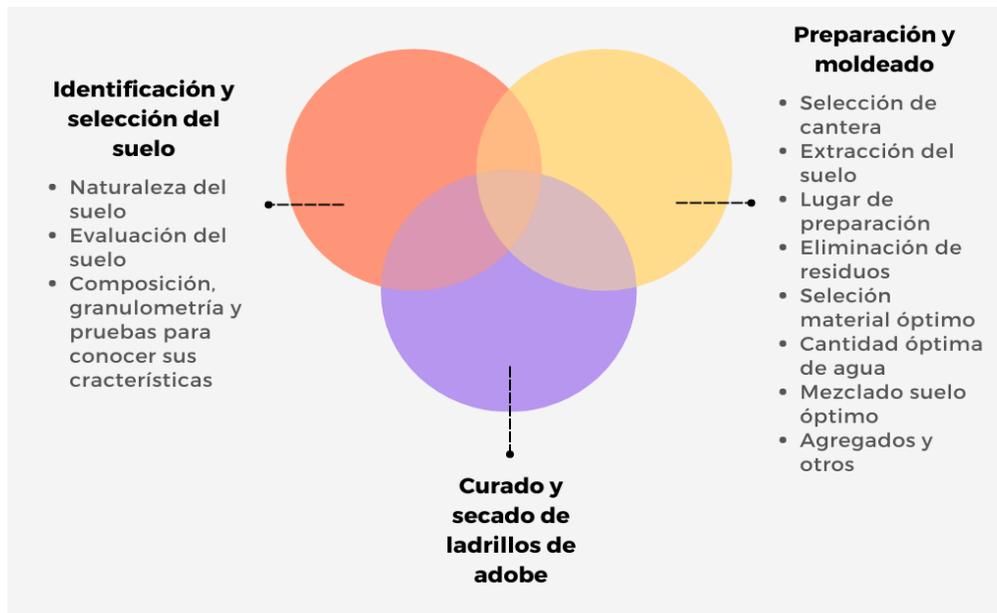


Ilustración 26 Diagrama del sistema de fabricación básica del mampuesto de adobe

Elaboración propia. Fuente: (Rivera Torres, 2012)

3.3.1.2 Materiales necesarios para fabricar ladrillos de adobe

Inicialmente se debe de tener en consideración que, geológicamente, no todas las capas en que se conforma la corteza terrestre se encuentran aptas para la realización de materiales constructivos. En ese sentido, la capa de suelo más recomendable es aquella que se encuentra entre el rango de los 0.5 los 2 metros de profundidad, debido a su diversidad granulométrica, que conlleva a una estabilidad del suelo en condiciones de modificación de humedad (Baca, 2007).

Se debe evitar que el suelo contenga y además que el contenido de sales solubles no sea mayor al 0.2%, ya que en caso contrario, un contenido mayor sumado a la presencia de humedad provocaría el desmoronamiento del adobe a largo plazo (Tejada Schmidt, 2001).

Además del suelo, en la fabricación de adobe se suele usar paja de entre las cuales las más comunes son de arroz, trigo, bagazo de caña. La paja se encarga de reducir considerablemente las contracciones que surgen en el secado al aire libre de los ladrillos de adobe, mejorando además su adherencia con el mortero y revestimientos. Los tamaños recomendados son de aproximadamente 10 cm y procurando usar un porcentaje de peso del 1%, ya que al excederse la resistencia del ladrillo se ve reducida. (Tejada Schmidt, 2001)

3.3.1.3 Proceso de elaboración de ladrillos de adobe

Inicialmente se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones: para ladrillos de adobe rectangulares debe cumplirse o aproximarse que la medida del largo sea el doble de la medida del ancho. En cuanto al largo y la altura la relación debe ser 4 a 1, tomando en

cuenta, en la medida de lo posible, que la altura sea mayor a 8 cm.(Dirección Nacional de Construcción, 2010).

A continuación, se muestran los pasos necesarios para la elaboración de ladrillos de adobe en la Tabla 4

Tabla 4 Procedimiento paso a paso en la elaboración de ladrillos de adobe

Número de paso	Procedimiento
1	Preparar la adobera. Se recomienda que la adobera sea de 40 cms x 40 cms x 8 cms
2	Preparar el barro y dormirlo por 2 días (en promedio).
3	Agregar la paja para que los adobes no se rajen.
4	Llenar la adobera lanzando con fuerza porciones de barro. La adobera debe estar húmeda y rociada de arena fina para que no se peguen los adobes
5	El barro debe estar al ras de la adobera, emparejando la superficie usando una regla
6	Dejar secar el adobe en las adoberas por un promedio de 24 a 48 horas
7	El terreno para el desmolde debe ser plano y seco. Debe rociarse previamente con una capa de arena
8	Retirar la adobera, levantando de ambas agarraderas y voltearlo rápidamente, teniendo cuidado que el adobe no se deforme
9	Los adobes se rajan con el sol, por eso se debe hacer un tendal de esteras o ramas para protegerlos por lo menos durante los dos primeros días.
10	Después de 3 ó 5 días se colocará el adobe de canto, para completar su secado.
11	Dejar secar los adobes por lo menos un mes
12	Apoyar ladrillo de adobe sobre otros dos y comprobar si resiste el peso de una persona durante un minuto

Elaboración propia

Fuente: (Dirección Nacional de Construcción, 2010)

3.3.2 LADRILLOS ECOLÓGICOS Y OTRAS ALTERNATIVAS

Al referirse a una "construcción sostenible" intrínsecamente se alude el hecho que los materiales usados impliquen acciones y procedimientos que, en su ciclo de vida, ayuden a minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales que estos conllevan (Restrepo Zapata & Cadavid Restrepo, 2019).

Debido a lo antes mencionado, Restrepo Zapata (2019).menciona que a estos materiales se les suele denominar "eco-materiales", caracterizados también por su bajo contenido energético de fabricación, reciclaje o uso de recursos locales, y todo esto manteniendo estándares de calidad similares a los que proveen materiales de construcción de tipo convencional.

Los problemas en la eliminación de residuos y la acelerada urbanización, que culminan en una exorbitante demanda de recursos naturales, han permitido que los desechos sean implementados en el rubro de la construcción (S. P. M. Pérez et al., 2021).

En base a lo antes mencionado, existe un grupo de materiales reciclados que, dados en ciertos porcentajes óptimos, pueden ser reemplazantes parciales de componentes en la elaboración de ladrillos, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 Porcentajes óptimos de materiales reciclados

Material reemplazado	Material reciclado	Porcentaje óptimo a reemplazar
Agregado fino	Desecho de tallos de sorgo	5
	Polvo de mármol	2
	Caucho	20
	Cáscara de arroz	4
	Cáscar de maní	3
Cemento	Desechos de aceituna	5
	Residuos de piedra	4
	Ceniza de bagazo de caña de azúcar	19
	Polvo de acero	20
	Ceniza de estiércol de vaca	5
	Ceniza de cáscara de arroz	10
Arcilla	Paja	3
	Aserrín	3
	Café molido	17
	Papel	17

Elaboración propia. Fuente: (S. P. M. Pérez et al., 2021)

Algunos ladrillos ecológicos también pueden ser realizados a partir de materiales inorgánicos plásticos como el polietileno tereftalato, el polietileno de baja densidad, el polipropileno y el poliestireno, que cuentan con las siguientes características mostradas en la Tabla 6 (Gareca, Andrade, Pool, Barrón, Villarpando, 2020).

Tabla 6 Características de materiales inorgánicos plásticos en los ladrillos ecológicos.

Residuos inorgánicos	Características	Usos
Polietileno tereftalato (PET) 	Fórmula: (C ₁₀ H ₈ O ₄) _n	Es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles
	Punto de fusión: 260 °C	
	Densidad: 1.38 g/cm ³	
	55–75 MPa	
	Límite elástico: 50–150%	
	Prueba de impacto: 3,6 kJ/m ²	
	Prueba de fractura y ruptura: 14.89 N/m ²	
	Temperatura de transición vítrea: 75 °C	
	Punto de fusión: 260 °C	
	Conductividad térmica: 0,24 W/(m·K)	
	Calor específico (c) 1,0 kJ/(kg·K)	
	Absorción de agua (ASTM): 0,16	
	Índice de refracción: 1,5750	
Polietileno de baja densidad (PEBD) 	Buena resistencia térmica y química.	El LDPE se encuentra en bolsas de supermercado, de pan, plástico para envolver. El LDPE puede ser reciclado como bolsas de supermercado nuevamente.
	Puede soportar temperaturas de 80 °C de forma continua y 95 °C durante un corto período de tiempo	
	Buena resistencia al impacto	
	Es más flexible que el polietileno de alta densidad.	
	Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.	
Densidad en el entorno de 0.910 - 0.940 g/cm ³		
	Fórmula química -(C ₃ H ₆)- _n	El PP se utiliza en la mayoría de recipientes para
	Densidad amorfa: 0,85 g/cm ³	
	Densidad semicristalino: 0,95 g/cm ³	

Residuos inorgánicos	Características	Usos
Polipropileno (PP) 	Temperatura de fusión: 173 °C	yogurt, sorbetes, tapas de botella, etc. El PP tras el reciclado se utiliza como viguetas de plástico, peldaños para registros de drenaje, cajas de baterías para autos.
	Temperatura de degradación: 287 °C	
	Absorción de agua - Equilibrio (%) 0,03	
	Combustible	
	Alargamiento a la rotura (%): 150-300. para bopp > 50	
	Módulo de tracción (GPa): 0,9-1,5. para bopp 2,2-4,2	
	Resist. a la abrasión ASTM D1044: 13-16	
Poliestireno (PS) 	Su cualidad más destacada es su higiene al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos. Es decir, no se pudre, no se enmohece ni se descompone.	Es un material plástico espumado, derivado del poliestireno. El PS se encuentra en tazas desechables de bebidas calientes y bandejas de carne. El PS puede reciclarse en viguetas de plástico, cajas de cintas para casetes y macetas
	Se degrada en unos 500 años enterrados, y 50 años expuestos a la intemperie.	
	Los procesos de producción de este producto liberan clorofluorocarbonos (CFC) a la atmósfera.	
	Ligero	
	Resistencia a la humedad	
	Capacidad de absorción de los impactos.	
	Aislante térmico en edificación.	
	Conductividad térmica oscilan entre 0,041 y 0,029 W/mK,	

Elaboración propia. Fuente: (Gareca et al., 2020)

Para realizar la fabricación de estos ladrillos ecológicos existen procedimientos generales, algunos de ellos se muestran en la Ilustración 27.

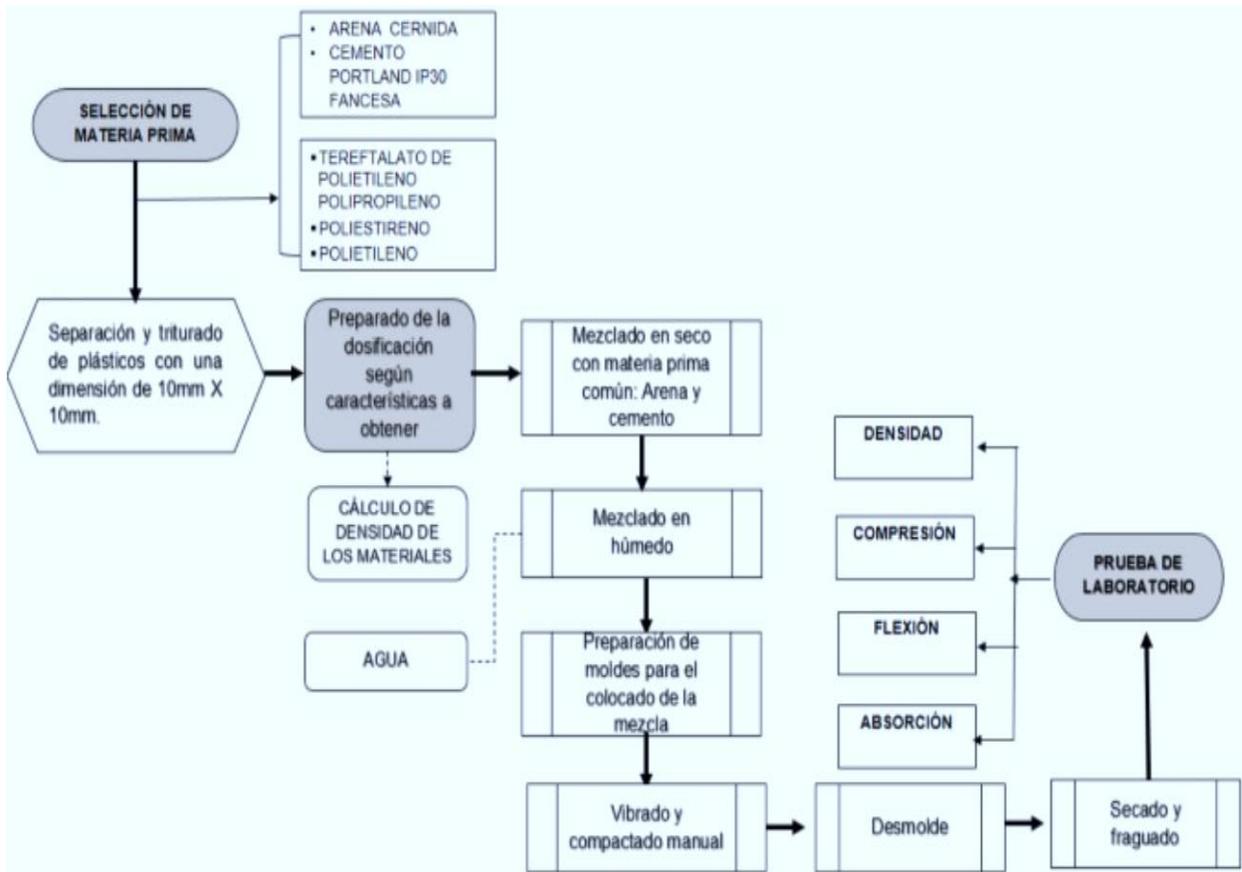


Ilustración 27 Proceso de elaboración del ladrillo ecológico

Fuente: (Gareca et al., 2020)

3.4 MICELIO DE HONGO

En la presente investigación se analizarán cilindros de micelio cultivados en aserrín como un biomaterial sostenible, por lo que se definirá qué es el micelio, sus propiedades mecánicas, métodos de cultivo y sus usos en la industria de la construcción.

Stamets (2005) establece que el micelio puede ser considerado como la red neurológica de la naturaleza dado que el micelio se mantiene en constante comunicación con el ambiente en el que se encuentra y puede llegar a extenderse a cientos de hectáreas en tamaño, logrando la mayor masa de cualquier organismo individual en el planeta. Su crecimiento es como la ramificación de los árboles tal como se muestra en la Ilustración 28.



Ilustración 28 Micelio sobre tronco de madera

Fuente: *(3D Printing Wood and Mycelium Composites for Sustainable Building, 2022)*

El cuerpo de los hongos, mejor conocido como el micelio, está compuesto por filamentos llamados hifas las cuales se encuentran en la parte inferior del hongo tal como se muestra en la Ilustración 29 *(Kuhar, Castiglia, Papinutti, 2013)*.

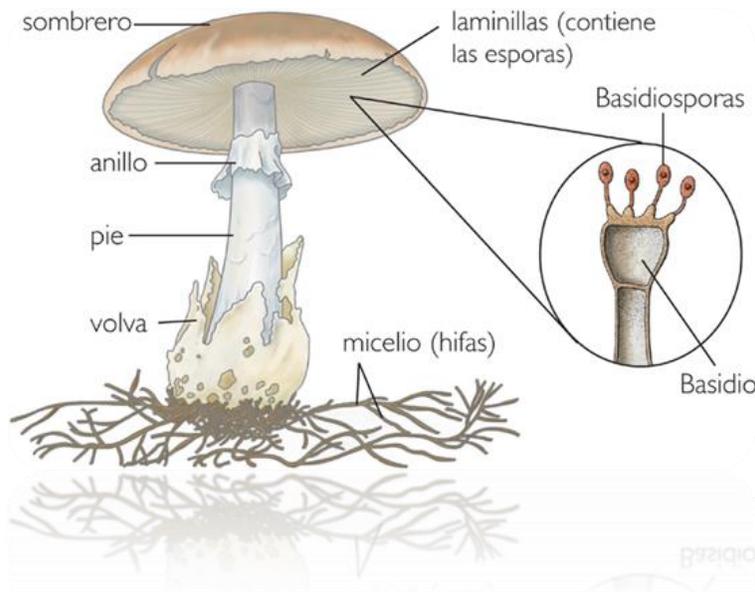


Ilustración 29 Componentes del hongo

Fuente: (micestadesetas, 2009)

El micelio puede ser de tamaño microscópico o desarrollarse en estructuras visibles, como corchetes, hongos, bejines, rizomorfos (hebras largas de hifas unidas), esclerocios (masas duras y compactas), cuernos apuestosos, hongos venenosos y trufas. En cierta etapa de su vida producen esporas directamente a través de cuerpos fructíferos especiales (*Britannica, s/f*).

Los hongos son uno de los seres vivos que crecen con mayor velocidad, el micelio del hongo puede llegar a crecer 1 mm por hora, por lo que, considerando el conjunto de hifas que compone el micelio, puede llegar a tener millones de filamentos y ramificaciones integrándose en el sustrato, sin embargo, esto solo ocurre cuando el hongo se encuentra en condiciones óptimas para su crecimiento, dado que las hifas son sensibles a la sequedad y a los cambios de temperatura (Fuentes-Cantillana Monereo, 2020).

En la Ilustración 30 se puede observar el crecimiento del micelio llevado a cabo en una investigación en por parte de la Universidad Politécnica de Madrid a una temperatura de 26 ± 2 °C.

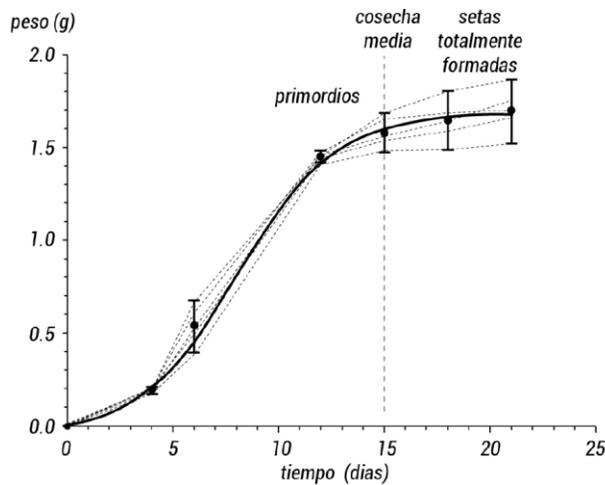


Ilustración 30 Crecimiento del micelio de Pleurotus Ostreatus

Fuente:(Fuentes-Cantillana Monereo, 2020)

3.4.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MICELIO

A menudo se le culpa al micelio en los materiales compuestos de micelio por su limitado rendimiento mecánico. Sin embargo, recientes estudios que investigan extractos de quitina-glucano, derivados del micelio han encontrado que el aglutinante de micelio es bastante fuerte, lo que sugiere que la densidad de crecimiento fúngico insuficiente limita su capacidad como aglutinante a interfaz de relleno del sustrato y sea responsable del rendimiento mecánico limitado (Fazli, Lee, Kontturi, Murphy, Bismarck, 2019). En la Ilustración 31 se pueden observar las hifas del micelio.



Ilustración 31 Hifas de micelio

Fuente:(*mycelium tectonics*, s/f)

La especie de hongo utilizada como micelio para unir desechos orgánicos dispersos afecta la densidad de crecimiento y el grado de unión interfacial en la interfaz micelio-sustrato, que varía significativamente según la especie y el sustrato, y afecta las propiedades mecánicas del material (Jones, Huynh, John, 2018).

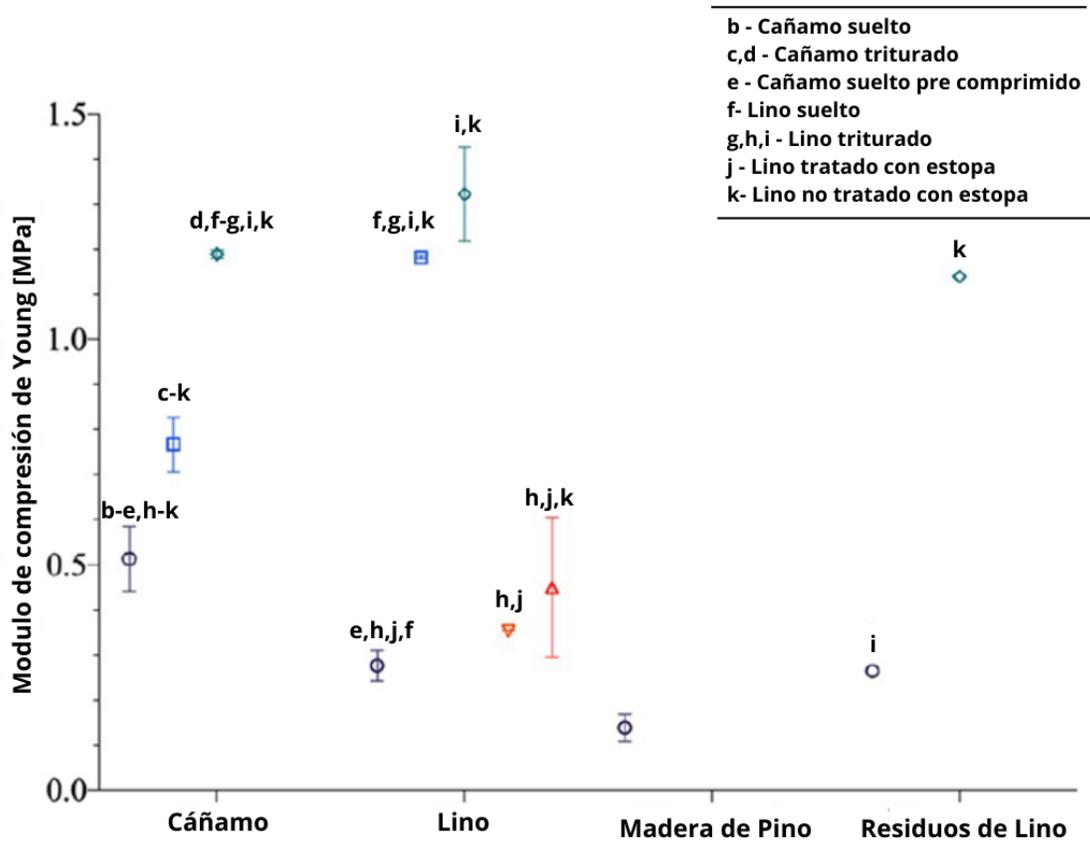
Los principales factores que afectan su comportamiento mecánico son: la matriz (especies de micelio), la selección de materia prima (sustrato lignocelulósico), la interacción entre los hongos de pudrición blanco y su materia prima y, por último, las variables del proceso durante la fabricación (protocolo, esterilización, inoculación, empaque, incubación, período de crecimiento y método de secado). Los estudios han demostrado que las

propiedades mecánicas de los compuestos de micelio se ven afectadas principalmente por su materia prima (Elsacker, Vandelook, Brancart, Peeters, De Laet, 2019).

Elsacker et al. (2019) determinan en su investigación el comportamiento mecánico del micelio del hongo *Trametes Versicolor* para lo cual se utilizaron moldes de PVC con una relación 2:1 y se utilizaron diferentes tipos de sustratos. Cabe destacar que los moldes con un micelio más denso obtuvieron mejores resultados de compresión.

Dentro del grupo de fibras sueltas la combinación de micelio y cáñamo logró la mayor rigidez a la compresión (0,51 MPa), seguido de residuos de lino (0,31 MPa). La menor rigidez es alcanzada por las muestras de madera (0,14 MPa). También se puede observar un aumento en la compresión para el cáñamo picado (0,77 MPa) y el lino picado (1,18 MPa) en comparación con el cáñamo suelto (0,51 MPa) y lino suelto (0,28 MPa), lo que indica que la condición de la fibra y el menor tamaño de la fibra influye en la rigidez a compresión (Elsacker et al., 2019).

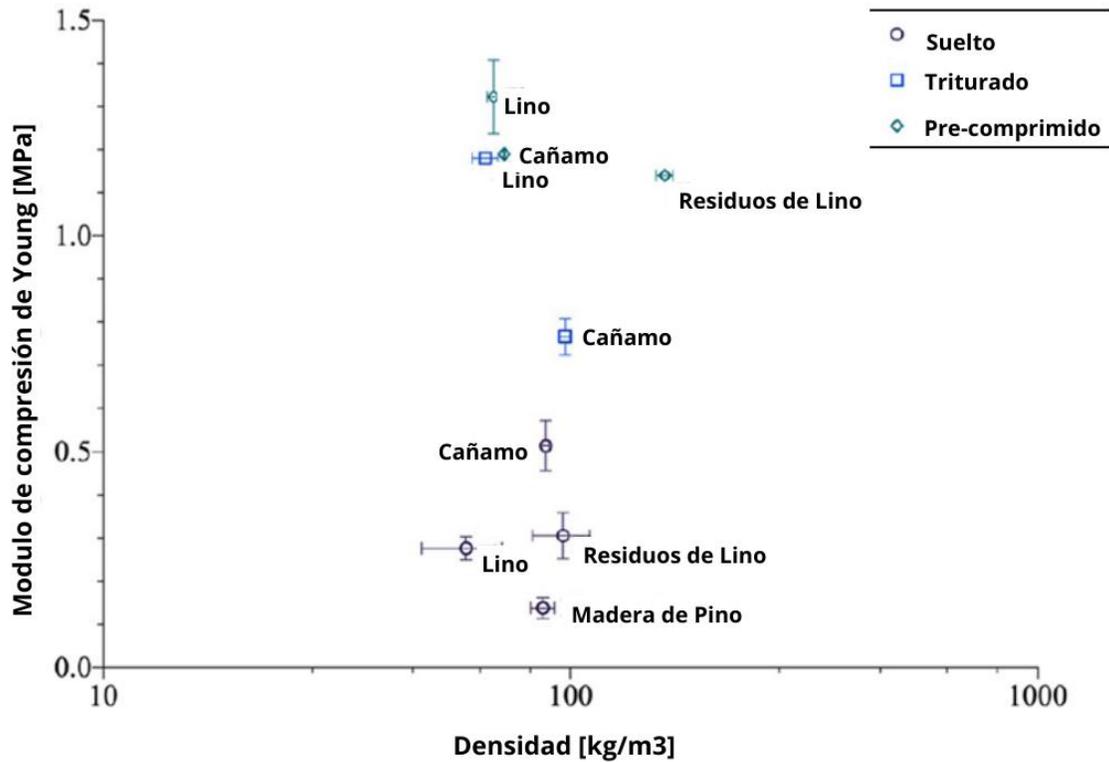
El módulo de elasticidad mostrado en la Gráfica 1 fue medido para revelar la resistencia a la compresión y, por lo tanto, su rigidez. Los valores de compresión fueron obtenidos por medio de la pendiente de la curva de esfuerzo-deformación y se utilizaron diferentes tipos de fibras (cáñamo, lino, madera y desechos de lino) y diferentes procesos de fibra (suelta, picada, estopa tratada, estopa sin tratar y fibra pre comprimida



Gráfica 1 Módulo de elasticidad de compuestos de micelio en compresión uniaxial

Fuente: (Elsacker et al., 2019)

En la Gráfica 2 se puede observar el módulo de Young frente a la densidad en los diferentes tipos de muestras mencionados anteriormente, donde se muestra que una mayor densidad no significa una mayor resistencia necesariamente.



Gráfica 2 Resumen del módulo de Young [MPa] frente a la densidad [kg/m³]

Fuente: (Elsacker et al., 2019)

3.4.2 HONGO GANODERMA LUCIDUM

El micelio de hongo a utilizar en la fabricación del material a base de micelio será el *Ganoderma Lucidum*, conocido popularmente como hongo "Reishi".

Ganoderma Lucidum es un hongo basidiomiceto de la familia Ganodermataceae, mejor conocido como "Reishi". Se encuentra distribuido en zonas de clima templado de todo el mundo, sin embargo, esto no impide su cultivo en todo tipo de climas. Este hongo es saprófito, quiere decir que se alimenta de materias orgánicas en descomposición, su micelio vive naturalmente en la madera muerta de árboles latifoliados. (Batra et al., 2013)

Los carpóforos, es decir, el cuerpo fructífero de los hongos, aparecen en la base de los troncos a lo largo de heridas o grietas en la corteza, también pueden desarrollarse en troncos muertos. Es un hongo coriáceo, con un sombrero generalmente arrifionado, de color variable, generalmente marrón rojizo como se muestra en la Ilustración 32. (Batra et al., 2013)



Ilustración 32 Hongo *Ganoderma lucidum*

Fuente: (Micelio en pellets de seta reishi, *Ganoderma lucidum*, s/f)

Taxonómicamente el hongo *Ganoderma Lucidum* se clasifica según laTabla 7:

(Montoya, s/f)

Tabla 7 Clasificación taxonómica del *Ganoderma Lucidum*

Clasificación taxonómica	
Reino	Fungi
División	Basidiomycota
Subdivisión	Agaricomycotina
Clase	Agaricomycetes
Orden	Polyporales
Familia	Ganodermataceae

Elaboración propia. Fuente: (SIB, Parques Nacionales, Argentina, s/f)

3.4.3 SUSTRATOS PARA EL CULTIVO DEL MICELIO

Según el diccionario *Merriam webster* (2022) el sustrato es la base sobre la que vive un organismo. El hongo al ser un organismo vivo deber ser cultivado en un sustrato orgánico que le permita desarrollarse.



Ilustración 33 Sustrato de paja picada

Fuente: (*KIT para cultivo de hongos en casa, s/f*)

Los sustratos empleados para el cultivo de hongos suelen ser residuos lignocelulósicos y/o subproductos agroindustriales de bajo valor comercial como la paja de trigo, bagazo de caña de azúcar, "cáscara" (pericarpio) de girasol, restos de té, pastos, cápsulas de algodón y viruta de forestales, entre otros como se muestra en la Tabla 8. Es por la utilización de este tipo de biomasa que el cultivo de hongos se considera un tipo de "tecnología amigable con el medio ambiente", ya que permite reutilizar estos desechos orgánicos (Postemsky & López Castro, 2016).

Tabla 8 Producción mundial de hongos utilizando sustratos acondicionados

Especie	Producción en toneladas	Método de preparación del sustrato	Componente principal del sustrato
<i>Agaricus bisporus</i>	1.300.000 Asia 380.000 EEUU	Compostado.	Paja de trigo y deyecciones de animales.
<i>Pleurotus spp.</i>	2.600.000 Asia 2.500 EEUU	Pasteurizado.	Viruta de forestales y paja de trigo.
<i>Lentinus edodes</i>	2.300.000 Asia 4.000 EEUU	Axénico. Pasteurizado. Inoculación de troncos.	Virutas de forestales.
<i>A.subrufescens</i>	-	Compostado.	Paja de trigo y deyecciones de animales.
<i>Volvariela</i>	-	Inoculación de camas de paja.	Paja de arroz.
<i>Ganoderma spp.</i>	-	Pasteurizado Inoculación de troncos.	Virutas de forestales y paja de trigo.

Fuente: (Postemsky & López Castro, 2016)

Las actividades agrícolas y agroindustriales suelen generar desechos que no tienen ningún valor comercial pero que ocasionan contaminación ambiental. Dichos desechos son en su gran mayoría lignocelulósicos, los cuales pueden ser aprovechados en el cultivo de setas, dando solución al problema ambiental que estos ocasionan y generando subproductos (Cenicafé, 2006). En la Ilustración 34 se puede observar el aprovechamiento de la madera como un tipo de sustrato.



Ilustración 34 Producción industrial de sustrato de madera para cultivo de hongos comestibles

Fuente: (Elsacker, 2021)

Rodríguez (2006) afirma que es recomendable que el tamaño de partículas de los sustratos se encuentre entre 0.5 y 2 cm, dado que con este tamaño de partícula se han obtenido los mejores resultados de cultivo.

3.5 USOS DEL MICELIO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Los materiales compuestos por micelio de hongo son un tipo de material nuevo que sigue siendo materia de estudio para poder determinar sus posibles aplicaciones en la industria, sin embargo, se han empleado en diferentes tipos de proyectos piloto.

3.5.1 AISLANTE TÉRMICO HECHO A BASE DE MICELIO

La empresa Ecovative, pionera en el uso del micelio como biomaterial, fue ganadora del premio de Investigación de Innovación en Pequeñas Empresas (SBIR) de la EPA de EE. UU en el año 2014. por su propuesta de aislante térmico para edificios hecho a base de micelio.

Eben Bayer y Gavin McIntyre, fueron responsables del diseño innovador que utiliza hongos para crear un aislamiento resistente al agua, ignífugo, biodegradable y que atrapa el calor, el material ha demostrado ser tan fuerte como el concreto, por peso (US EPA, 2015). En la Ilustración 35 se observa el material aislante ya instalado.



Ilustración 35 Pared con aislamiento cultivado a partir de hongos

Fuente: (*Insulation Grown From Fungi*, 2014)

La "Mushroom Tiny House" mostrada en la Ilustración 36, es el nombre del proyecto piloto para el uso del material aislante, tiene paredes hechas de tablas machihembradas de pino y cavidades huecas sin montantes. Dentro de estas paredes, se empaqueta el aislamiento vivo de hongo. En tres días, el micelio crece y solidifica estas partículas sueltas en un aislamiento hermético al aire, al mismo tiempo que se adhiere a las tablas de pino

creando un sándwich extremadamente fuerte (“Strong, Safe, Warm, Secure in a Mushroom House”, 2013).



Ilustración 36 Ecovative, casa hecha con aislante de micelio

Fuente: (Schwartz, 2013)

El resultado es similar a un panel aislante estructural (SIP); esta capa de aislamiento continuo no tiene puentes térmicos. En el transcurso de aproximadamente un mes, el aislamiento de hongos se seca naturalmente y se vuelve inactivo. Los hongos solo fructificarán a través de huecos o debido a una construcción incorrecta, y se pueden cortar fácilmente con un cuchillo antes de que produzcan esporas, dado que en este caso el material se instala aun con el hongo vivo (“Strong, Safe, Warm, Secure in a Mushroom House”, 2013).

3.5.2 BLOQUES DE MICELIO

Se han realizado bloques de micelio cultivados en diferentes tipos de Sustratos utilizando una variedad de tipos de hongos. En la búsqueda de ver su aplicabilidad a la industria de la construcción, se han llevado a cabo una serie de proyectos piloto utilizando estos bloques.

Phil Ross (2014) interesado por el potencial del micelio como medio artístico, empezó a hacer crecer esculturas y otras formas estructurales a partir de hongos. Y a través de un proceso que él llama "micotectura", Ross elaboró muebles, una pequeña taza de té y bloques entrelazados como los que se muestran en la Ilustración 37.



Ilustración 37 Ladrillo entrelazado fabricados por la empresa "MycoWorks"

Fuente: (KQED, 2014)

A finales del 2013, Ross cofundó la empresa emergente MycoWorks como el primer paso en su búsqueda para "micotecturizar el mundo". Al alimentarse de diferentes tipos de desechos agrícolas como aserrín o cáscaras de maíz, el micelio forma una red entrelazada que se puede moldear a cualquier forma. Cultivar el hongo en cajas rectangulares crea "micoladrillos". Se pueden usar moldes más elaborados para producir asientos de sillas o

paneles decorativos. Dependiendo de la densidad final del material, este proceso puede llevar desde unos pocos días hasta un par de semanas (KQED, 2014).

La empresa MycoWorks también trabajó en un arco de micelio, utilizando la especie de hongo *Ganoderma Lucidum*, obteniendo la estructura mostrada en la Ilustración 38.



Ilustración 38 Arco hecho con bloques de micelio de *Ganoderma Lucidum*

Fuente:(vhbazanm, 2020)

Hy-Fi fue la primera estructura a gran escala que utilizó esta tecnología de ladrillos en forma de hongo, basada en una técnica desarrollada por Ecovative en 2007 y que, hasta ahora, es generalmente utilizada para fabricar envases. Los ladrillos se pueden cultivar en 5 días y se apilan para crear una estructura de tres cilindros fusionados como se observa en la Ilustración 39. La forma está diseñada para atraer brisas a través de la estructura y enfriar aún más el interior sombreado (*Hy-Fi, The Organic Mushroom-Brick Tower Opens At MoMA's PS1 Courtyard*, 2014) .



Ilustración 39 La Torre de Ladrillos de Hongos Orgánicos llamado “Hy-Fi Tower”

Fuente: *(Hy-Fi, The Organic Mushroom-Brick Tower Opens At MoMA’s PS1 Courtyard, 2014)*

Diseñada por David Benjamin de los arquitectos de Nueva York “The Living”, la torre fue diseñada como parte del Programa de Arquitectos Jóvenes del museo de arte moderno (MoMA), y su construcción se centra en el uso de un material de construcción innovador: ladrillos orgánicos y biodegradables que consisten en nada más que desechos agrícolas y una cultura de hongos que se cultivan para encajar en un molde en forma de ladrillo *(Hy-Fi, The Organic Mushroom-Brick Tower Opens At MoMA’s PS1 Courtyard, 2014)*.

IV METODOLOGÍA

A continuación, se detallará la metodología a utilizar en la investigación; estableciendo el enfoque, las variables de investigación, las técnicas e instrumentos aplicados, los materiales utilizados y la metodología de estudio.

4.1 ENFOQUE

La investigación, según Sampieri, Fernández, Baptista (2014), "es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema"(p.4).

Partiendo de esta definición surgen tres tipos de enfoques en los que puede ser dirigida una investigación: el enfoque cuantitativo, el enfoque cualitativo y el mixto.

4.1.1 ENFOQUE MIXTO

Sampieri et al. (2014) define el enfoque mixto de la siguiente manera: "Combinación del enfoque cuantitativo y el cualitativo" (p. 3).

Se afirma que este trabajo de investigación provee una combinación del enfoque cuantitativo y del enfoque cualitativo, por lo que se define en base a un enfoque mixto: para cumplir con los objetivos y proporcionar respuestas a las preguntas de investigación planteadas, se aplican pruebas de compresión a los cilindros de micelio y aserrín para determinar su resistencia, así como un ensayo de absorción a los cilindros, que nos permitan identificar las propiedades que estos poseen.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

(Villasís-Keever & Miranda-Novales, 2016) afirman: "Las variables en un estudio de investigación son todo aquello que medimos, la información que colectamos, o bien, los

datos que se recaban con la finalidad de responder las preguntas de investigación, las cuales habitualmente están especificadas en los objetivos”.

4.2.1 VARIABLES DEPENDIENTES

La variable dependiente “es el fenómeno que resulta, el que debe explicarse” (Amiel Pérez, 2007).

Como variables dependientes tenemos:

- Resistencia a compresión: Se define la resistencia de compresión de los cilindros como variable dependiente en base a las características dimensionales de los cilindros de micelio y aserrín.
- Ensayo de absorción.
- Fabricación de material de micelio.

4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

La variable independiente “es el motivo, o explicación de ocurrencia de otro fenómeno. En el experimento es la variable que puede manipular el investigador y se le suele denominar tratamiento”(Amiel Pérez, 2007).

Se definen entonces las siguientes variables independientes:

4.2.2.1 Variables independientes de la resistencia a compresión

Como variables independientes de la resistencia a la compresión tenemos la altura del molde y el área transversal del molde.



Ilustración 40 Variables de investigación de resistencia a compresión

Estas variables independientes están definidas a partir de las dimensiones de los cilindros a los que se le aplica el ensayo de resistencia a compresión.

- Altura: 4"
- Diámetro: 2"

4.2.2.2 Variables independientes del ensayo de absorción

Como variables independientes del ensayo de absorción tenemos la densidad seca del cilindro obtenida a partir del peso húmedo y peso seco del cilindro y el tiempo sumergido en el agua como parte del ensayo.



Ilustración 41 Variables de investigación de ensayo de absorción

4.2.2.3 Variables independientes de fabricación de material de micelio

Como variables independientes de la fabricación de los materiales hechos a base de micelio tenemos la temperatura ambiente en la que será cultivado, el tipo de esterilización a utilizar, el tipo de micelio a cultivar, el porcentaje de humedad en el sustrato y el tipo de sustrato a utilizar para el cultivo del micelio.

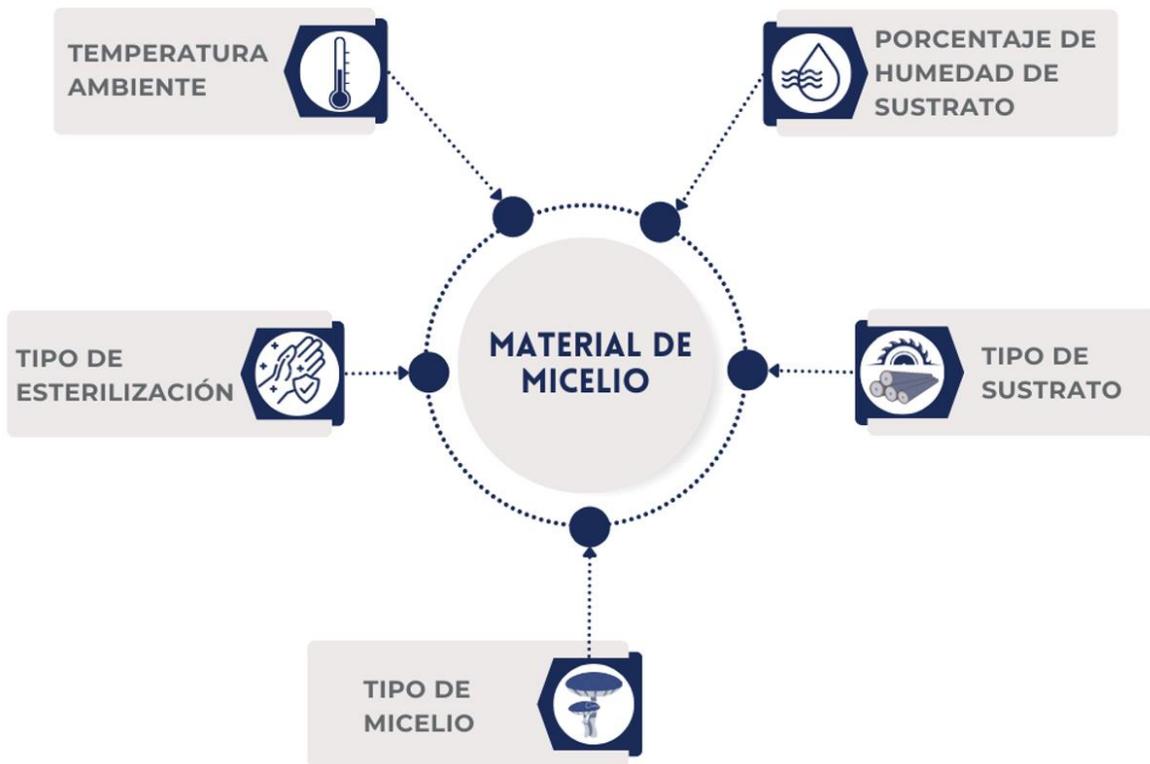


Ilustración 42 Variables de investigación de fabricación de materiales de micelio

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Se muestran a continuación las técnicas e instrumentos aplicados en la presente investigación:

4.3.1 ESTERILIZACIÓN DE SUSTRATO POR MEDIO DE OLLA DE PRESIÓN

En la mayoría de los casos un sustrato está habitado por organismos, como bacterias, insectos u otros hongos, que competirán con el hongo deseado, inhibiendo su crecimiento. Por lo tanto, es importante limpiar el sustrato de antemano. Hay cuatro métodos para hacerlo: esterilización, pasteurización, tratamiento con peróxido de hidrógeno y compostaje natural (*The Mechanical Possibilities of Mycelium Materials*, 2015).

La esterilización es el tratamiento más drástico para eliminar los microorganismos. Para esterilizar un sustrato es necesario calentarlo a una temperatura de 123 °C y una presión de 100 kPa (1 bar) durante 20 minutos. La ventaja de este tratamiento es que mata todos los organismos y se asegura que el sustrato es completamente inerte. La desventaja es que este tratamiento requiere mucha energía y equipo especializado, como ollas a presión o autoclaves (*The Mechanical Possibilities of Mycelium Materials*, 2015).

Se optó por el método de esterilizar por medio de una olla de presión convencional como la que se muestra en la Ilustración 43 dado su alto grado de éxito al momento de eliminar los microorganismos que pueden contaminar el micelio. Se utilizará una olla de presión estándar las cuales llegan a una temperatura entre 110°C-120°C y una presión de 15 psi (Viveur, s/f).



Ilustración 43 Olla de presión convencional

Fuente: (*Tramontina Olla a Presión 9 Litros, 2022*)

Se utilizó una olla de presión convencional y se dejó el sustrato dentro de ella por una hora desde el momento en que la presión alcanzó su punto máximo, el cual pasa cuando el vapor empieza a salir por la parte superior de la tapadera y se sella para que la presión se mantenga. Posteriormente se dejó enfriar el sustrato durante media hora con la tapadera cerrada. Se esterilizo el sustrato durante una hora dado que su temperatura máxima puede variar a las recomendadas.

Aun que el método de la esterilización por medio de una olla de presión no sea el mas replicable a gran escala para una industrialización de fabricación de materiales de micelio, sirve como método piloto para demostrar la posibilidad de fabricar dicho material.

4.3.1 MÉTODO DE INCUBACIÓN

Se utilizarán bolsas de polipropileno con filtro de 0.2 micras dado su resistencia a las altas temperaturas requeridas como parte del procedimiento de esterilización del sustrato y dado que el hongo necesita un intercambio de gases durante su periodo de crecimiento sin que entren contaminantes como bacterias. Las bolsas fueron adquiridas por medio de una página web y se utilizó un servicio de envío.



Ilustración 44 Bolsas de polipropileno con filtro de micra

4.3.1 MONITOREO DE TEMPERATURA

Como medidor de temperatura se utilizará un termostato el cual por medio de un sensor mide la temperatura en el aire. El instrumento se utilizará para medir la temperatura promedio en la habitación donde será cultivado el hongo dado que la temperatura ambiente varía mucho dependiendo del lugar donde se mida.



Ilustración 45 Medidor de temperatura

4.3.2 FUENTES SECUNDARIAS DE INVESTIGACIÓN

A partir de bases de datos en la web y la base de datos del CRAI, haciendo uso de equipos computacionales, se accedió a la información necesaria acerca del impacto ambiental de los principales materiales de construcción convencionales, del micelio y sus propiedades, de modo que fuese posible realizar cilindros a base de éste y aserrín de caoba.

Se muestra en la Ilustración 46 la página principal de la base de datos "SciELO".



Ilustración 46 Página principal de "Scientific Electronic Library Online" (SciELO)

Fuente: (SciELO, 2019)

4.3.3 ASESORÍA TEMÁTICA

Las asesorías temáticas fueron de suma importancia a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación debido a la ayuda, retroalimentación y aportes que los asesores temáticos, MSc. Juan Carlos Reyes Zúniga y MSc. Julio César López Zerón, brindaron para encaminar de manera correcta la propuesta planteada.

Las asesorías temáticas pueden visualizarse en el Anexo 1.

4.3.4 CARACTERÍSTICAS DEL MICELIO

Para determinar las características y propiedades del micelio se realizarán un serie de pruebas y cálculos.

4.3.4.1 Porcentaje de Contracción

Se calculará el porcentaje de contracción restando el volumen seco del material del volumen húmedo y dividiendo esta contracción por el volumen húmedo tal como se muestra en la Ecuación 1

$$\% \text{ Contracción} = \frac{\text{volumen seco} - \text{volumen humedo}}{\text{volumen humedo}}$$

Ecuación 1 Porcentaje de absorción

4.3.4.2 Módulo de Young

Para determinar el módulo de Young del material se utilizarán los datos de esfuerzo y deformación obtenidos a través del ensayo de compresión y las ecuaciones siguientes:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Ecuación 2 Módulo de Young

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ [MPa]}$$

Ecuación 3 Esfuerzo de compresión

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Ecuación 4 Deformación unitaria

Donde:

F = fuerza de compresión (N), A = área transversal del cilindro (mm²), ΔL= desplazamiento de la carga (cm) y L₀= longitud original del cilindro (cm)

4.3.4.3 Ensayo de resistencia a la compresión

El ensayo de compresión es un ensayo mecánico que permite definir el comportamiento que muestra un material que se encuentra bajo sometimiento de cargas aplastantes, de modo que el tipo de presión que se le aplica es compresivo. Esta presión se

aplica en especímenes de ensayo, generalmente de forma cúbica o cilíndrica, mediante una máquina universal de ensayo con accesorios técnicos o platinas (Instron, 2022).

Para determinar las propiedades mecánicas del material se utilizarán muestras cilíndricas las cuales serán sometidas a compresión en una prensa de carga HM-5030 la cual se encuentra en el Laboratorio de ingeniería Civil de UNITEC.



Ilustración 47 Máquina “Prensas de Carga HM-5030”

El esfuerzo a compresión se calcula mediante la Ecuación 3 Esfuerzo de compresión. **¡Error!**

No se encuentra el origen de la referencia.

4.3.4.4 Peso Unitario

Para el cálculo de peso unitario se utilizó la ecuación de peso unitario

De las dimensiones y peso de las probetas se determinará el peso unitario del material de micelio utilizando la Ecuación 5.

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{masa (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

Ecuación 5 Peso unitario

4.3.4.5 Porcentaje de absorción

Para determinar el porcentaje de absorción se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{\text{Peso humedo saturado (g)} - \text{Peso seco(g)}}{\text{Peso seco(g)}}$$

Ecuación 6 Porcentaje de absorción

4.4 MATERIALES

A continuación, se mostrará una lista de todos los materiales utilizadas para la metodología.

Tabla 9 Materiales utilizados en elaboración de ladrillos

No.	Material	Ilustración
1	Hongo cultivado " <i>Ganoderma Lucidum</i> "	
2	Aserrín de caoba	
3	Aserrín de pino	
4	Bolsas de polipropileno	

5	Moldes prefabricados (cilíndricos)	
6	Alcohol antiséptico y desinfectante	
7	Cinta adhesiva	
8	Agua	
9	Utencilios para inocular micelio en sustrato	
10	Guantes de latex	

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En la metodología de estudio se describirá a detalle los procedimientos que se llevarán a cabo para fabricar los cilindros de micelio, denotando que dicho procedimiento se repite para aquellos combinados tanto con aserrín de caoba, como de pino. Muestra del proceso estándar utilizado por autores como Elsacker et al. (2019) de la fabricación de materiales a base de micelio, es el que se aprecia en la Ilustración 48

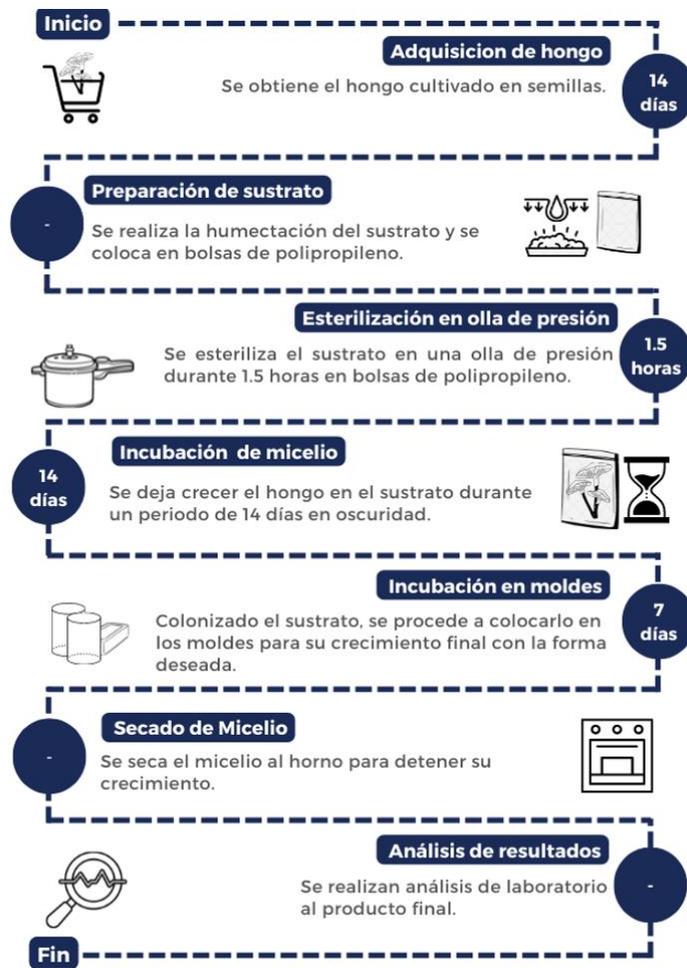


Ilustración 48 Proceso utilizado en la elaboración de material a base de micelio

4.5.1 SELECCIÓN DE MICELIO

Existe una gran variedad de tipos de hongos utilizados en la fabricación de materiales hechos a base de micelio. Algunos de ellos se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10 Tipos de hongos utilizados como materiales

	Tipo de hongo	Uso
	<i>Pleurotus Ostreatus</i>	Usado por el diseñador Maurizio Montalti en diferentes productos como maceteras.

	<p><i>Ganoderma Lucidum</i></p>	<p>Usado en esculturas por el artista Philip Ross</p>
	<p><i>Polyporus Squamosus</i></p>	<p>Usado en empaques por parte de la empresa Ecovative</p>

Fuente: (*The Mechanical Possibilities of Mycelium Materials*, 2015).

El hongo seleccionado para la fabricación de los cilindros fue el *Ganoderma Lucidum* dado su disponibilidad en la ciudad de Tegucigalpa.

4.5.2 SELECCIÓN DE SUSTRATO

Como elemento de sustrato se seleccionó el aserrín de Caoba y Pino dado que el hongo *Ganoderma Lucidum* es un hongo saprófito y sólo crece naturalmente en tejidos necrosados de árboles de madera dura y hojas anchas (Rodríguez & Jaramillo, 2005).

Sin embargo, se han realizado estudios del crecimiento de este tipo de hongos en diferentes tipos de madera, incluyendo la madera de Pino Dado la disponibilidad de la madera de Pino en Honduras, se utilizará aserrín de Pino para poder comparar su crecimiento respecto al cultivo en aserrín de Caoba.

4.5.3 ADQUISICIÓN DE MICELIO

Se utilizó seta de la especie de hongo *Ganoderma Lucidum* el cual fue encargado al Centro de Investigación de Micología Tropical de la Escuela de Biología el cual es una unidad de investigación de incipiente equipamiento con fondos propios de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Se adquirió 1 kg de micelio de hongo cultivado en semillas de maicillo cocidas, durante 2 semanas a temperatura ambiente.



Ilustración 49 Crecimiento de micelio de *Ganoderma Lucidum* en semillas de maicillo

4.5.4 ADQUISICIÓN DE SUSTRATOS

Como elemento de sustrato se obtuvo aserrín de Pino y de Caoba provenientes del cepillado de la madera. El aserrín fue obtenido mediante una carpintería local que trabaja con madera de color y de Pino no curado, ubicada en el Chimbo, Tegucigalpa.



Ilustración 50 Aserrín de caoba

4.5.5 MOLDES CILÍNDRICOS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

Se fabricaron 9 moldes a partir de un tubo de PVC blanco, donde fueron cortaron posteriormente. Los moldes de la Ilustración 51 serán utilizados para la fabricación de las probetas de micelio, a las que posteriormente se les aplicará el ensayo de compresión.



Ilustración 51 Moldes cilíndricos para realización de probetas de micelio y aserrín

Dimensión de moldes cilíndricos:

- Diámetro: 2 pulgadas
- Altura: 4 pulgadas

4.5.6 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para determinar las propiedades del aserrín a utilizar como el tamaño de partículas y su humedad, se realizaron una serie de análisis en el laboratorio.

4.5.6.1 Tamaño de partículas de los sustratos

Para el aserrín de Caoba y Pino, se llevó a cabo el proceso de tamizado siguiendo la normativa ASTM D-422, mediante el cual se conoció el tamaño de la proporción relativa entre las partículas.

Como primer paso, se realizó el cuarteo del aserrín como se observa en la Ilustración 52, de las 4 porciones que quedan después de realizar el cuarteo, se escoge la porción más representativa del aserrín y se repite el proceso 4 veces.



Ilustración 52 Cuarteo de aserrín

Una vez obtenido la muestra de aserrín se procede a registrar su peso y colocarlo adentro de la torre de tamices de granulometría gruesa que se compone de los tamices numero 2", 1 ½ ", 1".3/4",3/8", y #4 y se procede a colocar la torre de tamices en la tamizadora mostrada en la Ilustración 53 durante 15 minutos. El proceso se repitió para la granulometría fina armando una torre de tamices #10, #40, #100 y #200



Ilustración 53 Tamizadora

Una vez tamizado el aserrín, se procedió a pesar el aserrín retenido en cada tamiz tal como se observa en la Ilustración 56 y registrar el dato en una tabla resumen donde se calcula el porcentaje de pase de cada tamiz.



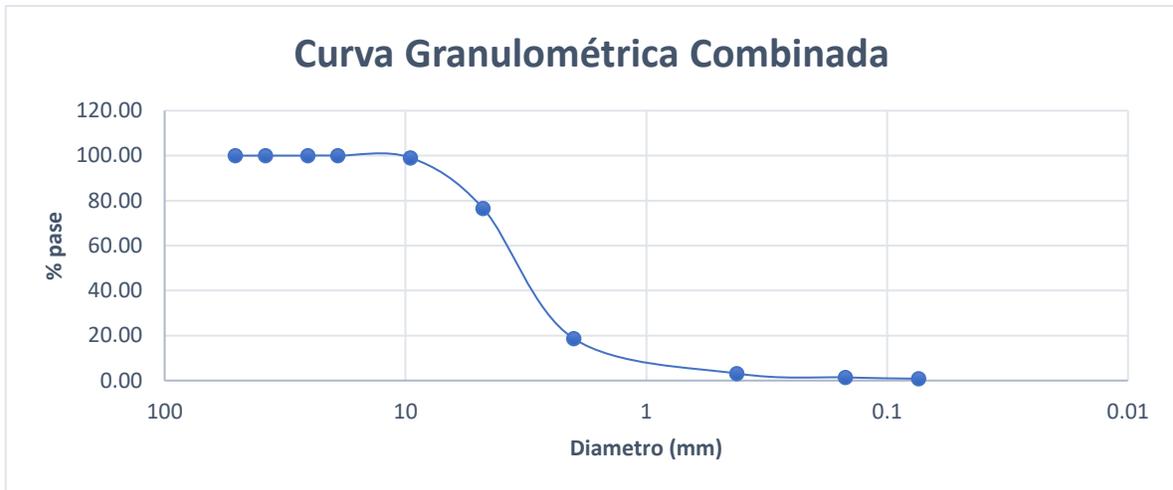
Ilustración 54 Registro de peso de aserrín retenido en tamiz

Una vez obtenida la granulometría gruesa y fina, se procedió a realizar la granulometría combinada teniendo como resultados la Tabla 11.

Tabla 11 Granulometría combinada de aserrín de Caoba

Granulometría combinada						
Tamiz G. gruesa y fina	Diámetro (mm)	Masa retenida (gramos)	Masa retenida acumulada (gramos)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pase
2"	50.8	0	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	0	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.1	0	0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.76	0.76	0.93	0.93	99.07
#4	4.75	18.49	19.25	22.54	23.46	76.54
#10	2	47.49	66.74	57.89	81.35	18.65
#40	0.42	12.74	79.48	15.53	96.88	3.12
#100	0.149	1.42	80.9	1.73	98.61	1.39
#200	0.074	0.47	81.37	0.57	99.18	0.82
Fondo		0.67	82.04	0.82	100.00	0.00
Total		82.04		100		

Con los porcentajes de pase el diámetro de los tamices se procede a sacar la curva granulométrica mostrada en la Gráfica 3.



Gráfica 3 Curva granulométrica combinada de aserrín de Caoba

De la Gráfica 3 se pudo determinar que el aserrín obtenido tiene un tamaño de partículas entre los 9.53 mm y los 0.074mm.

El proceso se repitió para el aserrín de Pino, tablas de resultados pueden encontrarse en los.

Dado que el aserrín tiene tamaño de partículas variados y para lograr tener un sustrato más homogéneo, se tamizó el aserrín de Caoba y Pino a utilizar como sustratos con un tamiz #4 (4.75mm) como se muestra en la Ilustración 55



Ilustración 55 Tamizado #4 de aserrín

4.5.6.2 Ensayo contenido de humedad

Para el cultivo del micelio se utilizará una humedad del 70% tanto en el aserrín de Caoba como en el de Pino, porcentaje de humedad utilizado en investigaciones pasadas por autores como Nieto & Chegwin A (2010), sin embargo, primero se determinó el contenido de humedad presente en los aserrines.

Para determinar la humedad, se realizó un ensayo de contenido humedad ingresando las muestras de aserrín al horno y registrando el peso seco después de 24 horas. A continuación, se mostrará el procedimiento para el aserrín de Caoba, mismo utilizado para el aserrín de Pino. Como primer paso se registró el peso de 3 latas como se muestra en la Ilustración 56.

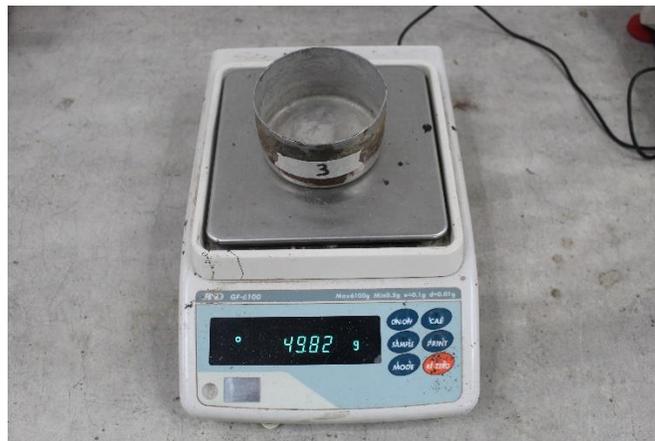


Ilustración 56 Registro de peso de latas para prueba de humedad

El peso de las latas se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12 Peso de latas para pruebas de humedad

Lata	Peso (g)
1	50.01
2	50.39
3	49.82

Una vez obtenido el peso de las latas se procedió a colocar muestras de aserrín en cada una de ellas y se registró su peso nuevamente como se muestra en la Ilustración 57.



Ilustración 57 Toma de peso de la lata más el aserrín

El peso de las latas más el aserrín se puede observar en la tabla siguiente:

Tabla 13 Peso de lata más aserrín

Lata + aserrín	Peso (gr)
1	64.96
2	67.58
3	65.47

Una vez registrados los pesos de las latas con el aserrín, se procedió a colocar las muestras en una bandeja como la que observa en la Ilustración 58 para su colocación en el horno.



Ilustración 58 Colocación de latas en bandeja

Se colocaron las muestras dentro de un horno a 110 °C durante 24 horas para evaporar todo contenido de humedad en el aserrín.



Ilustración 59 Colocación de latas de contenido de humedad dentro del horno

Pasadas las 24 horas, se procedió a retirar las latas del horno para registrar el peso seco del aserrín, los resultados se pueden observar en la Tabla 14.

Tabla 14 Pesos de las latas más el aserrín seco

Lata + aserrín seco	Peso
1	63.05
2	65.39
3	63.45

Una vez obtenido el peso de lata más el aserrín seco, se procedió a determinar su contenido de humedad por medio de la Ecuación 7.

$$W\% = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} * 100$$

Ecuación 7 Contenido de humedad

Donde:

- $W_1 =$ peso de lata
- $W_2 =$ peso de lata + aserrín
- $W_3 =$ peso de lata + aserrín seco

Los resultados de contenido de humedad se pueden observar en la Tabla 15.

Tabla 15 Porcentaje de contenido de humedad en el aserrín

Lata	% de humedad
1	12.78%
2	12.74%
3	12.91%

Haciendo un promedio entre los 3 resultados de porcentajes de humedad obtenidos, se tiene que el porcentaje de humedad promedio en el aserrín es de 12.81%. Una vez que se obtiene el dato del contenido de humedad en el aserrín se procede a calcular el porcentaje de humedad requerido para llegar al 70%

$$\% \text{ Humedad a complementar} = 70\% - 12.81\% = 57.19\%$$

Se agregará un 57.19 % de humedad al aserrín de Caoba en estado natural para lograr tener un 70% de humedad en el sustrato. Repitiendo el proceso se determinó que se agregará un 48.20% de humedad al aserrín de Pino.

4.5.7 PREPARACIÓN DE SUSTRATO

Una vez analizados los sustratos, se procede a prepararlos para la inoculación con el micelio. Como primer paso se mide cuanto aserrín se necesitará por molde ingresando el aserrín en los moldes y vertiendo en las bolsas de polipropileno registrando su peso como se observa en la Ilustración 60.



Ilustración 60 Registro de peso de aserrín de Caoba en bolsa

Las bolsas fueron enumeradas de acuerdo con la cantidad de aserrín que contienen según el molde. Siendo 3C1 la bolsa con el contenido de aserrín para 3 moldes de aserrín y así sucesivamente para los demás moldes.

Tabla 16 Peso seco de aserrín de Caoba en bolsas

Bolsa	Peso seco (g)
3C1	127.55
3C2	127.65
3C3	131.59

Una vez registrado el peso de las bolsas con el aserrín, se procede a calcular la cantidad de ml de agua a utilizar por bolsa para lograr llegar al 70 % de humedad.

Dado que se sabe que un ml de agua es equivalente a un kg, se calcula los ml de agua a usar por bolsa de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Ml\ de\ agua\ a\ usar = Peso\ seco\ de\ bolsa * 57.19\%$$

Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 17

Tabla 17 Ml de agua a utilizar para aserrín de Caoba

Bolsa	Ml de agua a usar
3C1	72.95
3C2	73.01
3C3	75.26

Con el dato de la cantidad de agua a utilizar por bolsa se procede a medir dicha cantidad en una probeta como la que se muestra en la Ilustración 61 y a verter en las bolsas de plástico con el sustrato, agitando las bolsas durante 5 min para asegurar una adecuada humectación del aserrín. El procedimiento se repitió para el aserrín de Pino.



Ilustración 61 Medición de agua para humectación de sustrato

4.5.7.1 Esterilización del sustrato

Se emplean varios métodos para la esterilización del sustrato, lo que hace el sustrato inerte y óptimo para la inoculación del micelio sin contaminantes como bacterias u otros tipos de hongos que pudiesen estar presente en el sustrato. La esterilización puede suceder por la temperatura, como autoclave y pasteurización o tratamiento con productos químicos o microbianos agentes (Elsacker, 2021). En primer lugar, la autoclave del sustrato se puede realizar a diferentes temperaturas, entre 115 y 121°C y puede variar duraciones entre 15 y 28 minutos ((Appels et al., 2019).

Dado que se utilizó una olla de presión convencional sin medidor de presión, se esterilizó el sustrato durante una hora y se dejó enfriar durante otra media hora dentro de la olla. Se utilizó una rejilla en el fondo de la olla como se puede observar en la Ilustración 62 para evitar el contacto directo de las bolsas de polipropileno con el fondo de la olla de presión.



Ilustración 62 Olla de presión con rejilla

Se utilizaron 3 tazas de agua dentro de la olla, para asegurar un vapor constante y presión máxima dentro de la olla, así mismo evitando el contacto del agua con las bolsas. Una vez ingresada el agua, se procedió a colocar las bolsas con el sustrato dentro de la olla como se puede observar en la Ilustración 63, este paso se repitió 4 veces para lograr esterilizar todas las bolsas de sustrato de aserrín de Caoba y Pino.



Ilustración 63 Colocación de sustrato en olla de presión

Una vez colocado el sustrato, se procedió a sellar la olla y dejarla a fuego alto hasta que el vapor saliera por la fuga de la tapadera, luego se dejó a fuego bajo durante una hora y luego se dejó enfriando durante media hora con la tapadera sellada.



Ilustración 64 Esterilización de sustrato en olla de presión

Una vez esterilizado, se dejó enfriar el sustrato durante 2 horas afuera de la olla de presión, como se muestra en la Ilustración 65 para lograr inocular el sustrato a temperatura ambiente.



Ilustración 65 Tiempo de espera de enfriamiento

El mismo procedimiento se siguió para el aserrín de Pino.

4.5.8 INOCULACIÓN DEL MICELIO

Una vez preparados los sustratos, se procedió a realizar la inoculación del micelio en las bolsas de polipropileno.

Se pueden utilizar diferentes métodos para inocular el sustrato con micelio. Cuando se cultivan en placas de agar peptona con extracto de malta, uno o más tapones de agar (10 mm x 10 mm) de una placa totalmente colonizada se cortan y se inoculan directamente en el sustrato (Haneef et al., 2017; Islam et al., 2017; Moser et al., 2017).

El micelio también se puede cultivar en semilla de grano y éste se utiliza posteriormente para inocular el sustrato con micelio, un 10% a 20% del peso del sustrato (Lelivelt et al., 2015).

Para la inoculación de los sustratos se utilizó el micelio cultivado en semillas de grano donde se utilizó un 10% del peso del sustrato el cual fue pesado en una balanza como la que se muestra en la Ilustración 66.



Ilustración 66 Peso de micelio utilizado para inoculación

Se determinó el 10% de micelio respecto al peso del sustrato por medio de la siguiente operación:

$$\text{Micelio a utilizar} = \text{Peso de sustrato humedo} * 0.10$$

Ecuación 8 Cantidad de micelio para inoculación

Realizando la operación al peso de cada una de las muestras, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18 Cantidad de micelio a inocular en aserrín de Caoba

Bolsa	Peso humedo (g)	Micelio a utilizar (g)
3C1	177.34	17.734
3C2	177.56	17.756
3C3	185.87	18.587

Realizando el mismo procedimiento usado para el aserrín de Caoba se utilizó para el aserrín de Pino, teniendo como resultado las siguientes cantidades de micelio a utilizar por bolsa:

Tabla 19 Cantidad de micelio a inocular en aserrín de Pino

Bolsa	Peso humedo (g)	Micelio a utilizar (g)
3C1	295.4	29.54
3C2	299.1	29.91
3C3	308.3	30.83

4.5.8.1 Mezcla del micelio y aserrín

Una vez calculado el 10% de micelio a utilizar por bolsa, se procedió a realizar la inoculación en las bolsas. Para la inoculación se desinfecto el área de trabajo con alcohol etílico y se utilizó guantes látex para evitar el ingreso de contaminantes al sustrato y posteriormente se ingresó la cantidad de micelio previamente calculada como se muestra en la Ilustración 67. Una vez ingresado el micelio se procedió a mezclar la bolsa durante 3 min para lograr obtener una apropiada distribución del micelio.



Ilustración 67 Inoculación de micelio

4.5.9 MONITOREO

Una vez inoculados los sustratos, se mantuvieron guardados en completa oscuridad en un closet donde así mismo se ingresó el medidor de temperatura como se puede observar en la Ilustración 68., se empezó a monitorear la temperatura en °C, tres veces al día, durante dos semanas, registrándose las temperaturas promedio por día. El registro de temperaturas se puede observar en el Anexo 2 Tamaño de partículas de aserrín de Pino.



Ilustración 68 Lugar de crecimiento de micelio

Las muestras de aserrín de Caoba y Pino se dejaron incubar durante 2 semanas, tomando fotografías al inicio de la inoculación, a la primera semana y a la segunda semana.

4.5.10 MONTAJE EN MOLDES

Una vez pasadas las 2 semanas se procedió a colocar el sustrato ya colonizado dentro de los moldes cilíndricos. Se utilizaron 3 moldes cilindros para el aserrín de Caoba, 3 moldes cilíndricos para el aserrín de Pino. Adicionalmente, se colocó el micelio adquirido en semillas de maicillo en 3 moldes cilíndricos.

El sustrato fue colocado en los moldes en 3 capas, realizando una leve compactación con las manos en cada capa colocada hasta llenar el molde como se puede observar en la Ilustración 69.



Ilustración 69 Colocación de sustrato en moldes cilíndricos

Los moldes fueron guardados nuevamente en oscuridad durante 7 días para completar su crecimiento final con la forma deseada. Los cilindros fueron puestos nuevamente dentro de una bolsa de polipropileno con filtro de microfibras como se muestra en la Ilustración 70 para conservar la humedad en el sustrato y permitir la oxigenación tal como lo menciona Coloma Hohlberg (2021) en su investigación.



Ilustración 70 Incubación final del micelio en moldes

4.5.11 DESMONTAJE

Una vez pasado los 7 días se procedió a remover el micelio de los moldes cilíndricos. Para el desmolde se removió la parte inferior de los moldes y lentamente se empujó el material hasta lograr su completa liberación.



Ilustración 71 Desmontaje de micelio cultivado

El procedimiento se repitió para los demás moldes, en la Ilustración 72 se observan los cilindros de micelio en semillas de maicillo completamente colonizados y removidos.

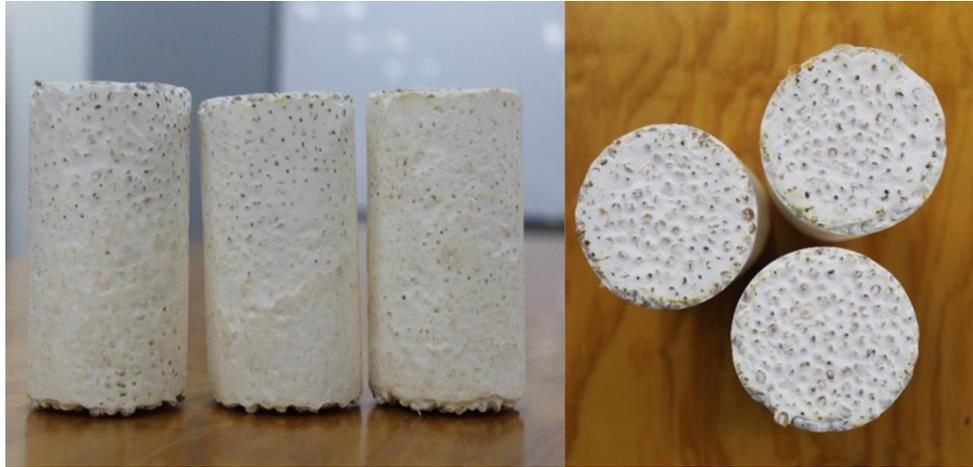


Ilustración 72 Cilindros de micelio para prueba de compresión

4.5.12 SECADO DE MICELIO

Una vez removido el micelio de los moldes, se procede a secar el micelio a una temperatura de 60 grados Celsius durante 4 horas en un horno para detener el crecimiento del micelio en el sustrato.

Se han usado diferentes tiempos de secado en diferentes investigaciones para detener el crecimiento del micelio por ejemplo el uso del horno durante 2 horas a 60 grados Celsius (Haneef et al., 2017), Secándolo a 60 grados Celsius durante 8 horas (Holt et al., 2012) y el uso del horno a una temperatura mayor a 70 grados Celsius hasta alcanzar una humedad del 5% (Travaglini et al., 2013).

Se midieron los pesos y dimensiones de los cilindros húmedos antes de ser metidos al horno. Los cilindros fueron medidos por medio de un Pie de Rey tal como se muestra en la Ilustración 73.



Ilustración 73 Medición de dimensiones de cilindro de micelio

Se registro el peso, altura y diámetro de los cilindros, tomando 3 datos de cada uno y realizando un promedio debido a las irregularidades de la superficie de los cilindros. para los cilindros de micelio en semillas de maicillo.

Una vez obtenido el peso, altura y diámetro inicial de todos los cilindros, se procedió a ingresarlos en el horno tal como se muestra en la Ilustración 74.



Ilustración 74 Secado del micelio al horno

Luego de 4 horas se sacaron los cilindros del horno y se procedió a volver a medir la altura, diámetro y peso.

4.5.13 ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL MICELIO

Una vez seco el micelio, se procedió a someter a los cilindros al ensayo de compresión para determinar su resistencia máxima y módulo de Young y así mismo determinar su grafica de esfuerzo-deformación. Para la prueba de compresión se utilizó la norma ASTM D350. Las pruebas de compresión fueron realizadas a una velocidad de 5 mm/min aplicándole gradualmente una carga para registrar su deformación.

4.5.13.1 Prueba de compresión

Se sometieron los 3 cilindros al ensayo de compresión en una prensa de carga HM-5030 la cual se encuentra en el Laboratorio de ingeniería Civil de UNITEC colocando una placa de metal en la parte superior de los cilindros para aplicar la carga de manera uniforme y centrando el cilindro en la maquina tal como se muestra en la Ilustración 75 Cabe mencionar que los cilindros contaban con una superficie irregular en la parte superior.



Ilustración 75 Colocación de micelio en máquina de compresión

Una vez colocado y centrado, se procedió a realizar la prueba y a registrar su deformación a medida se le aplicaba una carga tal como se muestra en la Ilustración 76

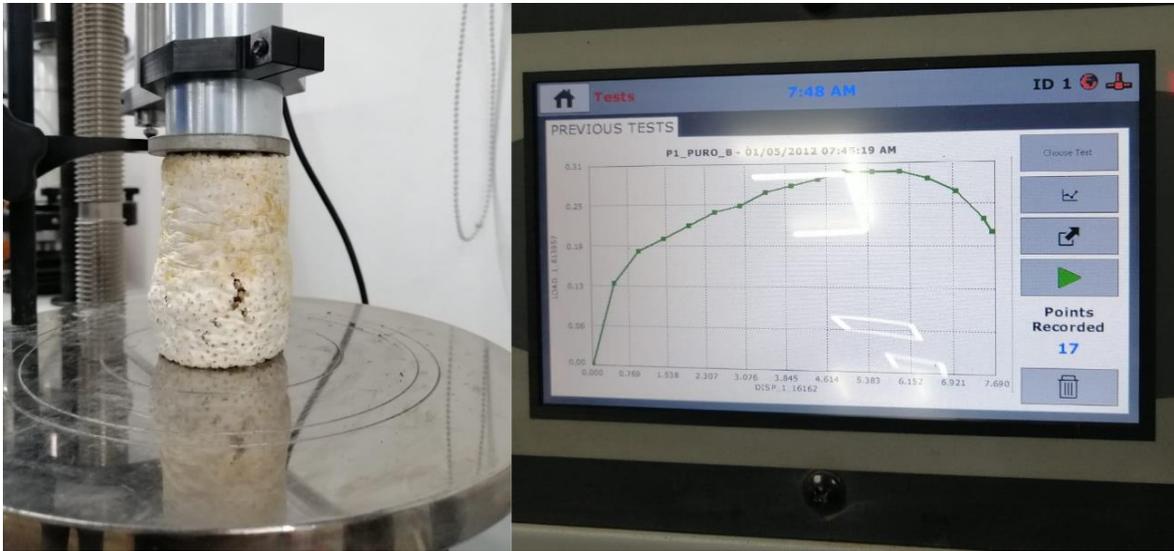


Ilustración 76 Registro de deformación de micelio

Los datos registrados serán utilizados para determinar la gráfica de esfuerzo-deformación y determinar la resistencia máxima del micelio en semillas de maicillo. En la se puede observar el fallo en los cilindros una vez terminado el ensayo.



Ilustración 77 Fallo de cilindros de micelio

4.5.13.2 *Ensayo de absorción de humedad*

Para el ensayo de absorción se utilizaron 2 cilindros adicionales de micelio cultivado en semillas de maicillo secados durante 4 horas a 60 °C en el horno y se registraron los pesos previos a ser sumergidos en agua.



Ilustración 78 Peso de cilindro de micelio antes de sumersión en agua

se sumergieron en un balde agua durante 24 horas. Para mantenerlos sumergidos debido a la densidad que poseen, los cilindros se amarraron por medio de nylon a pesas de acero colocadas dentro del balde tal como se muestra en la Ilustración 78.



Ilustración 79 Cilindros de micelio sumergidos en agua

Una vez pasadas las 24 horas se procedió a retirarlos del agua y secarlos superficialmente por medio de una toalla como en la Ilustración 80.



Ilustración 80 Secado del micelio una vez sumergido en agua durante 24 horas.

Como último paso se registraron de nuevo los pesos en una balanza.



Ilustración 81 Peso de cilindros humedecidos durante 24 horas

V RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1.1 ANÁLISIS DE SUSTRATOS

Se determinó que el aserrín de Caoba obtenido tiene un tamaño de partículas entre los 9.53 mm y los 0.074mm y el aserrín de Pino un tamaño de partículas entre los 19.1 mm y 0.074 mm.

Luego del tamizado de los sustratos se utilizaron los siguientes tamaños de partículas para el cultivo del micelio de *Ganoderma Lucidum*.

Tabla 20 Características de sustratos

Sustratos utilizados		
Fuente	Tipo	Tamaño de partículas (mm)
Semilla	Maicillo	3
Aserrín	Caoba	< 4.75
	Pino	< 4.75

5.1.2 SECADO DEL MICELIO

Como dimensiones y pesos iniciales de las probetas de micelio cultivado en semillas de maicillo se registraron los siguientes valores:

Tabla 21 Pesos y dimensiones de cilindros de micelio en semillas de maicillo

Cilindro	Peso de cilindro con micelio (g)	Altura (cm)	Altura promedio (cm)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Volumen (cm ³)
1	207.02	11.36	11.36	5.7	5.68	287.38
		11.34		5.67		
		11.365		5.66		
2	190.93	11.15	11.14	5.6	5.63	276.92
		11.10		5.63		
		11.16		5.65		
3	206.97	10.90	11.00	5.66	5.67	277.42
		11.00		5.64		
		11.1		5.70		

Una vez secado el material al horno durante 4 horas se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 22 Pesos y dimensiones de cilindros a las 4 horas de secado al horno

Cilindro	Peso de cilindro con micelio (g) a las 4 horas	Altura (cm)	Altura promedio	Diámetro (cm)	Diámetro promedio (cm)	Volumen (cm ³)	Porcentaje de contracción
1	161.33	10.72	10.69	5.415	5.38	243.39	15.31%
		10.7		5.37			
		10.66		5.365			
2	159.53	10.635	10.64	5.44	5.43	246.74	10.90%
		10.69		5.5			
		10.6		5.36			
3	175.45	11.10	10.97	5.4	5.41	251.93	9.19%
		10.85		5.48			
		10.97		5.34			

Teniendo como promedio un porcentaje de contracción de 11.8 % secado al horno a 60 °C durante 4 horas.

De las dimensiones y peso de las probetas se obtuvieron los pesos unitarios del material vistos en la Tabla 22.

Tabla 23 Peso unitario de probetas

Cilindro	Peso de cilindro con micelio (g)	Volumen (cm ³)	Peso unitario / Densidad (g/cm ³)	Peso unitario promedio (g/cm ³)
1	161.33	243.39	0.663	0.669
2	159.53	246.74	0.647	
3	175.45	251.93	0.696	

5.1.3 CRECIMIENTO DEL MICELIO EN SUSTRATOS

Se registro el crecimiento del micelio cultivado en aserrín de Caoba a una temperatura promedio de 26.55 °C y se observó un leve crecimiento superficial a lo largo de las dos semanas, crecimiento que puede observarse en la Ilustración 82.



Ilustración 82 Monitoreo de crecimiento del micelio en aserrín de Caoba

Así mismo se registró el crecimiento del micelio cultivado en aserrín de Pino a una temperatura 26.02 °C en donde se observó un mayor crecimiento superficial del micelio como el mostrado en la Ilustración 83.



Ilustración 83 Monitoreo de crecimiento del micelio en aserrín de Pino

Una vez pasadas las dos semanas, se observó una aglomeración parcial del micelio con el aserrín tanto de Caoba como de Pino. En la Ilustración 84 se puede observar un resumen del crecimiento del micelio en semillas de maicillo, aserrín de Caoba y aserrín de Pino.



Ilustración 84 Resultados del crecimiento del micelio a los 14 días

Una vez colocados en los moldes cilíndricos durante 7 días, se observó un crecimiento total del micelio en las semillas de maicillo, sin embargo también se pudo observar un crecimiento del micelio reducido en los aserrines de Pino y de Caoba, desmoronándose al tacto lo que nos indica la falta de crecimiento del micelio en su interior y exterior tal como se muestra en la Ilustración 85 donde se muestra los cilindros de aserrín de Pino, aserrín de Caoba y semillas de maicillo respectivamente.



Ilustración 85 Crecimiento de micelio en moldes cilíndricos

5.1.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO DE PROBETAS DE MICELIO.

5.1.4.1 Prueba de compresión

Luego de realizarse las pruebas de compresión a las probetas de micelio cultivado en semillas de maicillo, se extrajo la información que el equipo utilizado brindo. Esta información es la carga aplicada y la deformación obtenida, para lo cual se obtuvo el esfuerzo, mediante estas cargas y las áreas medidas en las probetas a las 4 horas de secado en el horno.

La información obtenida de la máquina de compresión para la probeta no.1 se presenta en la Tabla 24.

Tabla 24 Resultados de ensayo de resistencia a compresión en probeta no. 1

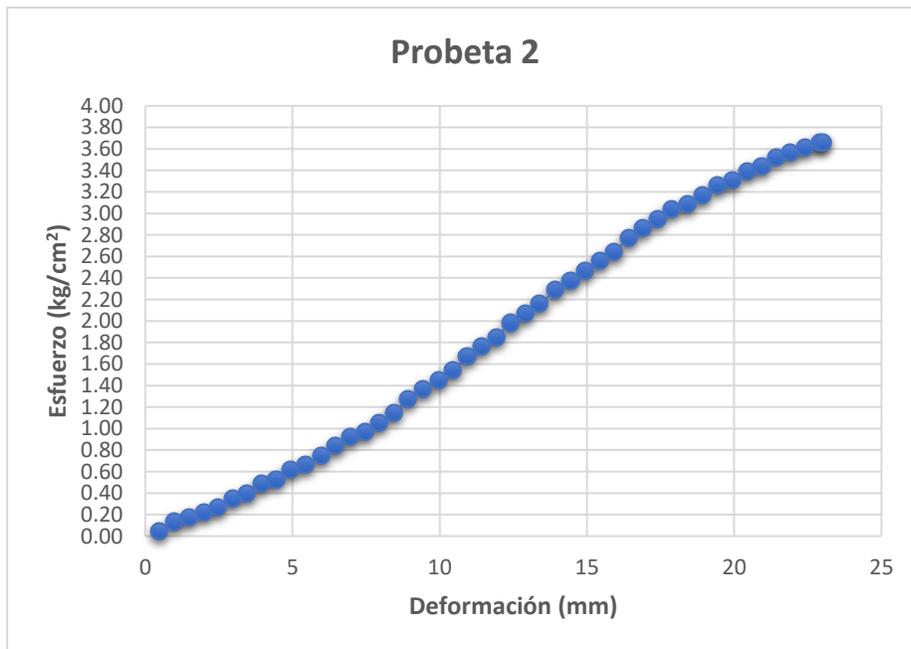
N	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	Diámetro (cm)	Área probeta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
1	0.67	68.3210	5.38	22.73	3.01	15.479
2	0.72	73.4196	5.38	22.73	3.23	15.982
3	0.74	75.4590	5.38	22.73	3.32	16.484
4	0.76	77.4984	5.38	22.73	3.41	16.99
5	0.78	79.5378	5.38	22.73	3.50	17.491
6	0.79	80.5576	5.38	22.73	3.54	17.985
7	0.81	82.5970	5.38	22.73	3.63	18.471
8	0.82	83.6167	5.38	22.73	3.68	18.97
9	0.83	84.6364	5.38	22.73	3.72	19.469
10	0.84	85.6561	5.38	22.73	3.77	19.971
11	0.84	85.6561	5.38	22.73	3.77	20.47
12	0.84	85.6561	5.38	22.73	3.77	20.975
13	0.83	84.6364	5.38	22.73	3.72	21.486
14	0.81	82.5970	5.38	22.73	3.63	21.99
15	0.77	78.5181	5.38	22.73	3.45	22.477
16	0.75	76.4787	5.38	22.73	3.36	22.621

Con los datos de la Tabla 24 se obtuvo la gráfica de esfuerzo-deformación tal como se muestra en la Gráfica 4.



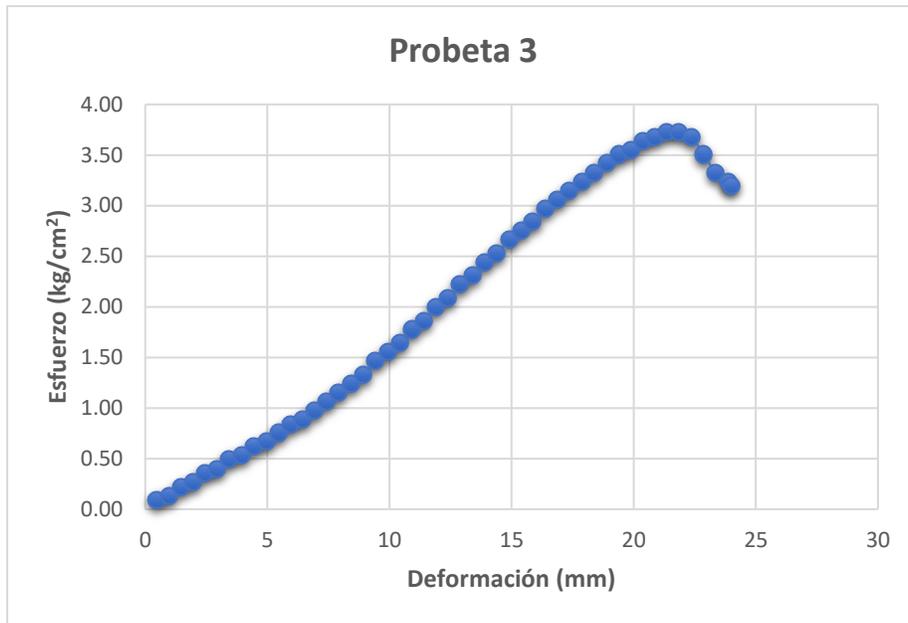
Gráfica 4 Esfuerzo-deformación unitario en probeta de micelio de semillas de maicillo no. 1

Para la probeta no. 2 se muestran los resultados obtenidos en el Anexo 4. Con esta información se generó la gráfica de esfuerzo deformación unitaria, señalando que, para este caso, debido a limitaciones por parte del equipo y la deformación del material de la probeta, no se alcanzó a registrar en su totalidad la lectura de carga aplicada y deformación de la probeta no.2.



Gráfica 5 Esfuerzo-deformación unitario en probeta de micelio de semilla de maicillo no. 2

De igual forma, para la probeta no. 3 se presentan los resultados en el Anexo 4. Realizando la gráfica de esfuerzo-deformación observada en la Gráfica 6.



Gráfica 6 Esfuerzo-deformación unitario en probeta de micelio de semilla de maicillo no. 3

De las gráficas de esfuerzo-deformación se determinó el esfuerzo máximo por cilindro y posteriormente se realizó un promedio de la resistencia máxima alcanzada, teniendo como resultados los mostrados en la Tabla 25.

Tabla 25 Resistencia máximo del micelio en maicillo

Cilindro	Resistencia (kg/cm ²)
1	3.77
2	3.65
3	3.73
Resistencia promedio (kg/cm ²)	3.72

Teniendo un resultado de resistencia máxima promedio de 3.72 kg/cm² (0.36 Mpa).

Como comparativa entre el resultado de resistencia a la compresión obtenido junto con investigaciones pasadas, se muestra una tabla resumen con las siguientes resistencias a compresión:

Tabla 26 Resistencia a la compresión de diferentes tipos de micelio

Tipo de sustrato	Especie de Hongo	Resistencia a la compresión (Mpa)
Residuos de Lino	<i>Trametes Versicolor</i>	0.31
Cañamo Picado	<i>Trametes Versicolor</i>	0.77
Lino picado	<i>Trametes Versicolor</i>	1.18
Virutas de madera de pino	<i>Trametes Versicolor</i>	0.14
Semillas de Maicillo	<i>Ganoderma Lucidum</i>	0.36

Elaboración propia. Fuente: (Elsacker et al., 2019)

5.1.4.2 Módulo de Young

Con los datos de esfuerzo y deformación obtenidos, se determinó el módulo de Young promedio del material teniendo el siguiente resultado:

Tabla 27 Módulo de Young promedio

Cilindro	Módulo de Young (MPa)
1	1.43
2	1.53
3	1.73
Promedio	1.57

5.1.4.3 Ensayo de absorción

Como resultados del ensayo de absorción se determinaron los pesos secos y humedecidos una vez sumergido en agua durante 24 horas y el porcentaje de absorción. Resultados los cuales pueden observarse en la Tabla 28.

Tabla 28 Porcentaje de absorción

Cilindro	Peso de cilindro seco (g)	Peso de cilindro humedecido (g)	% de absorción
A1	144.17	185.9	28.94
A2	150.82	192.96	27.94
Porcentaje de absorción promedio			
28.44			

5.1.5 COMPARATIVA DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN CON MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONALES

Para poder estimar el uso que se le puede dar a este material hecho a base de micelio, teniendo en consideración únicamente la resistencia obtenida, se realizó un análisis comparativo con algunos de los materiales de construcción más comunes, los cuales se presenta en la Tabla 29.

Tabla 29 Resistencia a compresión de materiales de construcción comunes

Material	Resistencia a compresión en kg/cm²	Resistencia a compresión en lb/in²	Resistencia a compresión en MPa
Concreto	200-350	2844.67-4978.17	19.61-34.32
Ladrillo	80-250	1137.87-3555.84	7.85-24.52
Madera de pino	180-260	2560.2-3698.07	17.65-25.50
Adobes (cañazas)	25-35	355.584-497.82	2.45-3.43
BTC (Bloques de Tierra Comprimida)	40-120	568.934-1706.8	3.92-11.77
Panel de escayola	32.53-83.72	462.69-1190.77	3.19-8.21
Micelio en semillas de maicillo	3.72	52.91	0.36

Elaboracion propia Fuente: (IMZA, 2021) y (Ramírez & García, 2011)

(Micelio - EcuRed, s/f)

(Cómo hacer compost con residuos orgánicos | Hablando en Vidrio, s/f)

(Peróxido de hidrógeno, s/f)

VI CONCLUSIONES

A partir del trabajo desarrollado, se ha realizado un aporte sobre la introducción al conocimiento de los biomateriales, teniendo como punto de referencia el análisis de las propiedades mecánicas, procesos de fabricación y posibles usos como material sostenible del micelio en semillas de maicillo y micelio combinado con aserrín de caoba y de pino respectivamente.

1. Se han usado fuentes secundarias de investigación por medio de las cuales se ha encontrado que una de las características principales que posee el micelio en cuanto a su crecimiento, es la capacidad que tiene de desarrollarse en tamaño microscópico o en estructuras visibles, llegando a crecer 1mm por hora en condiciones óptimas. Se ha realizado la combinación del micelio del "*Ganoderma Lucidum*" con 2 tipos de sustrato: aserrín de Caoba y aserrín de Pino, encontrándose en ambos casos un bajo crecimiento desde el momento del traspaso de las bolsas de polipropileno a los moldes cilíndricos determinando que a pesar de su falta de crecimiento el micelio de *Ganoderma Lucidum* reacciona como un conglomerante tanto en aserrín de Pino como de Caoba.
2. A partir de condiciones no controladas, con temperaturas promedio registradas entre los 26 ± 2 °C, y haciendo uso de moldes prefabricados, se ha determinado que es posible replicar el proceso constructivo y de cultivo de materiales de micelio de *Ganoderma Lucidum* en semillas de maicillo, aserrín de Caoba y aserrín de Pino, encontrándose que, con un tiempo de crecimiento de 2 semanas el micelio coloniza completamente las semillas de maicillo, volviendo a crecer y conglomerarse en 1 semana más dentro de los moldes. Debido a una falta de desarrollo y adherencia del micelio en los sustratos de Caoba y Pino, no se han podido someter a pruebas de compresión y se ha realizado únicamente para los 3 cilindros correspondientes a micelio cultivado en semillas de maicillo. Determinado que el tipo de sustrato utilizado afectara el crecimiento y propiedades del micelio.

3. Han sido fabricados 9 cilindros, de los cuales solo a los 3 correspondientes a micelio cultivado en semillas de maicillo fue posible realizarles la prueba de compresión, obteniéndose una resistencia máxima de 0.36 MPa, observando una resistencia menor que la obtenida en investigaciones pasadas utilizando diferentes tipos de sustratos y otras especies de hongos. En este sentido se aprecia que la diferencia en cuanto a la resistencia a compresión varía según el tipo de hongo utilizado en el proceso desarrollado.
4. Se ha encontrado que el micelio cultivado en semillas de maicillo es un material liviano, alcanzando una densidad de 0.669 gr/cm^3 , lo cual lo convierte en un material con alta capacidad de flotabilidad. Este material posee cambios de volumen significativos, con porcentajes de contracción que van desde 9 hasta 15%, indicándose a su vez la baja de peso que posee al aplicársele una fuente de calor mayor a la temperatura ambiente. Además, este material es susceptible a deformarse y fallar con bajas cantidades de carga, lo cual lo hace poco competitivo para ser usado con fines estructurales. Su uso podría especificarse en paredes interiores de encerramiento de tipo no estructural dado las bajas capacidades de compresión del material.

VII RECOMENDACIONES

1. Utilizar otros tipos de sustratos en combinación de nutrientes donde se haya encontrado, por medio de investigaciones pasadas, un crecimiento óptimo del micelio de *Ganoderma Lucidum* y así mismo utilizar diferentes tipos de especies de micelio para evaluar su crecimiento y propiedades mecánicas
2. Replicar el procedimiento de cultivo de micelio en condiciones de temperatura y humedad controlada para comparar su crecimiento y colonización del sustrato con el micelio cultivado a temperatura ambiente. Utilizar un método de esterilización diferente al utilizado en esta investigación para determinar procedimientos simplificados de la producción de materiales hechos a base de micelio.
3. Realizar pruebas de flexión y tracción al micelio cultivado en semillas de maicillo y en otros tipos de sustrato para tener una mejor recolección de datos de las propiedades mecánicas que este tipo de materiales de micelio pueden llegar a tener.
4. Realizar una comparación de la resistencia a la compresión del micelio con otros tipos de materiales no estructurales utilizados en la industria de la construcción, realizando un completo análisis de sus propiedades mecánicas y similitudes.

BIBLIOGRAFÍA

- 3D Printing Wood and Mycelium Composites for Sustainable Building*. (2022, abril 5). AZoM.Com. <https://www.azom.com/news.aspx?newsID=5872052479411.pdf>. (s/f). Recuperado el 17 de agosto de 2022, de <https://core.ac.uk/download/pdf/52479411.pdf>
- A House Made From Mushrooms? An Artist Dreams of a Fungal Future*. (s/f). KQED. Recuperado el 20 de agosto de 2022, de <https://www.kqed.org/quest/71171/a-house-made-from-mushrooms-an-artist-dreams-of-a-fungal-future>
- adminreinarsa. (2016, diciembre 2). Construcciones con concreto. *Reinar S.A.* <https://www.reinarsa.com/2016/12/02/construcciones-con-concreto/>
- AEC. (s/f). *AEC - Residuos de construccion*. Recuperado el 27 de agosto de 2022, de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/residuos-de-construccion>
- Agora. (2017, mayo 21). Un software calcula impacto ambiental de la construcción. *Agora: Inteligencia Colectiva para la Sostenibilidad*. <https://www.agorarsc.org/14211-2/>
- Amiel Pérez, J. (2007). Las variables en el método científico. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(3), 171–177.
- ANDECE. (2019). *Guía-Técnica-Muros-de-bloques-y-ladrillos-de-hormingón.V1.pdf*. <https://www.andece.org/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa-T%C3%A9cnica-Muros-de-bloques-y-ladrillos-de-horming%C3%B3n.V1.pdf>
- Apive. (2020, febrero 28). Construcción Sostenible: Edificios que brillan son Luz Propia en Latinoamérica. *Apive*. <https://apive.org/construccion-sostenible-edificios-que-brillan-son-luz-propia-en-latinoamerica/>
- Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>

- Arcus Global. (2016, febrero 26). *Conoce el cemento Portland y sus aplicaciones* / Arcus Global. <https://www.arcus-global.com/wp/conoce-el-cemento-portland-y-sus-aplicaciones/>
- Arista, G., & Aguillón, J. (2016, abril). *Impactos ambientales de los materiales de construcción. Aplicación de la metodología ACV*. https://www.researchgate.net/publication/337725002_Impactos_ambientales_de_los_materiales_de_construccion_Aplicacion_de_la_metodologia_ACV
- Arkiplus. (2018, septiembre 11). Características de un buen ladrillo. *Arkiplus*. <https://www.arkiplus.com/caracteristicas-de-un-buen-ladrillo/>
- ASALE, R.-, & RAE. (s/f). *Micelio* / *Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado el 27 de agosto de 2022, de <https://dle.rae.es/micelio>
- ASALE, R.-, & RAE. (2021a). *Esterilizar* / *Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/esterilizar>
- ASALE, R.-, & RAE. (2021b). *Incubar* / *Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/incubar>
- Aslam, M. S., Huang, B., & Cui, L. (2020). Review of construction and demolition waste management in China and USA. *Journal of Environmental Management*, 264, 110445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110445>
- Asturmex, S. en. (2018, diciembre 18). *Construcción sostenible y arquitectura ecológica*. Puertas Asturmex. <https://puertasasturmex.com/construccion-sostenible-arquitectura-ecologica/>
- Baca, L. F. G. (2007). Arquitectura en tierra Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural*, 20(2), Art. 2. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8976>
- Bargues, J. L. F. (2014). *Metodología para la Dirección Ambiental de Obra en Obras de Edificación*. 17.
- Batra, P., Sharma, A. K., & Khajuria, R. (2013). Probing Lingzhi or Reishi medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* (higher Basidiomycetes): A bitter mushroom with amazing

health benefits. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 15(2), 127–143.
<https://doi.org/10.1615/intjmedmushr.v15.i2.20>

Betancourt Rodríguez, S., Artiles Castro, M., & Ravelo Romero, L. (2017). *Materiales para la construcción*. <https://elibro.net/es/ereader/elibrodemo/176902>

Botero, G. J. (s/f). *Materiales de construcción*. 115.

Canal 22 México [@canal22]. (2019, abril 26). *Tierra arcillosa, fibras vegetales, estiércol animal y mucha agua, son los ingredientes ancestrales para formar ladrillos de adobe. “Métodos originarios”, hoy 18:00h. <https://t.co/UUALB1ztgP> [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/canal22/status/1121791055244840965>*

CANNABRIC. (2009). *Cemento natural | catálogo | CANNABRIC*. http://www.cannabric.com/catalogo/cemento_natural_/

Cementos Cibao. (2017, agosto). *Que es el ladrillo y tipos de ladrillos | Cementos Cibao*. <https://www.cementoscibao.com/ladrillo-tipos-ladrillos/>

CEMEX España. (s/f). *Clínker | CEMEX España*. Recuperado el 17 de agosto de 2022, de <https://www.cemex.es/productos-y-soluciones/clinker>

CMICAC. (2018, diciembre). *IMPACTO AMBIENTAL DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN – CMICAC*. <https://cmiac.com/2018/12/13/impacto-ambiental-durante-el-proceso-de-construccion/>

Coloma Hohlberg, V. S. (2021a). *Uso de material a base de micelio para la elaboración de componente prefabricado que resulte compatible con construcciones sustentables: Construcción de Centro de Interpretación y Turismo en Bahía Exploradores*. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/62940>

Coloma Hohlberg, V. S. (2021b). *Uso de material a base de micelio para la elaboración de componente prefabricado que resulte compatible con construcciones sustentables: Construcción de Centro de Interpretación y Turismo en Bahía Exploradores*. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/62940>

Cómo hacer compost con residuos orgánicos | Hablando en Vidrio. (s/f). Recuperado el 13 de noviembre de 2022, de <https://hablandoenvidrio.com/el-compost-o-como-convertir-tus-residuos-organicos-en-abono-natural/>

Cuchí, A., Wadel, G., López, F., & Sagrera, A. (2007). *Guía de la eficiencia energética para Administradores de Fincas*. Fundación Gas Natural.

Definición del cambio climático | ONG Manos Unidas. (s/f). Recuperado el 2 de agosto de 2022, de <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/definicion-cambio-climatico>

Definition of SUBSTRATE. (s/f). Recuperado el 20 de agosto de 2022, de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/substrate>

Dirección Nacional de Construcción. (2010). *Edificaciones Antisísmicas de Adobe*. http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Manuales_guias/MANUAL%20ADOBE.pdf

EAFIT. (s/f). *¿Qué es la contaminación?* Recuperado el 27 de agosto de 2022, de <https://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/Paginas/que-es-la-contaminacion.aspx>

EcoHabitar. (2020, enero 18). *Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida*. EcoHabitar. <https://ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>

E-Construir. (s/f). *Materiales de construcción, definición y clasificación*. Recuperado el 27 de agosto de 2022, de <http://e-construir.com/materiales/>

Efecto invernadero y cambio climático—Medio ambiente—Portal del Gobierno de La Rioja. (s/f). Recuperado el 29 de julio de 2022, de <https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/calidad-aire-cambio-climatico/cambio-climatico/efecto-invernadero/efecto-invernadero-cambio-climatico>

Elsacker, E. (2021). *MYCELIUM MATTERS - An interdisciplinary exploration of the fabrication and properties of mycelium-based materials*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23578.77764>

Elsacker, E., Vandeloock, S., Brancart, J., Peeters, E., & Laet, L. D. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLOS ONE*, *14*(7), e0213954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>

Ennomotive. (s/f). *Producción de cemento: Cómo reducir las emisiones de CO2*. Recuperado el 30 de julio de 2022, de <https://www.ennomotive.com/es/produccion-de-cemento>

Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, *29*(3), 234–254. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>

Espacio de Crianza—María Mallo. Dra. Arquitecta, docente, diseñadora y autoproductora. (s/f). Recuperado el 28 de julio de 2022, de <https://mariamallo.com/filter/Bio/Breeding-Space>

Fazli Wan Nawawi, W. M., Lee, K.-Y., Kontturi, E., Murphy, R. J., & Bismarck, A. (2019). Chitin Nanopaper from Mushroom Extract: Natural Composite of Nanofibers and Glucan from a Single Biobased Source. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *7*(7), 6492–6496. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00721>

Flores, P. (2021). La construcción sostenible en Latinoamérica. *Limaq*, *007*, Art. 007.

Fuentes, I. (2020, junio). *Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: Biocomposite en sustrato lignocelulósicos.* https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf

Fuentes-Cantillana Monereo, I. (2020, junio). *Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: Biocomposite en sustratos lignocelulósicos* [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S. Arquitectura (UPM). <https://oa.upm.es/63507/>

Gama Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi Puig, T., Alcalá Martínez, R., Cabadas Báez, H., Sánchez Pérez, S., López Aguilar, F., & Vilanova de Allende, R. (2012). Arquitectura de tierra: El adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, *64*(2), 177–188. <https://doi.org/10.18268/BSGM2012v64n2a3>

Ganoderma lucidum (—) / SIB, Parques Nacionales, Argentina. (s/f). Sistema de Información de Biodiversidad. Recuperado el 21 de agosto de 2022, de <https://sib.gob.ar/especies/ganoderma-lucidum>

Gareca, M., Andrade, M., Pool, D., Barrón, F., & Villarando, H. (2020). NUEVO MATERIAL SUSTENTABLE: LADRILLOS ECOLÓGICOS A BASE DE RESIDUOS INORGÁNICOS. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 18(21), 25–61.

Garmendia Salvador, A. (2010). *Evaluación de impacto ambiental*. Pearson-Prentice Hall.

Gendrop-diccionario-de-arquitectura-mesoamericana.pdf. (s/f). Recuperado el 5 de agosto de 2022, de <https://urbanitasite.files.wordpress.com/2020/01/gendrop-diccionario-de-arquitectura-mesoamericana.pdf>

Gomá, F. (1979). *El cemento Portland y otros aglomerantes*. Reverte.

González Velandia, K. D., Sánchez Bernal, R., Pita Castañeda, D. J., & Pérez Navarro, L. F. (2019). Caracterización de las propiedades mecánicas de un ladrillo no estructural de tierra como soporte de material vegetal en muros verdes. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(3), 1–9. <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2019.20n3.030>

Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports*, 7, 41292. <https://doi.org/10.1038/srep41292>

Hartmann, L. (2009). *Alemán: Ziegel der Legio XXII Primigenia im Saalburgmuseum*. Propio trabajo. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:200910311030MEZ_Saalburg-Museum,_Ziegel_der_Legio_XXII.jpg

Hernández, A. V., Agudelo, H. A., & Cardona, D. A. R. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105–117.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Holt, G., McIntyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J., & Pelletier, M. (2012). Fungal Mycelium and Cotton Plant Materials in the Manufacture of Biodegradable Molded

Packaging Material: Evaluation Study of Select Blends of Cotton Byproducts. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, *J. Biobased Mater. Bioenergy*, 431–439. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2012.1241>

Hongos comestibles medicinales Sustratos.pdf. (s/f). Recuperado el 19 de agosto de 2022, de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/856/1/Hongos%20comestibles%20medicinas%20Sustratos.pdf>

HORCALSA. (2020, mayo 6). Beneficios de los morteros de CAL. *Horcalsa*. <https://www.horcalsa.com/blog/beneficios-de-los-morteros-de-cal/>

Hy-Fi, The Organic Mushroom-Brick Tower Opens At MoMA's PS1 Courtyard. (2014, junio 27). ArchDaily. <https://www.archdaily.com/521266/hy-fi-the-organic-mushroom-brick-tower-opens-at-moma-s-ps1-courtyard>

IMZA, A. (2021, noviembre 17). *COMPARATIVA DE RESISTENCIA DE MATERIALES ESTRUCTURALES*. IMZA Arquitectura. <https://www.imzaarquitectura.com/post/comparativa-de-resistencia-de-materiales-estructurales>

Instron. (2022). *¿Qué es el ensayo de compresión?* <http://www.instron.com/es-ar/resources/test-types/compression-test>

Insulation Grown From Fungi. (2014, febrero 9). ArchDaily. <https://www.archdaily.com/473052/insulation-grown-from-funghi>

Interempresas. (2017, noviembre). *LA UE quiere ahorrar 7.500 millones de euros cada año gestionando mejor los residuos de la construcción y demolición*. Interempresas. <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/203812-UE-quiere-ahorrar-7500-millones-euros-cada-ano-gestionando-mejor-residuos-construccion.html>

IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

- ITeC. (2006). *Guía general de buenas prácticas ambientales para el jefe de obra*. Servicio Editorial del ITeC. https://itec.es/servicios/librospdf/pdfs/Gu%C3%ADa%20general%20de%20buenas%20pr%C3%A1cticas%20ambientales%20para%20el%20jefe%20de%20obra_ITeC_2006.pdf
- Jones, M., Huynh, T., & John, S. (2018). Inherent species characteristic influence and growth performance assessment for mycelium composite applications. *Advanced Materials Letters*, 9(1), 71–80. <https://doi.org/10.5185/amlett.2018.1977>
- KIT para cultivo de hongos en casa*. (s/f). micelio.com.gt. Recuperado el 20 de agosto de 2022, de <https://www.micelio.com.gt/products/paquete-para-cultivo-de-hongos-en-casa>
- Lelivelt, R., Lindner, G., Teuffel, P., & Lamers, H. (2015). *THE PRODUCTION PROCESS AND COMPRESSIVE STRENGTH OF MYCELIUM- BASED MATERIALS*. 7.
- Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2010). An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. *Building and Environment*, 45(3), 766–775. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.010>
- Limited, A. (2018, abril). *Yeso en construcción albañilería trabajador hacer muro de hormigón por bloques de cemento Fotografía de stock—Alamy*. <https://www.alamy.es/yeso-en-construccion-albanileria-trabajador-hacer-muro-de-hormigon-por-bloques-de-cemento-image231332139.html>
- Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. A. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 38, 872–878. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011>
- Manejo de Residuos en Obras de Construcción. (s/f). *Maat®*. Recuperado el 3 de agosto de 2022, de <https://www.maat.com.co/manejo-de-residuos-en-obras-de-construccion/>
- Mañá, F., González i Barroso, J. M., Sagrera i Cuscó, A., & Díez Bernabé, G. (2000). *Minimización y gestión de residuos de la construcción: Proyecto life 89*. ITEC.
- Martín, F. M. (1996). *Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico*. Editorial Complutense.

Micelio en pellets de seta reishi, Ganoderma lucidum. (s/f). Plantamus Vivero online. Recuperado el 6 de agosto de 2022, de <https://plantamus.com/micelio-en-pellets-de-seta-reishi-ganoderma-lucidum-bd69/>

Micelio—EcuRed. (s/f). Recuperado el 13 de noviembre de 2022, de <https://www.ecured.cu/Micelio>

Molina, N. F., Tarifa, O. I. F., & Mendoza, L. V. (2015). Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), Art. 2. <https://doi.org/10.18359/rcin.1434>

Montoya, J. D. N. (s/f). *Caracterización morfológica y molecular del género Ganoderma en zonas.* 97.

Morel, J. C., Mesbah, A., Oggero, M., & Walker, P. (2001). Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment*, 36(10), 1119–1126. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00054-8)

Mycelium | fungus filament | Britannica. (s/f). Recuperado el 19 de agosto de 2022, de <https://www.britannica.com/science/mycelium>

Mycelium tectonics. (s/f). mycelium tectonics. Recuperado el 19 de agosto de 2022, de <http://mycelium-tectonics.com/>

Mycelium_Running.pdf. (s/f). Recuperado el 19 de agosto de 2022, de https://library.uniteddiversity.coop/Permaculture/Mycelium_Running.pdf

Nieto, I. J., & Chegwin A, C. (2010). Influencia del sustrato utilizado para el crecimiento de hongos comestibles sobre sus características nutraceuticas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12(1), 169–178.

Ortega, A. (2015). *Materiales sostenibles para la edificación. Estado de la cuestión.* 102.

Pérez, J., & Gardey, A. (2021). *Definición de sustrato—Definicion.de.* Definición.de. <https://definicion.de/sustrato/>

Pérez, & Merino, M. (2022). *Definición de inocular—Definicion.de.* Definición.de. <https://definicion.de/inocular/>

- Rivera Torres, J. C. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: Caracterización con fines estructurales. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2), 164–181.
- Rodríguez, N., & Jaramillo, C. (2005). *Cultivo de hongos medicinales en residuos agrícolas de la zona cafetera*. 73.
- Salamanca, R. (2001). *Aplicación del Cemento Portland y los Cementos Adicionados*. <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101005.pdf>
- Salvador, C. (s/f). Familia de las Cales. *ANCADE*. Recuperado el 16 de agosto de 2022, de <https://www.ancade.es/familia-de-las-cales/>
- Sanjuan Barbudo, M. ??ngel, & Chinchón Yepes, S. (2014). *Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland*. <https://lectura.unebook.es/viewer/9788497173056>
- Schwartz, A. (2013, julio 8). *This Tiny House Was Grown From Mushrooms*. Fast Company. <https://www.fastcompany.com/2682486/this-tiny-house-was-grown-from-mushrooms>
- SciELO. (2019). *Biblioteca Científica Electrónica en Línea—Logo SciELO*. <https://scielo.org/es> Esta imagen vectorial no especificada por el W3C se creó con Inkscape . https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SciELO_logo.svg
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018, agosto). *Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental*. gob.mx. <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>
- SERNA. (2010). *Segunda Comunicación Nacional del Gobierno de Honduras ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/honnc2.pdf>
- Servei Estació. (2022, enero 2). Biomateriales de construcción: Definición y tipos. *Servei Estació*. <https://serveiestacio.com/blog/biomateriales-de-construccion-definicion-y-tipos/>
- Sfera. (2012, marzo 31). Problemas ambientales en Centroamérica. Causas y efectos directos. *Sfera Proyecto Ambiental*. <https://sferaproyectoambiental.org/2012/03/31/problemas-ambientales-en-centroamerica-causas-y-efectos-directos/>

Significados. (s/f). *Significado de Mezclas homogéneas*. Significados. Recuperado el 27 de agosto de 2022, de <https://www.significados.com/mezcla-homogenea/>

Strong, Safe, Warm, Secure in a Mushroom House. (2013, noviembre 23). *Climate Denial Crock of the Week*. <https://climatecrocks.com/2013/11/23/strong-safe-warm-secure-in-a-mushroom-house/>

Tejada Schmidt, U. (2001). *63690383-Buena-Tierra-Apuntos-para-el-Diseno-Contruccion-con-ADOBE-1.pdf* (1a ed.). Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional. <https://cidap.org.pe/wp-content/uploads/63690383-Buena-Tierra-Apuntos-para-el-Diseno-Contruccion-con-ADOBE-1.pdf>

The mechanical possibilities of mycelium materials. (s/f). Eindhoven University of Technology Research Portal. Recuperado el 3 de septiembre de 2022, de <https://research.tue.nl/en/studentTheses/the-mechanical-possibilities-of-mycelium-materials>

Tramontina Olla a Presión 9 Litros. (s/f). Recuperado el 3 de septiembre de 2022, de <https://www.pricessmart.com/site/tt/es/pagina-producto/2888>

Travaglini, S., Noble, J., Ross, P. G., & Dharan, H. (2013). Mycology matrix composites. *28th Annual Technical Conference of the American Society for Composites 2013, ASC 2013, 1*, 517–535.

US EPA, O. (2015, junio 10). *Ecovative, US EPA SBIR Award Recipient: Innovation with Mushroom Insulation* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/sbir/ecovative-us-epa-sbir-award-recipient-innovation-mushroom-insulation>

Vásquez, K. (2008). *Horno para hacer ladrillos de arcilla* [Photo]. <https://www.flickr.com/photos/kevinvasquez/2828700475/>

vhbazanm. (2020, diciembre 26). El Diseñador de Stanford Fabrica Ladrillos con Hongos de Rápido Crecimiento que Son Más Fuertes que el Concreto. *Good News Network*. <https://www.goodnewsnetwork.org/arco-de-ladrillos-de-hongo-de-micelio/>

Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Navales, M. G. (2016). El protocolo de investigación IV: Las variables de estudio. *Revista Alergia México*, *63*(3), 303–310. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i3.199>

Viveur, B. (s/f). *Qué es y cómo funciona una olla a presión*. Recuperado el 3 de septiembre de 2022, de <https://www.bonviveur.es/preguntas/que-es-y-como-funciona-una-olla-a-presion>

Tabla 31 Acta de Asesoramiento 2

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO: Bloques de micelio de hongo cultivado en clima tropical versus bloques de adobe como materiales de construcción sostenibles.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Francisco Alejandro Lanza	11941390
Jorge David Centeno	11811182

ASESORAMIENTO	N°: <u>1</u>
ASESOR: Ing. Julio César López Zerón	
1. Realizar un ensayo de absorción de bloques convencionales a los 3 moldes hechos en forma de bloque	
2 Utilizar los 9 moldes cilíndricos para los ensayos a compresión y averiguar venta de bloques de adobe para ver la posibilidad de someterlos a compresión	
3	_____
4	_____
5	_____
6	_____
7	_____
8	_____
9	_____
10	_____
FIRMA DELASESOR	SEIIO
Fecha: <u>06/08/2022</u>	

Tabla 32 Acta de Asesoramiento 3

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Bloques de micelio como materiales de construcción sostenible

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Francisco Alejandro Lanza Alvarado	11941390
Jorge David Centeno Aguilar	11811182

ASESORAMIENTO	Nº: <u>3</u>
ASESOR: Juan Carlos Reyes Zúniga	
1. El ensayo de compresión a realizar será mediante la máquina "Prensas de Carga HM-5030", debido a que ofrece más información y el margen de toma de lecturas es más preciso	
2	_____
3	_____
4	_____
5	_____
6	_____
7	_____
8	_____
9	_____
10	_____
FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
Fecha: <u>12/08/2022</u>	

Tabla 33 Acta de Asesoramiento 4

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Bloques de micelio como materiales de construcción sostenible

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Francisco Alejandro Lanza Alvarado	11941390
Jorge David Centeno Aguilar	11811182

ASESORAMIENTO	Nº: <u>4</u>
ASESOR: Juan Carlos Reyes Zúniga	
1. Quitar la comparación directa con los bloques de adobe, debido a la poca facilidad de obtención de información relacionada a <u>investigaciones previas</u> o bien la compra del bloque como tal.	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
FIRMA DELASESOR	SEIIO
Fecha: <u>19/08/2022</u>	

Tabla 34 Acta de Asesoramiento 5

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Bloques de micelio como materiales de construcción sostenible

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Francisco Alejandro Lanza Alvarado	11941390
Jorge David Centeno Aguilar	11811182

ASESORAMIENTO	Nº: <u>5</u>
ASESOR: Juan Carlos Reyes Zúniga	
1. Colocar de manera general el procedimiento de tamizado del sustrato	
2. Mantener un mínimo de 3 probetas de cada tipo de combinación con sustrato	
3. _____	
4. _____	
5. _____	
6. _____	
7. _____	
8. _____	
9. _____	
10. _____	
FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>26/08/2022</u>

Tabla 35 Acta de Asesoramiento 6

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

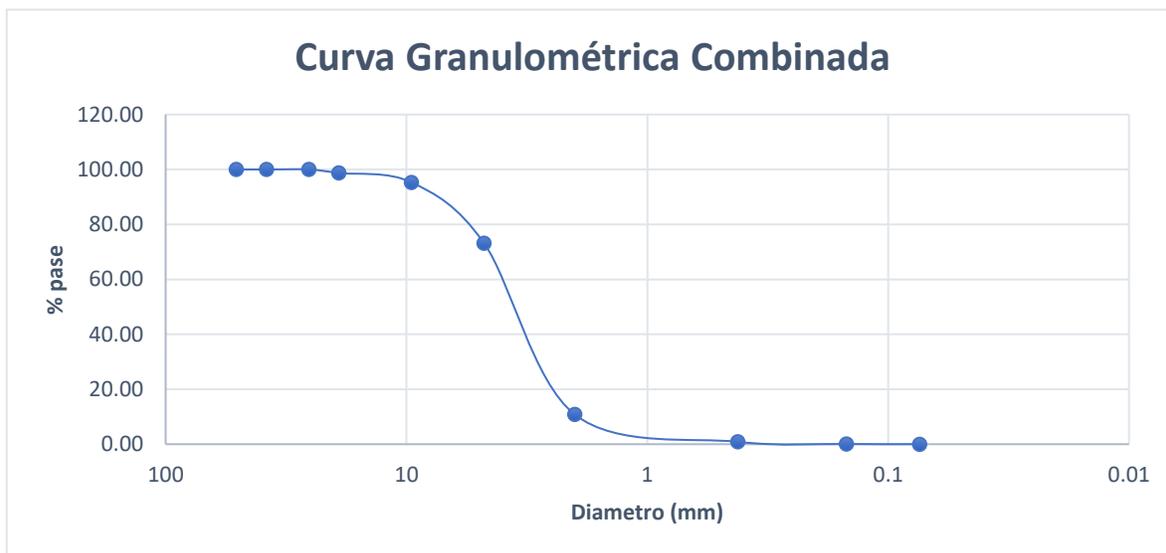
Bloques de micelio como materiales de construcción sostenible

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Francisco Alejandro Lanza Alvarado	11941390
Jorge David Centeno Aguilar	11811182

ASESORAMIENTO	Nº: 6
ASESOR: Juan Carlos Reyes Zúniga	
1. Verificar con fuentes secundarias las temperaturas recomendadas en el procedimiento de secado, para evitar quemar el sustrato	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
Fecha: <u>14/09/2022</u>	

ANEXO 2 TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE ASERRÍN DE PINO



Gráfica 7 Curva granulométrica combinada de aserrín de Pino

ANEXO 3 MONITOREO DE TEMPERATURAS DURANTE CRECIMIENTO DE MICELIO

Se registro la temperatura ambiente durante el crecimiento del micelio en aserrín de Caoba durante la primera y segunda semana, resultados los cuales pueden ser observados en la Tabla 36 y Tabla 37.

Tabla 36 Monitoreo de temperatura de aserrín de Caoba en semana 1

Día	Hora	Temperatura (°C)	Temperatura promedio (°C)
24/8/2022	9:00 a.m.	28.8	27.93
	1:00 p.m.	29.8	
	9:00 p.m.	25.2	
25/8/2022	9:00 a.m.	26.4	26.90
	1:00 p.m.	27.5	
	9:00 p.m.	26.8	
26/8/2022	9:00 a.m.	25.0	26.63
	1:00 p.m.	27.6	
	9:00 p.m.	27.3	

Día	Hora	Temperatura (°C)	Temperatura promedio (°C)
27/8/2022	9:00 a.m.	25.4	26.57
	1:00 p.m.	27.5	
	9:00 p.m.	26.8	
28/8/2022	9:00 a.m.	26.4	27.40
	1:00 p.m.	29.5	
	9:00 p.m.	26.3	
29/8/2022	9:00 a.m.	27.6	27.80
	1:00 p.m.	28.6	
	9:00 p.m.	27.2	
30/8/2022	9:00 a.m.	26.9	26.13
	1:00 p.m.	26.5	
	9:00 p.m.	25.0	

Tabla 37 Monitoreo de temperatura de aserrín de caoba en semana 2

Día	Hora	Temperatura (°C)	Temperatura promedio (°C)
31/8/2022	9:00 a.m.	25.9	26.43
	1:00 p.m.	27.6	
	9:00 p.m.	25.8	
1/9/2022	9:00 a.m.	25.0	25.27
	1:00 p.m.	25.7	
	9:00 p.m.	25.1	
2/9/2022	9:00 a.m.	25.6	25.77
	1:00 p.m.	25.9	
	9:00 p.m.	25.8	
3/9/2022	9:00 a.m.	25.0	25.80
	1:00 p.m.	25.8	
	9:00 p.m.	26.6	
4/9/2022	9:00 a.m.	26.3	26.50
	1:00 p.m.	26.6	
	9:00 p.m.	26.6	
5/9/2022	9:00 a.m.	25.9	26.37

Día	Hora	Temperatura (°C)	Temperatura promedio (°C)
	1:00 p.m.	26.1	
	9:00 p.m.	27.1	
6/9/2022	9:00 a.m.	25.9	26.20
	1:00 p.m.	26.7	
	9:00 p.m.	26.0	

Así mismo, se registró la temperatura ambiente durante el crecimiento del micelio en aserrín de Pino durante la primera y segunda semana, resultados los cuales pueden ser observados en la Tabla 38 y Tabla 39.

Tabla 38 Monitoreo de temperatura de aserrín de pino en semana 1

Día	Hora	Temperatura (°C)	Temperatura promedio (°C)
7/9/2022	9:00 a.m.	26.0	26.50
	1:00 P.m.	26.9	
	9:00 p.m.	26.6	
8/9/2022	9:00 a.m.	25.9	26.43
	1:00 P.m.	27.6	
	9:00 p.m.	25.8	
9/9/2022	9:00 a.m.	25.0	25.27
	1:00 P.m.	25.7	
	9:00 p.m.	25.1	
10/9/2022	9:00 a.m.	25.8	25.83
	1:00 P.m.	25.9	
	9:00 p.m.	25.8	
11/9/2022	9:00 a.m.	25.0	26.07
	1:00 P.m.	26.6	
	9:00 p.m.	26.6	
12/9/2022	9:00 a.m.	26.3	26.50
	1:00 P.m.	26.6	
	9:00 p.m.	26.6	
13/9/2022	9:00 a.m.	26.2	26.40

	1:00 P.m.	26.6	
	9:00 p.m.	26.4	

Tabla 39 Monitoreo de temperatura de aserrín de pino en semana 2

Día	Hora	Temperatura (°C)	Temperatura promedio (°C)
14/9/2022	9:00 a.m.	25.4	25.80
	1:00 P.m.	26.1	
	9:00 p.m.	25.9	
15/9/2022	9:00 a.m.	25.9	26.20
	1:00 P.m.	26.7	
	9:00 p.m.	26.0	
16/9/2022	9:00 a.m.	25.0	25.27
	1:00 P.m.	25.7	
	9:00 p.m.	25.1	
17/9/2022	9:00 a.m.	25.4	25.83
	1:00 P.m.	26.1	
	9:00 p.m.	26.0	
18/9/2022	9:00 a.m.	25.4	25.87
	1:00 P.m.	26.2	
	9:00 p.m.	26.0	
19/9/2022	9:00 a.m.	26.1	26.3
	1:00 P.m.	26.6	
	9:00 p.m.	26.2	
20/9/2022	9:00 a.m.	26	26.13
	1:00 P.m.	26.5	
	9:00 p.m.	25.9	

ANEXO 4 RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN

Tabla 40 Resultados de ensayo de resistencia a compresión en probeta no. 2

N	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	Diámetro (cm)	Área probeta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
1	0.01	1.0197	5.43	23.16	0.04	0.481
2	0.03	3.0591	5.43	23.16	0.13	0.997

N	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	Diámetro (cm)	Área probeta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
3	0.04	4.0789	5.43	23.16	0.18	1.492
4	0.05	5.0986	5.43	23.16	0.22	1.987
5	0.06	6.1183	5.43	23.16	0.26	2.478
6	0.08	8.1577	5.43	23.16	0.35	2.976
7	0.09	9.1774	5.43	23.16	0.40	3.462
8	0.11	11.2169	5.43	23.16	0.48	3.949
9	0.12	12.2366	5.43	23.16	0.53	4.443
10	0.14	14.2760	5.43	23.16	0.62	4.945
11	0.15	15.2957	5.43	23.16	0.66	5.455
12	0.17	17.3352	5.43	23.16	0.75	5.967
13	0.19	19.3746	5.43	23.16	0.84	6.469
14	0.21	21.4140	5.43	23.16	0.92	6.965
15	0.22	22.4338	5.43	23.16	0.97	7.46
16	0.24	24.4732	5.43	23.16	1.06	7.947
17	0.26	26.5126	5.43	23.16	1.14	8.434
18	0.29	29.5718	5.43	23.16	1.28	8.923
19	0.31	31.6112	5.43	23.16	1.37	9.44
20	0.33	33.6506	5.43	23.16	1.45	9.96
21	0.35	35.6901	5.43	23.16	1.54	10.453
22	0.38	38.7492	5.43	23.16	1.67	10.935
23	0.4	40.7886	5.43	23.16	1.76	11.43
24	0.42	42.8281	5.43	23.16	1.85	11.92
25	0.45	45.8872	5.43	23.16	1.98	12.412
26	0.47	47.9267	5.43	23.16	2.07	12.899
27	0.49	49.9661	5.43	23.16	2.16	13.402
28	0.52	53.0252	5.43	23.16	2.29	13.932
29	0.54	55.0647	5.43	23.16	2.38	14.447
30	0.56	57.1041	5.43	23.16	2.47	14.935
31	0.58	59.1435	5.43	23.16	2.55	15.437
32	0.6	61.1830	5.43	23.16	2.64	15.93
33	0.63	64.2421	5.43	23.16	2.77	16.414
34	0.65	66.2815	5.43	23.16	2.86	16.891
35	0.67	68.3210	5.43	23.16	2.95	17.384
36	0.69	70.3604	5.43	23.16	3.04	17.885
37	0.7	71.3801	5.43	23.16	3.08	18.415
38	0.72	73.4196	5.43	23.16	3.17	18.926
39	0.74	75.4590	5.43	23.16	3.26	19.439
40	0.75	76.4787	5.43	23.16	3.30	19.942

N	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	Diámetro (cm)	Área probeta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación (mm)
41	0.77	78.5181	5.43	23.16	3.39	20.442
42	0.78	79.5378	5.43	23.16	3.43	20.941
43	0.8	81.5773	5.43	23.16	3.52	21.425
44	0.81	82.5970	5.43	23.16	3.57	21.91
45	0.82	83.6167	5.43	23.16	3.61	22.404
46	0.83	84.6364	5.43	23.16	3.65	22.905
47	0.83	84.6364	5.43	23.16	3.65	23.003

Tabla 41 Resultados de ensayo de resistencia a compresión en probeta no. 3

N	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	Diámetro (cm)	Área probeta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	mm
1	0.02	2.0394	5.41	22.99	0.09	0.47
2	0.03	3.0591	5.41	22.99	0.13	0.972
3	0.05	5.0986	5.41	22.99	0.22	1.471
4	0.06	6.1183	5.41	22.99	0.27	1.956
5	0.08	8.1577	5.41	22.99	0.35	2.436
6	0.09	9.1774	5.41	22.99	0.40	2.939
7	0.11	11.2169	5.41	22.99	0.49	3.431
8	0.12	12.2366	5.41	22.99	0.53	3.939
9	0.14	14.2760	5.41	22.99	0.62	4.457
10	0.15	15.2957	5.41	22.99	0.67	4.963
11	0.17	17.3352	5.41	22.99	0.75	5.452
12	0.19	19.3746	5.41	22.99	0.84	5.951
13	0.2	20.3943	5.41	22.99	0.89	6.447
14	0.22	22.4338	5.41	22.99	0.98	6.923
15	0.24	24.4732	5.41	22.99	1.06	7.417
16	0.26	26.5126	5.41	22.99	1.15	7.918
17	0.28	28.5520	5.41	22.99	1.24	8.419
18	0.3	30.5915	5.41	22.99	1.33	8.923
19	0.33	33.6506	5.41	22.99	1.46	9.427
20	0.35	35.6901	5.41	22.99	1.55	9.93
21	0.37	37.7295	5.41	22.99	1.64	10.416
22	0.4	40.7886	5.41	22.99	1.77	10.908
23	0.42	42.8281	5.41	22.99	1.86	11.394
24	0.45	45.8872	5.41	22.99	2.00	11.891
25	0.47	47.9267	5.41	22.99	2.08	12.383
26	0.5	50.9858	5.41	22.99	2.22	12.889
27	0.52	53.0252	5.41	22.99	2.31	13.393
28	0.55	56.0844	5.41	22.99	2.44	13.901
29	0.57	58.1238	5.41	22.99	2.53	14.401
30	0.6	61.1830	5.41	22.99	2.66	14.9
31	0.62	63.2224	5.41	22.99	2.75	15.381
32	0.64	65.2618	5.41	22.99	2.84	15.87
33	0.67	68.3210	5.41	22.99	2.97	16.367
34	0.69	70.3604	5.41	22.99	3.06	16.864
35	0.71	72.3998	5.41	22.99	3.15	17.359
36	0.73	74.4393	5.41	22.99	3.24	17.871
37	0.75	76.4787	5.41	22.99	3.33	18.375
38	0.77	78.5181	5.41	22.99	3.42	18.886

N	Carga aplicada (kN)	Carga aplicada (kg)	Diámetro (cm)	Área probeta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	mm
39	0.79	80.5576	5.41	22.99	3.50	19.384
40	0.8	81.5773	5.41	22.99	3.55	19.882
41	0.82	83.6167	5.41	22.99	3.64	20.375
42	0.83	84.6364	5.41	22.99	3.68	20.861
43	0.84	85.6561	5.41	22.99	3.73	21.357
44	0.84	85.6561	5.41	22.99	3.73	21.858
45	0.83	84.6364	5.41	22.99	3.68	22.362
46	0.79	80.5576	5.41	22.99	3.50	22.863
47	0.75	76.4787	5.41	22.99	3.33	23.363
48	0.73	74.4393	5.41	22.99	3.24	23.87
49	0.72	73.4196	5.41	22.99	3.19	24.008