

DISEÑO DE PANEL NO ESTRUCTURAL A PARTIR DEL MICELIO DE HONGO
APLICADO EN UNA VIVIENDA RURAL

María Camila Ruiz Ortiz

Lizeth Vanessa Mican Aguirre



Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2023

**Diseño de Panel no Estructural a Partir del Micelio de Hongo Aplicado en una
Vivienda Rural**

María Camila Ruiz Ortiz y Lizeth Vanessa Mican Aguirre

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecta

Directora

Arq. Mg. Claudia Mónica Castro Martínez

Docente e Investigadora Facultad de Arquitectura UGC

Asesora

Arq. Liliana Rocio Patiño

Docente e Investigadora Facultad de Arquitectura UGC

Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2023

Tabla de Contenido

Resumen	15
Abstract	16
Introducción	17
Objetivos.....	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO I. Formulación del Problema	19
ÁRBOL DE PROBLEMAS	21
PREGUNTA PROBLEMA	22
JUSTIFICACIÓN	23
HIPÓTESIS	26
CAPÍTULO II. Marcos de Referencia	27
ANTECEDENTES	27
<i>The Living. HY – FI Tower</i>	27
<i>MycoWorks. Polyominoes:</i>	28
<i>AFJD Research. The grow without us:</i>	29
<i>Vesaluoma + Studio. Grow structures:</i>	30
<i>MycoTech, MycoTree:</i>	31
MARCO TEÓRICO.....	32
<i>Alternativas de Biomateriales para la Sustitución Parcial del Concreto para Reducir el Impacto Ambiental</i>	32
<i>Propuesta para la Fabricación de Adoquines en Morteros Mezclados con Cascarilla de Arroz para uso en la Construcción</i>	34
<i>Sistema de Cubierta a Partir del uso del Totumo Crescentia curcubina para Vivienda en la Vereda El Cairo-Las Brisas, Municipio de Saldaña, Tolima</i>	37

Uso de Materiales Alternativos para Mejorar la Resistencia del Mortero de pega de Mampostería

<i>Estructural (fibra de fique)</i>	40
MARCO REFERENCIAL.....	42
<i>Mushrooms Tiny House: Taylor Foster, James.</i>	42
<i>Elaboración de Paneles Termoaislantes para Cubierta a Partir de Fibras de Bagazo de la Caña de Azúcar</i>	44
<i>Entropía Aislante Termoacústico a Partir de Fique, Micelio y Heno.</i>	47
MARCO CONCEPTUAL.....	48
<i>Mapa de conceptos</i>	51
MARCO LEGAL	51
<i>Aislamiento Acústico</i>	52
<i>Aislamiento Térmico</i>	52
<i>Medio Ambiente</i>	53
<i>Norma de Construcción Sismo Resistente</i>	55
<i>Norma de Ensayos en Laboratorio</i>	56
CAPÍTULO III. Metodología	57
RECURSOS PARA CONSTRUIR EL INVERNADERO	58
<i>Proceso de Construcción del Invernadero 1.30 × 1.90 × 2.10 m</i>	58
RECURSOS PARA EL CULTIVO I	65
PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS PANELES EN MICELIO DE 33 × 28 CM.....	67
<i>Proceso de Crecimiento de los Paneles de 33 × 28 cm</i>	73
<i>Proceso de Desmolde y Secado de los Paneles de 33 × 28 cm</i>	85
<i>Conclusiones preliminares</i>	87
<i>Recursos para el cultivo II</i>	89
<i>Proceso de construcción de los paneles en micelio de 30 × 30 cm y 50 × 50 cm</i>	91
<i>Proceso de crecimiento de los paneles de 30 × 30 cm y 50 × 50 cm</i>	98

<i>Proceso de desmolde y secado de los paneles de 30 × 30 cm</i>	104
CAPÍTULO IV: Análisis y Discusión de Resultados	107
PRUEBA DE AISLAMIENTO TÉRMICO	107
PRUEBA DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	119
PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	127
PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	138
CAPÍTULO V. Sistema de Instalación de Paneles	146
<i>Diseño del panel</i>	147
Conclusiones.....	159
Recomendaciones.....	160
Referencias	161

Lista de Figuras

Figura 1 Árbol de problemas22

Figura 2 Torre Hy-Fi tower.....28

Figura 3 Bocetos disposición de la estructura Hy-Fi Tower.....28

Figura 4 Polyminoes: bloques en micelio29

Figura 5 The grow without us.....30

Figura 6 Vesalunoma+studio: Grow structure.....31

Figura 7 Mycotree32

Figura 8 Bagazo de caña de azúcar.....34

Figura 9 Guadua34

Figura 10 Prototipo adoquín mezclado con mortero y ceniza de cascarilla de arroz.....36

Figura 11 Sección teja en totumo Crescentia curcubina38

Figura 12 Teja en totumo Crescentia curcubina terminada39

Figura 13 Gráfica comparativa comportamiento de las muestras de fibras naturales con mortero41

Figura 14 Detalle estructural muro Mushroom Tiny House43

Figura 15 Mushroom Tiny House43

Figura 16 Mushroom Tiny House en Nueva York44

Figura 17 Paneles de 30 × 30 × 1 cm de cemento y bagazo de caña de azúcar.47

Figura 18 Muestra micelio inoculado en fique y Heno.....48

Figura 19 Mapa de conceptos51

Figura 20 Instalación de tubos de PVC. Paso 2.....60

Figura 21 Instalación tubos de PVC. Paso 3.....61

Figura 22 Instalación Tubos de PVC. Paso 462

Figura 23 Instalación tubos de PVC Paso 5.....62

Figura 24 Instalación Tubos de PVC Paso 563

Figura 25 Instalación tubos PVC Paso 7.....63

Figura 26 Instalación invernadero Paso 8.....	64
Figura 27 Proceso de primer cultivo paso 1	67
Figura 28 Proceso de Primer Cultivo Paso 2.....	67
Figura 29 Proceso de primer cultivo paso 4	68
Figura 30 Proceso de primer cultivo paso 7	68
Figura 31 Proceso de primer cultivo paso 8	69
Figura 32 Proceso de primer cultivo paso 9	69
Figura 33 Distribución de sustratos para primer cultivo	70
Figura 34 Distribución de micelio para primer cultivo	70
Figura 35 Preservación de paneles para primer cultivo	70
Figura 36 Distribución del sustrato para primer cultivo con paneles de fique y de fique y cascarilla de arroz	71
Figura 37 Proceso de distribución de sustrato para primer cultivo con paneles de cascarilla de arroz	71
Figura 38 Proceso de distribución de micelio para paneles de fique y cascarilla de arroz	72
Figura 39 Preservación de paneles para primer cultivo de fique y cascarilla de arroz.....	72
Figura 40 Distribución de elementos de almacenamiento para paneles de primer cultivo.....	72
Figura 41 Elementos de recubrimiento para preservar primer cultivo	73
Figura 42 Distribución del espacio para primer cultivo	73
Figura 43 Primera revisión de primer cultivo	74
Figura 44 Primera revisión del primer cultivo. Avance de paneles de cascarilla	74
Figura 45 Segunda revisión del primer cultivo	74
Figura 46 Segunda revisión del primer cultivo. Avance de paneles de 2.5 cm.....	75
Figura 47 Tercera revisión del segundo cultivo	75
Figura 48 Tercera revisión del primer cultivo. Detalle de unión de micelio	75
Figura 49 Tercera revisión del primer cultivo para paneles contaminados	76
Figura 50 Tercera revisión del primer cultivo para paneles no contaminados	76
Figura 51 Cuarta revisión del primer cultivo	76

Figura 52 Cuarta revisión del primer cultivo. Detalle paneles de cascarilla de arroz.....77

Figura 53 Cuarta revisión del primer cultivo. Crecimiento de micelio computado.....77

Figura 54 Cuarta revisión del primer cultivo. Detalle de crecimiento compactado77

Figura 55 Cuarta revisión del primer cultivo. Avance de los paneles en general78

Figura 56 Quinta revisión del primer cultivo. Detalle del crecimiento de los paneles en las esquinas.....78

Figura 57 Quinta revisión del primer cultivo. Detalle de crecimiento de micelio en los bordes.....78

Figura 58 Quinta revisión. Primer cultivo avance de paneles de 5 cm.....79

Figura 59 Quinta revisión. Detalle de fractura en los paneles de cascarilla de arroz.....79

Figura 60 Sexta revisión del primer cultivo79

Figura 61 Sexta revisión del primer cultivo. Detalle de los paneles con mayor humedad.....80

Figura 62 Sexta revisión primer cultivo. Avance de los paneles contaminados.....80

Figura 63 Séptima revisión del primer cultivo.....80

Figura 64 Séptima revisión del primer cultivo. Detalle de micelio compacto80

Figura 65 Séptima revisión del primer cultivo. Detalle de crecimiento de micelio alrededor de la semilla81

Figura 66 Séptima revisión del primer cultivo. Detalle de crecimiento de micelio en toda la superficie81

Figura 67 Séptima revisión del primer cultivo. Detalle de manchas de humedad81

Figura 68 Séptima revisión del primer cultivo. Avance de paneles en general81

Figura 69 Octava revisión primer cultivo. Detalle de crecimiento del micelio.....82

Figura 70 Octava revisión del primer cultivo. Detalle del micelio compactado82

Figura 71 Octava revisión del primer cultivo. Avance del crecimiento superficial del micelio82

Figura 72 Novena revisión del primer cultivo.....83

Figura 73 Novena revisión del primer cultivo. Detalle de los paneles de 2.5 cm.....83

Figura 74 Novena revisión del primer cultivo. Detalle de la diferencia de crecimiento del micelio por caras83

Figura 75 Novena revisión del primer cultivo. Detalle de panel contaminado83

Figura 76 Novena revisión del primer cultivo. Detalle del crecimiento del micelio en las esquinas.....84

Figura 77 Décima revisión del primer cultivo84

Figura 78 Décima revisión del primer cultivo. Detalle del crecimiento del panel de cascarilla de arroz en la cara posterior	84
Figura 79 Panel desmoldado	85
Figura 80 Proceso de desmoldado paso 2	85
Figura 81 Proceso de desmolde paso 3	86
Figura 82 Proceso de desmolde paso 4	86
Figura 83 Uso de horno de aire para proceso de secado	86
Figura 84 Diferencia entre paneles secos y húmedos	87
Figura 85 Elementos para elaboración del molde de 30 × 30 cm	92
Figura 86 Moldes para panel de 30 × 30 cm de diferentes grosores	92
Figura 87 Recubrimiento de moldes de 30 × 30 cm	92
Figura 88 Calentamiento de sustratos para segundo cultivo	93
Figura 89 Separación de sustratos para el segundo cultivo	93
Figura 90 Proceso de limpieza de moldes para el segundo cultivo	94
Figura 91 Sustrato de costal de fique para el segundo cultivo	94
Figura 92 Sustrato de cartón para el segundo cultivo	95
Figura 93 Distribución de semillas de micelio para el segundo cultivo	95
Figura 94 Sustrato de fibra de fique para el segundo cultivo	95
Figura 95 Continuación del segundo cultivo por capas	96
Figura 96 Organización de los costales de fique para recubrir el panel en el segundo cultivo	96
Figura 97 Proceso de sellado para el segundo cultivo	96
Figura 98 Organización de paneles dentro del invernadero	98
Figura 99 Primera revisión del segundo cultivo	98
Figura 100 Primera revisión del segundo cultivo. Avance de crecimiento del micelio	98
Figura 101 Primera revisión del segundo cultivo. Detalle de humedad interna	99
Figura 102 Primera revisión del segundo cultivo. Avance del crecimiento del micelio para paneles de fique	99

Figura 103 Segunda revisión del segundo cultivo	100
Figura 104 Segunda revisión del segundo cultivo. Avance del crecimiento del micelio	100
Figura 105 Segunda revisión del segundo cultivo. Avance del crecimiento del micelio	100
Figura 106 Segunda revisión del segundo cultivo. Detalle de la forma de crecimiento del micelio	100
Figura 107 Segunda revisión del segundo cultivo. Detalle del crecimiento del micelio.....	101
Figura 108 Segunda revisión del segundo cultivo. Detalle del crecimiento del micelio.....	101
Figura 109 Tercera revisión del segundo cultivo	101
Figura 110 Tercera revisión del segundo cultivo. Avance del crecimiento del micelio	101
Figura 111 Cuarta revisión del segundo cultivo	102
Figura 112 Cuarta revisión del segundo cultivo. Detalle del crecimiento del micelio	102
Figura 113 Cuarta revisión del segundo cultivo. Detalle de mancha de micelio	102
Figura 114 Cuarta revisión del segundo cultivo. Detalle del crecimiento del micelio fuera del molde	102
Figura 115 Cuarta revisión del segundo cultivo. Detalle del crecimiento del micelio en fibra de fique	103
Figura 116 Quinta revisión del segundo cultivo. Detalle del crecimiento del micelio	103
Figura 117 Quinta revisión del segundo cultivo. Detalle de atmósfera interna	103
Figura 118 Quinta revisión del segundo cultivo. Detalle de paneles contaminados	104
Figura 119 Quinta revisión del segundo cultivo. Detalle del crecimiento de la seta.....	104
Figura 120 Organización de paneles en el horno de aire	104
Figura 121 Cámara termográfica	107
Figura 122 Fuente de calor	108
Figura 123 Tomas con la cámara termográfica al minuto uno	108
Figura 124 Mediciones con la cámara termográfica al minuto 15	109
Figura 125 Diferencia de resultados comparado con otros materiales	119
Figura 126 Sonómetro	120
Figura 127 Cajas acústicas	121
Figura 128 Información y almacenamiento de resultados de la prueba acústica	121

Figura 129 Preparación de los paneles para la prueba acústica.....	122
Figura 130 Gráfico de comparación de resultados entre paneles por minuto.....	123
Figura 131 Caja acústica para segundo cultivo.....	124
Figura 132 Páneles del segundo cultivo listos para la prueba acústica	124
Figura 133 Prueba acústica de los paneles en micelio segundo cultivo	125
Figura 134 Gráfica de resultados acústicos comparados con otros materiales	126
Figura 135 Representación de la manera en que se aplican las fuerzas a compresión	127
Figura 136 Marcos de distribución de carga	128
Figura 137 Panel antes de empezar la prueba a compresión.....	128
Figura 138 Gráfico de comparación de resistencia a compresión entre paneles.....	133
Figura 139 Paneles de fique y cascarilla de arroz de 5 cm no compactados internamente.....	134
Figura 140 Gráfico de resultados de la prueba de resistencia a compresión. Cultivo 1 y cultivo 2	138
Figura 141 Representación gráfica de la fuerza aplicada a flexión	139
Figura 142 Marcos para prueba de flexión.....	139
Figura 143 Panel puesto a prueba de flexión	140
Figura 144 Comparación de resultados de prueba a flexión entre todos los paneles	145
Figura 145 Medidas del panel	148
Figura 146 Perfiles macizo tipo 1.....	148
Figura 147 Perfil macizo tipo 2	149
Figura 148 Perfil macizo tipo 3	150
Figura 149 Perfil macizo tipo 4	150
Figura 150 Estructura de instalación completa	151
Figura 151 Estructura de instalación para muro con puerta	152
Figura 152 Estructura de instalación para muro con ventana.....	153
Figura 153 Estructura de instalación para muro con puerta y ventana	154
Figura 154 Estructura de instalación para muro completo – muro con puerta y ventana	155

Figura 155 Unión de perfiles macizos tipo 1 – 2 esquineros156

Figura 156 Unión de perfiles macizos tipo 1 – 2 medios156

Figura 157 Unión de Perfiles Macizos Tipo 2 – Tipo 3 y Tipo 3 – Tipo 4.....157

Figura 158 Detalle de instalación de anclajes de sistema al muro existente157

Lista de Tablas

Tabla 1 *Tabla comparativa adoquín comercial y prototipos de adoquín en cascarilla de arroz*35

Tabla 2 *Tabla informativa elaboración prototipos de paneles en fibras de bagazo de caña de azúcar.*45

Tabla 3 *Tabla comparativa resistencia térmica de materiales*46

Tabla 4 *Tabla de Recursos Instalación de Invernadero*.....58

Tabla 5 *Tabla de recursos para cultivo 1*65

Tabla 6 *Tabla de elementos para el proceso del segundo cultivo*89

Tabla 7 *Porcentaje de humedad de los paneles después del secado*106

Tabla 8 *Tomas con la cámara termográfica para el panel de fique y cascarilla de arroz de 5 cm*109

Tabla 9 *Tomas con la cámara termográfica para el panel de cascarilla de arroz de 5 cm*.....110

Tabla 10 *Tomas con la cámara termográfica para el panel de cascarilla de arroz de 2.5 cm*112

Tabla 11 *Tomas de la cámara termográfica para el panel de fique y cascarilla de arroz de 2.5 cm*112

Tabla 12 *Tomas con la cámara termográfica para el panel de fique y cascarilla de arroz de 5 cm*113

Tabla 13 *Tomas con la cámara termográfica para el panel de fique de 5 cm*115

Tabla 14 *Tomas con la cámara termográfica para el panel de fique y cascarilla de arroz de 2.5 cm*115

Tabla 15 *Tomas con la cámara termográfica para el panel de fique de 2.5 cm*116

Tabla 16 *Tabla de diferencia de temperaturas por panel comparado con otros materiales*.....118

Tabla 17 *Imágenes de resultados para paneles fique/cascarilla de 2.5 cm*129

Tabla 18 *Imágenes de resultados para los paneles de cascarilla de 2.5 cm*129

Tabla 19 *Imágenes de resultados para los paneles de fique/cascarilla de 5 cm*130

Tabla 20 *Imágenes de resultados para los paneles cascarilla 5 cm*131

Tabla 21 *Imágenes de resultados para los paneles de fique de 5 cm*134

Tabla 22 *Imágenes de resultados para los paneles de fique/cascarilla de 2.5 cm*135

Tabla 23 *Imágenes de resultados para los paneles de fique de 2.5 cm*136

Tabla 24 *Imágenes de resultados de paneles de fique de 5 cm*140

Tabla 25 <i>Imágenes de resultados de paneles de fique y cascarilla de arroz de 2.5 cm</i>	141
Tabla 26 <i>Imágenes de resultados para los paneles de fique y cascarilla de arroz de 5 cm</i>	142
Tabla 27 <i>Imágenes de resultados para los paneles de fique de 2.5 cm</i>	143
Tabla 28 <i>Dimensiones comerciales para paneles aislantes</i>	147

Resumen

Actualmente, uno de los principales contaminantes del medio ambiente a nivel global corresponde a la industria de la construcción. La extracción, uso y residuos dejados por los materiales más comunes como el ladrillo y el concreto, han llevado a que se busquen soluciones innovadoras tal como el uso de materiales orgánicos. Es aquí cuando nacen los biomateriales, aquellos que, gracias a su contenido, principalmente orgánico, garantizan que los residuos generados puedan reincorporarse a la naturaleza. El micelio de los hongos es un elemento poco explorado en Colombia. Ha sido probado por micólogos estadounidenses como un material supremamente resistente y maleable que mediante un proceso adecuado que consiste primero en cultivarlo en un sustrato apropiado y posteriormente someterlo a altas temperaturas para evitar su reproducción futura. El producto de este proceso se utiliza como materia prima para crear paneles, bloques, mobiliario, entre otros elementos que se pueden desarrollar en el campo de la arquitectura.

Palabras clave: micelio de hongo, biomaterial, residuos, panel aislante.

Abstract

Currently, one of the main pollutants of the environment at a global level corresponds to the construction industry. The extraction, use and residues left by the most common materials such as brick and concrete have led to the search for innovative solutions, such as the use of organic materials. It is here when biomaterials are born, those that, thanks to their mostly organic content, guarantee that the waste generated can be reincorporated into nature. The fungus mycelium, understood as the roots of fungi, is a material that has been vaguely explored in Colombia. It has been tested by American mycologists as a supremely resistant and malleable material; that, through the ideal treatment of the fungus, when cultivated within the appropriate substrate, and raised to high temperatures to avoid its future reproduction, can be implemented as panels, blocks, furniture, among other elements that can be developed in a fortuitous in the architectural field.

Keywords: fungal mycelium, biomaterial, residues, insulating panel.

Introducción

Hoy por hoy, se ha comenzado a buscar alternativas, métodos, herramientas y materiales que permitan un desarrollo sostenible en la cultura arquitectónica. Es así como aparecen los biomateriales, entendiendo éstos, como elementos cuya constitución, en su mayoría o en su totalidad, corresponde a elementos de origen orgánico. Materiales que evidencian una reducción energética considerable y, algunos de ellos tienen mejores aislamientos acústicos y térmicos en comparación con materiales usados comúnmente como el concreto y el ladrillo.

Para sustentar el propósito del presente proyecto se deben entender de manera teórica los siguientes conceptos, que, implementados de manera adecuada en una edificación, ayudan a proporcionar calidad de vida al ser humano, en donde los espacios cumplan ciertos estándares de confort, que son proporcionados mediante algunos materiales. El primer concepto es el aislamiento acústico, que se entiende como aquel material que se encarga de minimizar al máximo la transmisión de sonidos de un espacio a otro variando entre la geometría, el volumen y la forma del espacio. El segundo es el aislamiento térmico, que reduce los flujos de calor mediante los materiales del edificio.

Finalmente, en pro del bienestar del medio ambiente es necesario que dichos materiales cumplan un estándar importante correspondiente a la eficiencia energética, que significa la disminución del consumo energético de la vivienda desde su elaboración hasta el final de su vida útil, por lo que por medio de la investigación que se lleva a cabo se busca comprobar que el uso de biomateriales en arquitectura sea viable en Colombia gracias a sus propiedades termoacústicas.

Objetivos

Objetivo General

Consolidar un panel en micelio de hongo que funcione como un elemento constructivo no estructural para su implementación en un prototipo de vivienda rural.

Objetivos Específicos

1. Definir las propiedades del hongo *Pleurotus Ostreatus*, sus beneficios, perjuicios, costos y tiempo de reproducción
2. Evaluar el comportamiento del panel en micelio de hongo, concluyendo los beneficios de su implementación en una vivienda rural en términos de resistencia, aislamiento térmico y acústico y de reducción del consumo de energía.
3. Contemplar sus detalles constructivos, considerando su instalación por medio de una cartilla de planos que pueda utilizarse como guía para su uso dentro de un prototipo de vivienda rural.

CAPÍTULO I. Formulación del Problema

La explotación de recursos en el campo de la construcción, como informa el World Watch Institute (2003), consume cerca del 40% de la producción mundial de piedras brutas como grava y arena y el 25% de la madera virgen por año. Por consiguiente y conociendo bien que estas piedras son una de las principales materias primas del concreto, su uso como material constructivo ha llevado a la industria a ser uno de los mayores causantes de deforestación. Adicional a esto Karolina Dobrowolska (2021) nos indica que cerca del 8% de emisiones de CO₂ son producidas al año, a causa de cuatro millones de toneladas de cemento aproximadamente, únicamente en la producción de este, siendo notorias las consecuencias en el cambio climático y el mal uso de recursos no renovables.

Por otro lado, el ladrillo en arcilla a pesar de ser menos contaminante que el cemento, no deja de generar, según Páez (2020) “emisiones de material particulado (PM), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO)” (p.30), gases que al igual que el CO₂ contribuyen al efecto invernadero, contaminando en gran medida los diferentes ecosistemas rurales y urbanos. Colombia al ser uno de los mayores productores de ladrillo en arcilla sumado a la falta de control al momento de su elaboración, el uso de métodos tradicionales y el alto uso de combustibles, incrementa los niveles de polución en el medio ambiente.

Como indica el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la Resolución 0472 del 28 de febrero de 2017, Colombia produce cerca de 22 millones de toneladas de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) al año en las principales ciudades del país, además como indica Buss (2016), las edificaciones consumen el 22% de energía y el 79% del consumo de agua, lo que genera el 10,5% de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Colombia.

Con el propósito de mitigar problemas ambientales como el consumo energético, la emisión de gases de efecto invernadero, la producción de residuos sólidos y líquidos que contaminan el agua, se evidencia la necesidad de implementar materiales de origen natural y sustentables en la industria de la construcción en Colombia. Por lo tanto, el país gracias a su variedad de climas y al ser gran productor agrícola, genera grandes cantidades de residuos orgánicos que hacen viable la implementación de dichos materiales, principalmente en zonas rurales, con el fin de reducir y reutilizar los desechos orgánicos generados por la agricultura.

De esta manera y, dando cabida a materiales existentes ya utilizados como la madera, el corcho y nuevos materiales como el micelio de hongo, cada uno con ventajas y desventajas al momento de implementarse como material de construcción, se busca analizar cuál de estos es el más apto teniendo en cuenta: la contaminación que se genera en su producción, la cantidad de residuos generados, la facilidad de conseguirlos a la hora construir, los costos en el momento de adquisición, etc.

Para comenzar, el primer material es la madera. Es uno de los materiales más utilizados a nivel mundial, tanto para construcciones como para la elaboración de diversas herramientas y elementos como el papel, instrumentos musicales, muebles, juguetes, etc. Su uso en la arquitectura ha sido utilizado desde la parte estructural, hasta recubrimientos, suelos o techos. Al ser un material orgánico es biodegradable no contaminante, sin embargo, su uso sin control ha generado como consecuencia la tala indiscriminada de árboles y la falta de reforestación ha incrementado la erosión del suelo, trayendo como consecuencia, el desequilibrio de los ecosistemas y por ende la producción de gases de efecto invernadero. Colombia, al poseer una parte de la Amazonia, es gran proveedor de este material, sin embargo, en los últimos años la selva amazónica ha sido la mayor víctima de deforestación, no solo a consecuencia de la tala de

árboles, sino también, como indica Green Peace (s.f.), la ampliación de la frontera agropecuaria para el cultivo de soya y la expansión de pastos para la ganadería que son causantes de esta problemática. Como se menciona en el informe de Saving de Amazon (2020), desde el año 1990 al 2018 se han perdido cerca de 427 216 hectáreas en comparación con regiones como la Andina, que ha perdido 91 528 hectáreas, el Pacífico 64 738 hectáreas, el Caribe 52 935 hectáreas y la Orinoquia 52 052 hectáreas.

Por otro lado, el corcho es un material orgánico que corresponde a la corteza del árbol alcornoque, este, aunque no daña la composición de este, el proceso de recuperación de la “piel” se da cada diez años, siendo un intervalo de tiempo considerable al momento de su renovación y posterior utilización. Adicional a esto siendo Portugal y España los mayores productores del corcho, se hace necesaria su importación, lo cual aumenta su valor comercial y dificulta su adquisición.

Por último, el micelio es un material orgánico proveniente de los hongos que en su mayoría son lignícolas (que se alimentan de madera), estos pueden crecer en diferentes ambientes y, al ser organismos vivos, debe cuidarse principalmente del contacto con el agua, puesto que al interactuar con la misma generan nitrógeno con altas probabilidades de producir hongos tóxicos que afectan el material, su estructura y su composición neta. Al igual que el corcho, es un material que en Colombia ha sido casi nulo en su implementación. Por lo anterior, se desarrolla en la presente tesis, el proyecto entorno al micelio del hongo, ya que es un biomaterial económico de elaborar y muy innovador.

Árbol de Problemas

Como complemento de los principales problemas que desencadena la industria de la construcción, en la siguiente imagen se pueden apreciar las causas del uso de materiales

industrializados tales como el concreto, el ladrillo, el plástico, vidrio, entre otros y sus consecuencias a nivel ambiental.

Figura 1

Árbol de problemas.



Nota: Se explican las causas y consecuencias provenientes de la industria de la construcción. Elaboración propia.

Pregunta Problema

Todos los datos encontrados que sugieren una solución llevan a la formulación de una pregunta problema que se convierte en el marco de la investigación entorno a materiales orgánicos. La anterior está expuesta de la siguiente manera:

¿Cómo implementar materiales orgánicos que funcionen como aislantes térmicos y acústicos, además de reducir el consumo energético en una vivienda de rural?

Justificación

Actualmente, debido a la alta contaminación del ecosistema, el aumento de la huella de carbono a nivel mundial, la descongelación de los polos y el deterioro de la capa de ozono producto de los residuos que genera el hombre, ha llevado a concientizar a la industria de la construcción en cuanto al cuidado del medio ambiente. Siendo este uno de los grandes productores de gases de efecto invernadero como el CO₂ correspondiente al 8%. (Linn, 2020, párr. 2). Es importante buscar alternativas de materiales en este sector que no generen grandes cantidades de residuos, y puedan integrarse a la naturaleza luego de que termine su vida útil.

Al tratar los materiales sustentables como la nueva base dentro del campo, el desarrollo de componentes e incluso procesos que involucren los mismos, permitiría desarrollo tecnológico y sustentable para el futuro, disminuyendo el efecto contaminante y por el contrario sea parte del cambio en pro de la mejora bioclimática. Por lo tanto, una alternativa es el uso del micelio de hongo que, por su composición orgánica, no genera grandes cantidades de residuos comparados con materiales comunes.

En términos académicos, el aporte en cuanto a nuevos componentes biodegradables brinda la posibilidad de diferentes aplicaciones dentro de la industria, como se ha probado con anteriores proyectos que utilizan como base el micelio de hongo, tales como las empresas Mycoworks Polyminoes, Vesaluoma + Studio, Grow structures, y Tiny Mushroom House, que prueban la versatilidad de este material en cuanto a su implementación en arquitectura, además de utilizar residuos orgánicos para su reproducción. Por lo contrario, es un material poco explorado en Colombia, de fácil contaminación que lo hace vulnerable a otros agentes externos,

además de necesitar de un proceso de cultivo especial para poder aprovechar de mejor manera sus capacidades. Tomando esto como base, al proponer un panel hecho con este material, es menos complejo el proceso de cultivo, al igual que más económico y de desarrollo rápido del elemento, es entonces donde destacamos que es un material biodegradable, liviano y de fabricación autodidacta.

Pero ¿por qué son importantes los hongos? Los hongos son organismos pluricelulares heterótrofos, es decir que obtienen los nutrientes de otros organismos, siendo su mayor fuente de energía el suelo, encontrando en ella la mayor cantidad de materia orgánica (Cepero de García et al., 2012). Su estructura también llamada micelio, son la reunión de “largos filamentos denominados hifas” (Kuhar et al. 2013, párr. 2) que conforman una estructura densa como redes de conexión en la naturaleza. Es de destacar que no todos los hongos producen micelio, y aquellos que lo producen son llamados “hongos filamentosos”, dentro de esta clasificación los hongos lignícolas se caracterizan por alimentarse de la madera y generar mayor cantidad de estas hifas, a su vez estos son hongos micorrizos que entrelazan sus hifas con las raíces de cualquier planta.

Es así como para esta investigación, se encontró el género *Pleurotus*, que se encuentra principalmente en los tallos de los árboles, por lo cual crecen de forma lateral, cuentan con la característica de generar una seta de gran tamaño, y aquellos de mayor interés comercial no son tóxicos como las especies *Pleurotus djamor*, *ostreatus* y *citrinopileatus*.

Por su parte encontramos que la especie *Pleurotus ostreatus*, es un hongo no nativo de Colombia, su origen está en Asia, que se produce en climas tropicales, en temperaturas entre los 20 °C y los 35 °C, tiene la viabilidad de la simulación de las mismas condiciones en el país. Es por esto y que gracias a sus características como ser de rápido crecimiento, alimentarse de

cualquier sustrato, comestible y por ende no tóxico para la población, consideramos el mejor candidato para su uso base en el desarrollo del panel.

El marco en el que se desarrolla esta investigación parte del estudio de caso en Saldaña, un municipio ubicado en el departamento de Tolima, caracterizado por ser el segundo mayor productor de arroz, cuenta con 5389 unidades de vivienda, de las cuales cerca del 45,7% son viviendas de Centros Poblados y Rurales Dispersos (DANE, 2018), según Fonseca y Saldarriaga (1980) la vivienda rural en Colombia, debe definirse en términos de avance tecnológico que caracteriza las construcciones según el uso de materiales, y los métodos utilizados en las diferentes regiones, dentro de esto es necesario tomar en cuenta:

Tomando esto como base, en Saldaña una gran mayoría de viviendas rurales cuenta con la implementación de estos nuevos materiales, al cambiar la técnica constructiva antigua que utilizaba materiales como el bareque o la paja, se ha dado paso a empeorar bioclimáticamente las viviendas rurales, ya que el uso de esta esa técnica y materiales permitía que se cumpliera con estándares térmicos y acústicos. Por otro lado, el incremento en el uso de tejas en zinc, puertas metálicas y muros construidos en bloque de ladrillo, no cuentan con las mejores propiedades por sí mismas para garantizar los estándares de confort.

Es importante resaltar que el municipio en cuestión registra temperaturas entre los 27 °C y 28 °C, definido además como clima “cálido semihúmedo” y de vasta producción agrícola, esto hace favorable la producción del hongo *Pleurotus Ostreatus*, este se alimentará de cascarilla de arroz, el gran residuo en el lugar pero que permitirá el desarrollo e implementación de paneles aislantes que mejoren la particularidad bioclimática de las viviendas rurales en Saldaña.

Hipótesis

El panel de micelio de hongo de *Pleurotus Ostreatus* al ser un hongo comestible y destacarse por su alta producción, permite junto con el sustrato de cascarilla de arroz reducir el consumo energético, mejora la transmisión acústica y térmica, respecto a otros materiales como el hormigón y el ladrillo dentro de una vivienda rural.

CAPÍTULO II. Marcos de Referencia

Antecedentes

El uso del micelio de hongo ha venido desarrollándose desde cerca de la década del 2000, principalmente en Estados Unidos y Europa, con la intención de investigar la variedad de usos que tiene el material, de esta manera divulgar la información para seguir generando nuevo conocimiento sobre este biomaterial. Es así como se ha llegado a propuestas tales como bloques, estructuras y hasta mobiliario, algunos de los cuales hablaremos a continuación:

The Living. HY – FI Tower

El proyecto Hy-Fi Tower, fue una estructura de 12 m de alto que utilizó cerca de 10 000 bloques de micelio, cada uno de estos mide $47,5 \times 23 \times 10$ cm y pesan aproximadamente una libra. Esta innovación fue realizada en 2007, pero se mostró al público en una exposición temporal de arte de New York hasta el año 2014, al igual que en Chile y en Corea en el 2015.

Es un elemento que se destaca por funcionar de manera ideal en grandes alturas, aun sin contar con un elemento estructural que lo sostenga. Los Ingenieros Indrajeet y Rathi (2018), tomaron en cuenta que para el cultivo de estos bloques se empleó maíz como sustrato, luego, demostraron por medio de pruebas de compresión, eflorescencia y absorción de agua, la viabilidad del uso de los ladrillos, sin embargo, se concluyó que, debido a la falta de normas técnicas, su implementación puede hacerse solo de manera temporal.

densidad y su coeficiente de transmisión térmica, de manera que están directamente relacionados. Los biomateriales deben contar con excelentes valores bioclimáticos para cumplir con su función de aislantes.

Figura 4

Polyminoes: bloques en micelio



Nota: Muestra de Bloque Estructural según su variedad de formas para su implementación en una estructura arquitectónica. Tomado de *A house made from mushrooms? an artist dreams of a fungal future.* por L. Roth. 2014 (<https://www.kqed.org/quest/71171/a-house-made-from-mushrooms-an-artist-dreams-of-a-fungal-future>).

AFJD Research. The grow without us:

Es un proyecto elaborado en su totalidad a base de micelio, cuyo propósito principal es anticipar el final de la vida útil del elemento arquitectónico, puesto que, al momento de su desecho, al ser un material orgánico, no genera contaminación alguna sobre el medio ambiente. El proyecto se desarrolló con el hongo *Pleurotus* y el sustrato serrín. Generando bloques de $20 \times 20 \times 30$ cm probados en un muro de 2 m de altura. Fue necesario variar los ambientes que abarcaron el desarrollo de la investigación para determinar cuáles son las mejores condiciones para su crecimiento. Su importancia radica en la posibilidad de trasladar el diseño desde pequeños hasta grandes espacios, ya que en un principio inició en un armario antiguo para luego trasladarse a un estudio de diseño, finalizando en un invernadero para mayor comodidad con más espacio, ventilación y humedad.

Figura 5

The grow without us



Nota: La imagen muestra los diferentes bloques colocados uno sobre otro para formar un muro, y como a partir de este nacen hongos permitiendo ver que es un elemento constructivo vivo. Tomado de *The Grow Without Us*, J. Dahmer & A. Frid-Jimenez, 2018 (<https://arpajournal.net/they-grow-without-us/>).

Vesaluoma + Studio. Grow structures:

El proyecto utiliza la unión del micelio junto al cartón. Este segundo material permite generar distintas figuras, sin limitarse a rectángulos como los bloques o paneles, siendo un elemento moldeable de forma larga o también llamado “salchichas de hongos”, como lo describe el autor del proyecto. De esta manera como se muestra en la imagen se hace un tipo de vendaje de algodón en forma de tubo, este actúa sobre una estructura enrejada que luego de un mes de crecimiento en un invernadero al aire libre, se endurece e incluso empieza a producir hongos comestibles. Adicional a ello, como indica Fuentes y Moreno (2020) El Vesaluoma, la estructura resultante “está unida como pegamento y podría proporcionar una alternativa ecológica a los métodos y materiales de construcción más utilizados” (Fuentes y Monereo, 2020, p.20).

Figura 6

Vesalunoma+studio: Grow structure



Nota: Estructura en forma de salchichas de hongo que explora el potencial del micelio en Inglaterra. Tomado de Bio-fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos. I, Fuentes & C, Monereo, 2020 (https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf).

MycoTech, MycoTree:

Es una estructura de ramificación con un estilo similar al tronco de un árbol, elaborado a base de componentes de micelio del hongo *Trametes* y sustrato de caña de azúcar y serrín. El proyecto está conformado por bloques en formas poliédricas, que al unirse permiten que el elemento reciba esfuerzos a compresión únicamente. El “MycoTree” está conformado por un esqueleto “que soporta una rejilla de bambú de 134 kg y de cuatro metros a una altura de tres metros sobre el suelo. Son 36 miembros de micelio de una longitud máxima de 60 cm que en conjunto pesan unos 182 kg” (Conde Santiago, 2021), siendo el mayor exponente en cuanto a proyectos estructurales con micelio. El proyecto se desarrolló en Suiza alrededor del año 2017 y

Abre la posibilidad de utilizar materiales más débiles de forma estructural y segura y en última instancia, cómo los recursos regenerativos en combinación con el diseño estructural tienen el potencial de proponer una alternativa a los materiales estructurales establecidos para una industria de la construcción más sostenible (Fuentes y Monereo, 2020, p.20).

Figura 7*Mycotree*

Nota: Árbol elaborado a base de micelio, capaz de soportar carga aparte de su propio peso. Es el único referente con esta propiedad estructural. Tomado de Bio-fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos. (p.26), I, Fuentes & C, Monereo, 2020 (https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf).

Marco Teórico

Como fundamento importante para el proyecto se analizaron distintas tesis y artículos que tienen como objetivo principal comprobar la sustitución total o parcial de materiales químicos por materiales naturales es viable con el propósito de poder implementarlos en la industria de la construcción y así ayudar a mitigar la contaminación y la explotación de materias primas no renovables mediante el uso de residuos de otros materiales permitiendo también la disminución de costos en la obra y de desechos no reutilizables.

Alternativas de Biomateriales para la Sustitución Parcial del Concreto para Reducir el Impacto Ambiental

El artículo tiene como objetivo principal la búsqueda de materiales naturales que funcionen como alternativas para la sustitución parcial o total del concreto como material constructivo en las edificaciones. En la investigación llevada a cabo se analizaron dos materiales, el primero, la ceniza de bagazo de caña de azúcar y el segundo el bambú también llamado guadua.

Para el primer material, la ceniza de bagazo de caña de azúcar tiene como propósito funcionar como sustituto de aditivo para la elaboración del cemento, mediante la sustitución parcial con cierto porcentaje de ellos, sin embargo, los resultados arrojados no fueron los esperados, puesto que entre mayor porcentaje de ceniza de bagazo de caña de azúcar se agregue menor resistencia va a tener y aunque la implementación de este material ayuda a disminuir costos en la obra, no cumple con la resistencia que pide la Norma Técnica Colombiana (NTC) ni en la prueba de resistencia a compresión ni en la prueba de resistencia a flexión.

Por otro lado, el bambú es viable implementarlo como material constructivo sustituyente del concreto, pero no como aditivo; tener este material en las construcciones ayuda a reducir costos en especial para aquella población que no tiene suficientes recursos, además se puede implementar en diferentes climas y terrenos por su estructura fuerte pero a la vez flexible, sin embargo, según la investigación no cuenta con buena resistencia al fuego, insectos o agentes externos que puede dañar muy fácil la estructura.

Por lo anterior y teniendo en cuenta las conclusiones del artículo, la implementación de materiales naturales es posible, sin embargo, para ello es necesario ahondar más en las investigaciones, para poder realizarlo de manera efectiva y segura tanto en la mitigación del daño del medio ambiente como en la plena seguridad para todos aquellos que van a estar en la edificación.

Figura 8

Bagazo de caña de azúcar



Nota: Residuos de Bagazo de caña de azúcar. Tomado de El bagazo de la caña de azúcar nano modificado puede limpiar el agua contaminada con cobre o cromo, 2021 (<https://www.iagua.es/noticias/dicyt/bagazo-cana-azucar-nanomodificado-puede-limpiar-agua-contaminada-cobre-o-cromo>).

Figura 9

Guadua



Nota: Guadua cortada y seca. Tomado de *Bambú guadua*, (s.f.) (Guadua cortada y seca. Tomado de *Bambú guadua*) (<https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/bambu-guadua/>)

Propuesta para la Fabricación de Adoquines en Morteros Mezclados con Cascarilla de Arroz para uso en la Construcción

La tesis consiste en elaborar e implementar un ecobloque a base de mortero y cascarilla de arroz, con el fin de disminuir la cantidad de materia prima (Clinker pulverizado) que se utiliza al momento de elaborar adoquines en cemento. Para ello la investigación se basó en los componentes del mortero en donde se evidenció una cantidad significativa de SiO₂ (sílice), compuesto químico que comparte con la cascarilla y la cual puede llegar a sustituir parte del cemento. Se hicieron diferentes prototipos para comprobar cuál de ellos es el más apto tanto en costos como en resistencia según la NTC y comprobar cual cumple con los mismos o mejores parámetros que los adoquines comerciales.

La investigación elaboró seis prototipos, Restrepo & Aya (2018): el primer adoqueín con 20% de cascarilla de arroz cruda curado en agua; el segundo adoqueín con 20% de cascarilla de arroz cruda curado al ambiente; el tercer adoqueín con 30% de cascarilla de arroz cruda curado en agua; el cuarto adoqueín con 20% de ceniza de cascarilla de arroz curado en agua; el quinto adoqueín 20% cascarilla de arroz ceniza curado al ambiente; y el sexto adoqueín 20% cascarilla de arroz ceniza curado al ambiente.

Una vez hechas las pruebas de resistencia de compresión y flexión de cada muestra y comparando los resultados con la prueba elaborada a un ladrillo comercial, se determinó que el mejor adoqueín es el confeccionado con mortero con 20% de ceniza de cascarilla de arroz secado al ambiente, puesto que es el que mejor cumple las especificaciones para ser un ladrillo comercial según la “NTC 3829 Adoqueín de Arcilla para Tránsito Peatonal y Vehicular Liviano” (Restrepo & Aya, 2018, p. 95) y poder colocar en las aceras y andenes exteriores.

De esta manera se concluye que, la aplicación de materiales naturales también considerados residuos como la cascarilla de arroz son viables para uso en obras civiles y con una investigación a mayor profundidad y el porcentaje correcto de dosificación, puede ser aplicado a obras arquitectónicas, reduciendo no solo los costos de elaboración, sino también, reduciendo la contaminación al disminuir la cantidad de cemento usado en cada adoqueín.

Tabla 1

Tabla comparativa adoqueín comercial y prototipos de adoqueín en cascarilla de arroz

Nota: La tabla muestra la comparativa entre la resistencia de un adoquín comercial y seis prototipos de adoquín elaborados con cascarilla de arroz pura o ceniza de cascarilla de arroz y cemento. Tomado de *Propuesta para la fabricación de adoquines en morteros mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción*, (p.15) por Y,

TIPO DE ADOQUÍN	MÓDULO DE ROTURA MÁXIMO (Mpa)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN MÁXIMA (N/cm ²)
Adoquines comerciales	8,02	240,366
Adoquín 20% Cascarilla de Arroz (C.A) Cruda curado agua	3,62	76,33
Adoquín 20% C.A Cruda curado ambiente	0,41	63,41
Adoquín 30% C.A Cruda curado agua	3,1	51,33
Adoquín 20% C.A Ceniza curado agua	2,67	81,66
Adoquín 20% C.A Ceniza curado ambiente	3,51	146,66
Adoquín 20% C.A Ceniza curado ambiente – fallado Edyconst	6,1	440,575

Restrepo & J, Aya, 2018

(https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/7195/1/T.IC_RestrepoRamosTenniferTatiana_.pdf).

Figura 10

Prototipo adoquín mezclado con mortero y ceniza de cascarilla de arroz



Nota: Adoquín elaborado a partir de mortero tipo *portland* y ceniza de cascarilla de arroz. Tomado de *Propuesta para la fabricación de adoquines en morteros mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción*, (p.26), por Y, Restrepo & J, Aya. 2018 (<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/7195>).

Sistema de Cubierta a Partir del uso del Totumo *Crescentia curcubina* para Vivienda en la Vereda El Cairo-Las Brisas, Municipio de Saldaña, Tolima

Esta tercera tesis nos muestra que no solo los residuos orgánicos como es el caso de la cascarilla de arroz y el bagazo de caña de azúcar funcionan como sustituyentes de materiales comunes como el concreto, sino que también, existen plantas o árboles que no se utilizan de manera común en la industria arquitectónica, pero gracias a su composición natural es viable implementarlos en los edificios. Es el caso del árbol de totumo, sus frutos son como indica Arias (2004) de "... una consistencia dura y formas y tamaños variables. Los hay de forma casi esférica y ovoide-elíptica, que varían en tamaños entre 10 y 30 centímetros de diámetro" (como se cita en Ceballos, 2016, p.18), de esta manera la tesis nos explica como la corteza del fruto del totumo es factible para su uso e implementación como sustituto total de las tejas de zinc, en una zona productora de árboles de totumo y en donde no se está sacando el provecho suficiente a este recurso natural como lo es la Vereda El Cairo-Las brisas en Saldaña, Tolima.

Para el proceso de la elaboración del tejado en totumo se construyó inicialmente la estructura del tejado en madera, luego, como recubrimiento, se colocó esterilla de guadua que va a servir como camilla para las tejas en totumo y finalmente proceder a colocar, una hilera en forma de canal, las totumas cortadas con la parte curva hacia arriba y la siguiente con la parte curva hacia abajo, así de manera sucesiva para poder formar los canales de las tejas, realizando orificios pequeños para poder amarrar la teja a la estructura mediante alambre.

Figura 11

*Sección teja en totumo *Crescentia curcubina**



Nota: La imagen muestra la forma y anclaje de la teja de los frutos del árbol de totumo *Crescentia curcubina*. Tomado de *Sistema de cubierta a partir del uso del totumo *Crescentia curcubina* para vivienda en la vereda el Cairo las Brisas, municipio de Saldaña, Tolima*, (p.13), por W. Ceballos, 2016 (<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3916/Monografia%20Desarrollo%20de%20sistema%20de%20cubierta%20a%20partir%20del%20totumo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

En el proceso de verificación de resistencia, las tejas se sometieron a ensayos tales como prueba de peso, prueba de flexión, resistencia térmica, absorción de humedad y la prueba de durabilidad. La primera prueba dio como resultado que cada teja tiene un peso diferente dependiendo del espesor de la capa, sin embargo, se mantiene en un intervalo entre 80 g a 95 g cada una; la segunda prueba comprobó que cada teja tiene un promedio de soporte de 0.36 kN, es decir cerca de 37 kilos; la prueba térmica demostró que ante una temperatura superior a los 70 °C, la teja tiende a perder su forma original; la prueba de absorción a la humedad, tuvo muy buenos resultados ya que al sumergirse durante 24 horas en agua, no tuvo deterioro en ninguna parte de las capas; finalmente, para la prueba de durabilidad se sometió la teja a una solución de agua con sulfato de magnesio para simular las condiciones de la atmósfera y evaluar su deterioro, sin embargo, la única diferencia vista fue el cambio de color que no afecta sus capacidades aislantes ni de resistencia.

De esta manera, se puede concluir que la implementación del totumo como sustituyente en la teja de zinc es viable y económico especialmente en aquellas zonas en donde se da este tipo de árbol, de igual forma su anclaje es fácil y rápido de hacer con materiales provenientes de la naturaleza como lo es la madera y la guadua, teniendo en cuenta esto y el cuidado del medio ambiente, es también un biomaterial que no genera residuos contaminantes en el proceso de elaboración y tampoco va a generarlos al finalizar su vida útil.

Este proyecto sirve como fundamento ante la posibilidad de sustituir completamente un material de un elemento arquitectónico y, además, bajo las condiciones y clima adecuados se puede hacer fácilmente y de forma económica ya que se elabora de manera artesanal por los propios pobladores que deseen implementar esta teja en sus casas o fincas ya que cuentan con la materia prima para hacerlo.

Figura 12

Teja en totumo Crescentia curcubina terminada



Nota: La imagen muestra todas las personas que participaron en la elaboración de la teja en totumo *Crescentia curcubina*. Tomado de *Sistema de cubierta a partir del uso del totumo Crescentia curcubina para vivienda en la vereda el Cairo las Brisas, municipio de Saldaña Tolima*, (p.30), por W. Ceballos, 2016 (<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3916/Monografia%20Desarrollo%20de%20sistema%20de%20cubierta%20a%20partir%20del%20totumo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

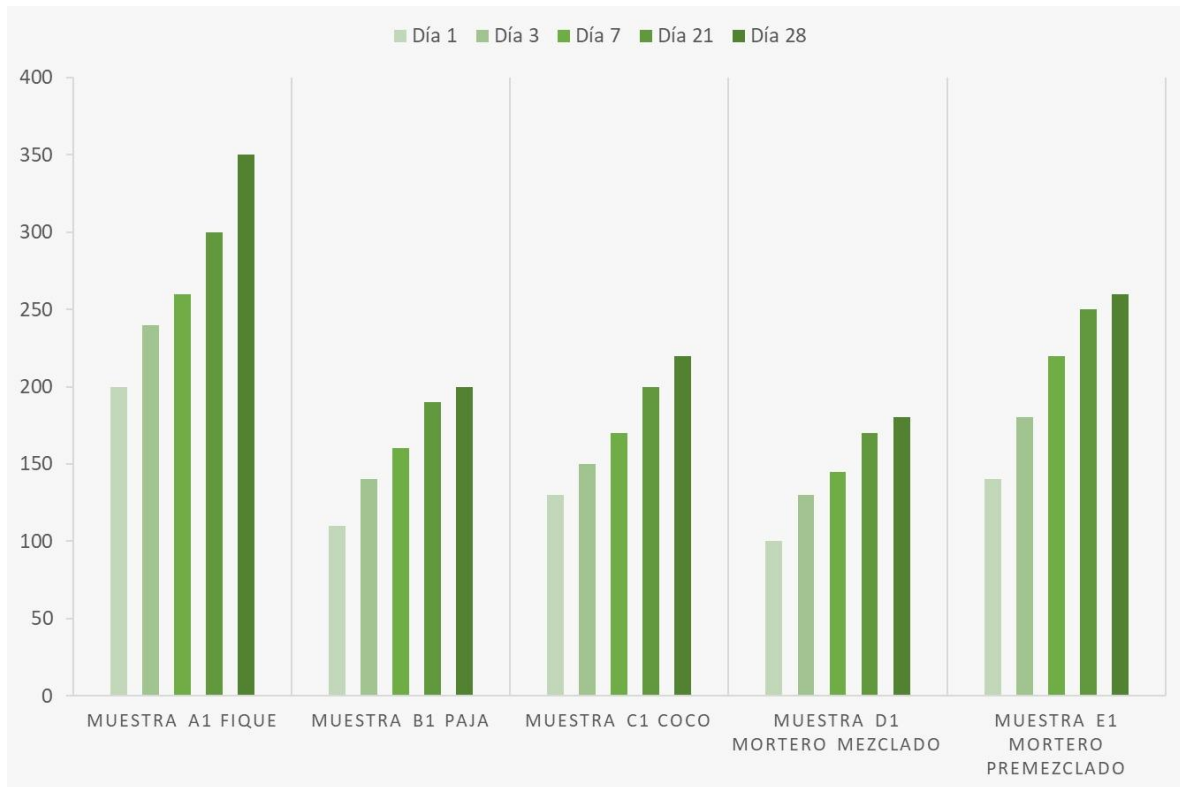
Uso de Materiales Alternativos para Mejorar la Resistencia del Mortero de pega de Mampostería Estructural (fibra de fique)

En esta investigación se encontró que no solo es importante implementar los materiales naturales como elementos arquitectónicos, tales como los tejados u adoquines, sino que también funcionan al utilizarse como aditivo o sustituyente parcial al mortero que sirve como pega a los ladrillos o mampostería estructural. Esto con base a la investigación en donde se constató que la mayoría de las rupturas que se dan en dichas estructuras se deben a la falla por cortante producida en la pega, como consecuencia de una mala distribución de las proporciones del mortero tales como la cal, la arena y el cemento. Adicional a ello se busca disminuir los costos en la obra y dar una mayor resistencia al pegante, en especial para aquellos que realizan las construcciones de manera artesanal.

La investigación se centró en identificar cuál fibra es más apta para agregarla al mortero, entre las que se encuentran la fibra de paja, la fibra de fique y la fibra de coco. Luego de realizar diferentes prototipos con dichas fibras y realizar pruebas caseras de compresión se llegó a la conclusión que, de las tres, la fibra de fique otorga mejor resistencia tal como lo muestra la gráfica en la que se evidencia la resistencia de las fibras utilizadas.

Figura 13

Gráfica comparativa comportamiento de las muestras de fibras naturales con mortero



Nota: La imagen permite evidenciar el comportamiento de resistencia a compresión de las muestras de los bloques elaborados con mortero y con diferentes tipos de fibras naturales, tomadas en cinco días diferentes para observar su fraguado, dureza, compactación. Tomado de *Uso de materiales alternativos para mejorar la resistencia del mortero de pega de mampostería estructural (fibra de fique)*, (p.26), por M. Porras & S. Guzmán, 2020. (<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5733/MATERIALES%20ALTERNATIVOS%20PARA%20MEJORAR%20LA%20RESISTENCIA%20DEL%20MORTERO%20DE%20PEGA%20DE%20MAMPOSTER%20ESTRUCTURAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

Es importante destacar la investigación realizada en este proyecto puesto que permite identificar diferentes tipos de fibras naturales que sirven, no solo como residuo o herramientas artesanales (como es el caso del fique) sino que se pueden implementar como aditivo al mortero de pega, en especial para aquellas zonas en donde predomina la autoconstrucción de viviendas que busca reducir costos y, a su vez, lograr que la pega de la mampostería cumpla con la resistencia para soportar las cargas externas sin deteriorarse de manera fácil y rápida.

Marco Referencial

A continuación, se muestran otras investigaciones que aportan referentes para esta investigación, en cuanto a metodologías de cultivo, otros usos del hongo, pruebas técnicas y formas de instalación, que nos permiten guiar este proceso a través del conocimiento ya adquirido por otros investigadores.

Mushrooms Tiny House: Taylor Foster, James.

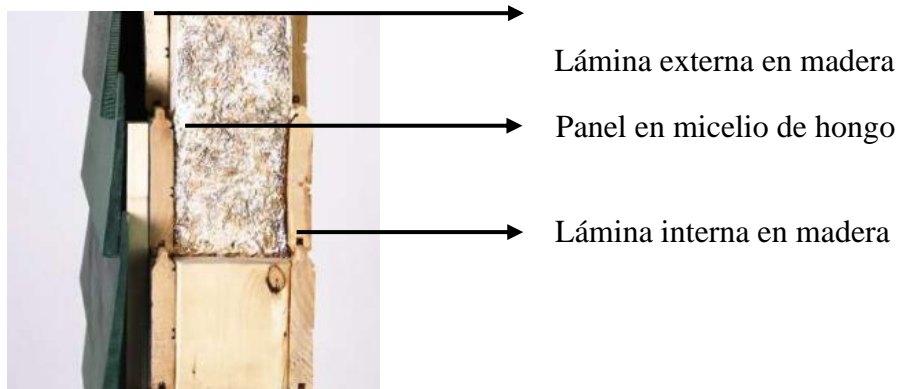
Este proyecto consiste en una pequeña casa de 3.66 m × 2.13 m, elaborado a partir de paneles de madera revestidos con micelio, desde sus paredes hasta el techo de la vivienda. Es un elemento arquitectónico elaborado *in situ*, tiene como propósito mostrar que existen distintos materiales orgánicos para implementar en la arquitectura y poder mitigar o reemplazar materiales comúnmente utilizados como la espuma a base de petróleo, también usados como aislantes, pero con un índice mayor de contaminación a comparación de un material orgánico.

Es un referente de biomaterial, como se indicó en el párrafo anterior, toda vez que su composición es a base de materiales naturales, conformado por el hongo shitake (hongo comestible), un sustrato natural desconocido colocado al interior de un molde completamente en madera, convirtiéndolo así en un aislante térmico, resistente al fuego, económico y asequible como lo indica la empresa promotora Ecovative (Fuentes y Monereo, 2020).

Su diseño se elaboró en California, Estados Unidos, en el año 2013. La innovación de la casa lo llevó a ser un proyecto temporal, puesto que sus creadores lo desplazan por todo el país con la intención de mostrar cómo una vivienda elaborada, a partir de materiales que se encuentran en la naturaleza, es capaz de ser resistente, económica y amigable con el medio ambiente.

Figura 14

Detalle estructural muro Mushroom Tiny House



Nota: La imagen muestra las tres capas de las que está hecho el panel *in situ* de la Mushroom Tiny House. Tomado de *Bio-fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos*. Fuentes & C. Monereo, 2020 (https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf)

Figura 15

Mushroom Tiny House



Nota: Vista general terminada de la Mushroom Tiny House. Tomado de *Bio-fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos*, por I. Fuentes & C. Monereo (https://oa.upm.es/63507/1/TFG_Jun20_Fuentes_Cantillana_Monereo_Ignacio.pdf).

Figura 16

Mushroom Tiny House en Nueva York



Nota: Exposición temporal al aire libre de la Mushroom Tiny House luego de ser trasladada desde California hasta Nueva York. Tomada de *You Grew a house? (Yes...and so you can)*, (s.f.), (Tiny Mushroom House) (<https://mushroomtinyhouse.com/post/49260789636/you-grew-a-house-yes-and-so-can-you>).

Elaboración de Paneles Termoaislantes para Cubierta a Partir de Fibras de Bagazo de la Caña de Azúcar

La investigación surge a partir de la intención de reutilizar los desechos de la caña de azúcar, también llamados bagazo de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca (principales productores del sector azucarero en Colombia) con el propósito de poder reutilizar este residuo en elementos arquitectónicos e implementarlos de preferencia en techos o fachadas, que a su vez funcionen como aislante térmico.

Según el estudio realizado, cerca del 58% del bagazo se utiliza como alimento en la quema de calderas (Lozano & Rojas, 2019), por lo que está siendo subutilizado y, contrario a mitigar el deterioro ambiental, está generando un aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) a causa de los producidos por esta práctica.

El proyecto desarrolla nueve prototipos de paneles de 30 cm × 30 cm, distribuidos en tres juegos, compuestos de bagazo de caña de azúcar, mezclado con cemento *portland* tipo I y

melaza de caña de azúcar, cada uno variando el porcentaje de cada material y el espesor del panel.

Tabla 2

Tabla informativa elaboración prototipos de paneles en fibras de bagazo de caña de azúcar.

Paneles	Peso (kg)	Área (m ²)	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Densidad Aparente (kg/m ³)
Panel 1	0,701	0,09	0,006	0,00054	1298,15
Juego 1					
Panel 2	0,953	0,09	0,008	0,00072	1323,61
Panel 3	1,01	0,09	0,01	0,0009	1122,22
Juego 2					
Panel 4	0,52	0,09	0,006	0,00054	962,96
Panel 5	1,003	0,09	0,008	0,00072	1393,06
Panel 6	1,008	0,09	0,01	0,0009	1120,00
Juego 3					
Panel 7	0,262	0,084	0,006	0,000504	519,84
Panel 8	0,483	0,084	0,008	0,000672	718,75
Panel 9	0,496	0,084	0,01	0,00084	590,48

Nota: Esta tabla muestra la información general de cada prototipo del panel teniendo en cuenta las medidas del ancho, largo, espesor y peso. Tomado de *Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar*, por L. Lozano & E. Rojas, 2019

(<https://repository.ugc.edu.co/btstream/handle/11396/5731/Paneles%20termoaislantes%20de%20fibras%20de%20bagazo%20de%20la%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

Luego de las pruebas térmicas a las que fueron sometidos los paneles, se concluyó que el panel No. 6 es el que mejor funciona como aislante térmico puesto que arrojó en los resultados una resistencia térmica (R_t) de $0.641 \text{ m}^2 \times \text{k/w}$. Y a comparación de otros materiales como el ladrillo macizo, el concreto reforzado, el adobe, funciona mucho mejor.

Tabla 3

Tabla comparativa resistencia térmica de materiales

MATERIAL	R _T (m ² ×K/W)	U (W/m ² ×K)
Panel 6	0,641	1,561
Concreto reforzado (acero)	0,0043	232,50
Concreto	0,0058	171,41
Ladrillo macizo	0,0067	149,25
Adobe	0,0091	109,89
Madera frondosa	0,0556	17,98
Madera conifera	0,0667	14,99

Nota: Los valores de Resistencia y transmitancia térmica de los demás materiales fueron calculados considerando un espesor de 1 cm, igual al espesor del panel 6. Adaptado de: SEISUBOS: Importancia relativa del aislamiento térmico en los edificios.

Nota: la tabla muestra las distintas resistencias térmicas entre los materiales que se utilizan usualmente como aislantes térmicos y el panel 6 de bagazo de caña de azúcar y cemento, que tuvo mejores resultados en la investigación. Tomado de *Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar*, (p.20), L. Lozano & E, Rojas. 2019 (<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5731/Paneles%20termoaislantes%20de%20fibras%20de%20bagazo%20de%20la%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

Por lo tanto, se concluyó que el panel 6 con una medida de 30 × 30 × 1 cm es el que mejor se adapta para implementar en una edificación, está constituido por 81 cm³ de cemento, 108 cm³ de bagazo, 54 cm³ de melaza y 13,5 cm³ de agua (Lozano & Rojas, 2019).

De esta manera la investigación comprobó que la reutilización de residuos orgánicos como el bagazo de caña de azúcar mezclados con materiales como el cemento y con dosis adecuadas, se pueden implementar en un edificio, sirviendo no solo de elemento arquitectónico, sino que también ayuda a disminuir el uso de materiales contaminantes, mejorando la huella ambiental de materiales constructivos.

Estas fibras serán aprovechadas debido a su condición de materia prima natural, aportando así a la disminución del impacto ambiental que se produce por una inadecuada

disposición de los desechos (bagazo) de la caña. La oportunidad de reutilizar este producto de fibras vegetales. (Lozano & Rojas, 2004).

Figura 17

Paneles de 30 × 30 × 1 cm de cemento y bagazo de caña de azúcar.



Nota: Paneles de 30 × 30 × 1 cm de cada uno de los tres juegos que se realizaron como prototipo. Tomado de *Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar*, (p.19) L. Lozano & E. Rojas, 2019

(<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5731/Paneles%20termoaislantes%20de%20fibras%20de%20bagazo%20de%20la%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

Entropía Aislante Termoacústico a Partir de Fique, Micelio y Heno.

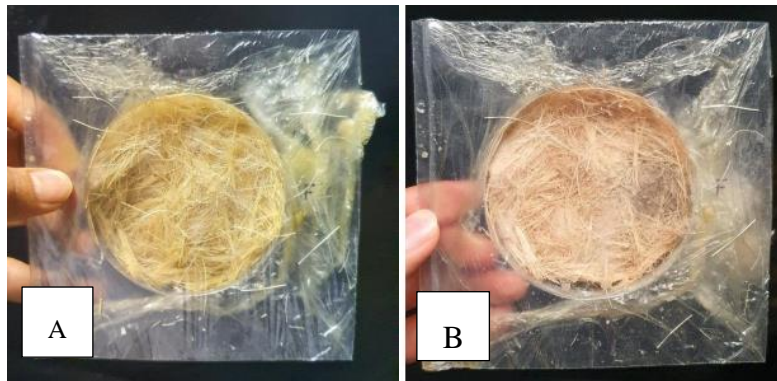
Esta tesis investigativa tiene como propósito analizar y concluir cuál de los residuos naturales que se dan en Colombia funciona mejor como elemento para el desarrollo de un panel termoacústico junto con el micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*. Para ello se analizaron diferentes fibras tales como el fique, heno, tamo de heno, tamo de cebada y tamo de trigo, para estudiar cuál de estos tenía una mayor eficiencia en cuanto al crecimiento del hongo se tomó una pequeña muestra de cada sustrato y, en cajas de Petri, se inoculó el micelio; posterior a ello se observó cual de éstos tuvo mejor avance en cuanto al progreso micelial.

Una vez analizada cada muestra, se concluyó que el micelio tuvo un mayor progreso en el fique, este llega a aportar su constitución netamente natural y, basados en las investigaciones, se

puede afirmar que también es una fibra aislante y resistente (Gil & Rojas, 2021). Teniendo en cuenta esto, es viable la implementación de este sustrato para la elaboración de los paneles en micelio que desarrolla el proyecto en curso.

Figura 18

Muestra micelio inoculado en fique y Heno



Nota: A). La imagen muestra la caja de Petri cubierta con vinipel y en su interior el fique con el micelio inoculado. B) La imagen muestra la caja de Petri cubierta con vinipel y en su interior el heno con el micelio inoculado. Tomado de *Entropía aislante termoacústico a partir de fique, micelio y heno*, B. Gil & D. Rojas. 2021 (<https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/7091>).

Marco Conceptual

Para enmarcar esta investigación es necesario definir la terminología que permite el total entendimiento de esta, es entonces que se definen los siguientes conceptos:

Actualmente la clasificación de los seres vivos ha dado el paso al estudio de sus diferentes reinos, dentro de estos el reino Fungi, o también conocido como el reino de los hongos, estos son organismos que no son considerados ni animales, ni vegetales pero que poseen características de cada reino, tal como “la pared celular rígida, semejante a las células vegetales, pero en lugar de estar compuesta de celulosa, está compuesta de quitina” (Concepto, s.f., párr. 4), siendo conocidos por su uso en otras actividades tal como la gastronomía.

Para el hongo *Pleurotus djamor* y sus familiares hay una composición general que consta de un píleo, estípite, volva y micelio, siendo este último el más relevante para la investigación; lo

anterior se define como el conjunto de hifas o filamentos que tiene un hongo, estos elementos, son las conexiones que existen entre los organismos y su medio de cultivo, de esta manera se adquieren los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo.

Para poder tratar el micelio de hongo como un material arquitectónico, es necesario hacer que su medio de cultivo cumpla con características específicas, para esto el uso del sustrato ideal es necesario, ya que este es una materia prima lignocelulósica que se extrae completamente de los desechos agrícolas y forestales según Alonso (2018).

Es entonces que definimos qué es un biomaterial: en general se entiende que un material es un producto estructural, hecho con medidas estándar que tienen la intención de ser usado en un edificio (Rico, L, p. 502, 2003) y un algo con característica “bio” significa “organismo vivo” Real Academia Española (RAE, 2023) por lo que las características del micelio de hongo permiten darle esta connotación al material.

Tomando esta información en cuenta, cuando un edificio o espacio trata de aprovechar las condiciones medioambientales en beneficio de los usuarios se conoce como “bioclimático” (RAE, 2023). Para poner a prueba los resultados obtenidos, el elemento ha de usarse en un prototipo de vivienda rural, este se define como un “asentamiento caracterizado por la vida campestre y agrícola” (Munigaza. G, 1968), que propone el desarrollo en pro de mejoras en el nivel de vida y la participación de la población local según Zoido et al, (2000, p. 124). Dentro de la vivienda, el panel ha de implementarse en un muro divisorio entendido según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) Capítulo E: Viviendas de 1 y 2 pisos, cumplen con la función de separar o aislar espacios, no cumple con ninguna función estructural, por lo que no sostienen ninguna otra carga más que su propio peso. (NSR-10, Tít. E.5.1, 2010).

Una vez concretado el resultado del cultivo en un panel aislante, es fundamental comprobar el correcto funcionamiento de éste elemento previo a su uso, así que se procede a realizar simulaciones, éstas se entienden como la representación de un comportamiento específico o características de un sistema usando un modelo que pueda recrear una experiencia real, que para su análisis térmico, se define como la prueba con la cual se caracteriza un material tomando como base su respuesta al calor, por otro parte su análisis acústico, es aquel que determina la capacidad del elemento para impedir el paso de ondas sonoras a un espacio determinado. Además, se toman en cuenta los índices de compresión y flexión, definidos como “la respuesta dimensional de un tipo material de fuerzas aplastantes y la acción que lo provoca” (Lapedes, 1981) y “la deformación o movimiento de una estructura desde su posición original, debido a las cargas y fuerzas que actúan en la misma” (Putman, 1998).

Al tener los resultados de ambos análisis es posible determinar las capacidades del panel aislante para usarse con ese objetivo.

En pro de la mejora del medio ambiente, desde hace unos años la industria de la construcción ha buscado mitigar su impacto ambiental al implementar aquellos materiales no contaminantes o biomateriales, que se basan principalmente en la sostenibilidad, lo anterior, debe cumplir con tres dimensiones que definan el elemento como tal a cabalidad.

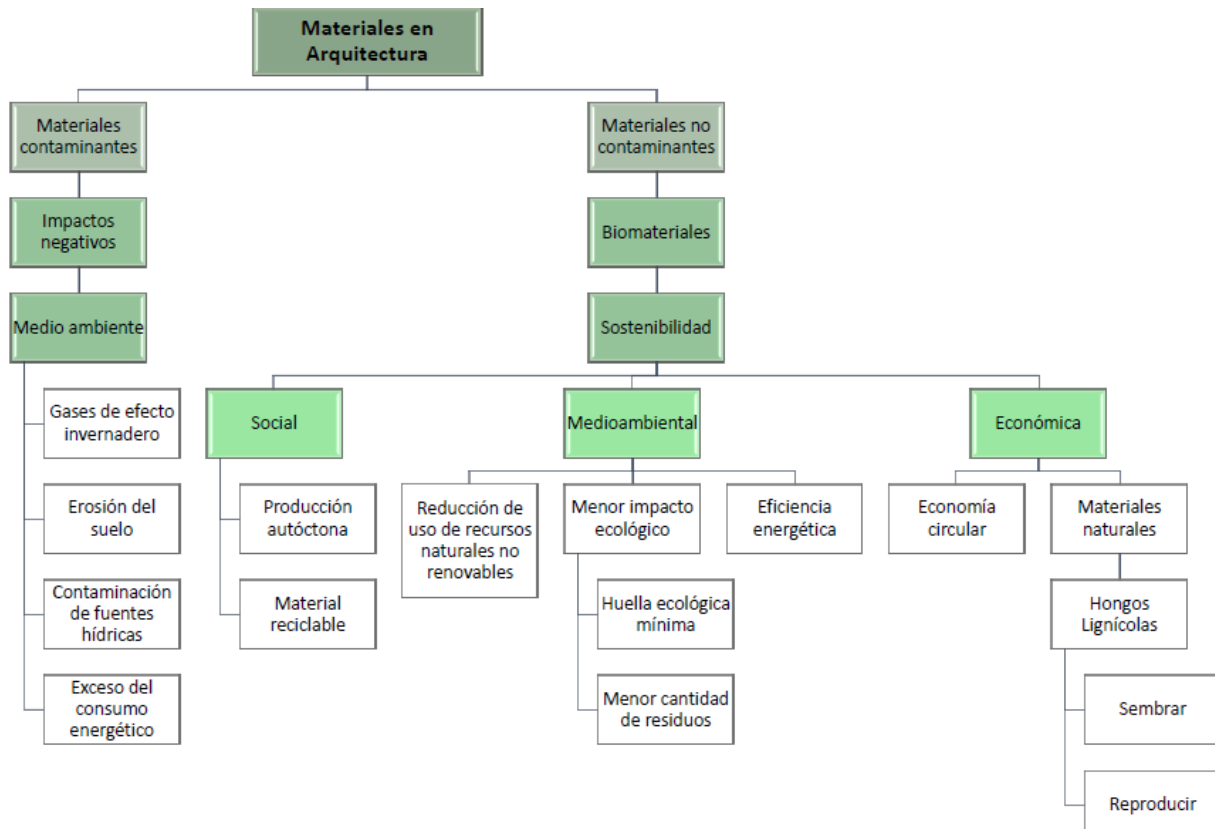
Debe cumplir con un nivel social, que incentive a la comunidad a generar una producción autóctona de los productos, promoviendo el uso de materiales reciclables que puedan ser usados en otro proceso. La dimensión económica busca una economía circular, es decir, generar un producto que pueda ser reutilizado las veces que sean necesarias. Finalmente, la dimensión ambiental, que busca la reducción de uso de recursos no renovables, que permitan un menor impacto ecológico al medio ambiente buscando generar una huella de carbono mínima.

Este proyecto se basa en materiales naturales y por su composición el uso de los hongos permite que su siembra, producción, comercialización y consumo abarquen con las dimensiones anteriormente nombradas.

Mapa de conceptos

Figura 19

Mapa de conceptos



Nota: La imagen muestra los conceptos más importantes a abarcar en esta investigación de manera resumida. Elaboración propia.

Marco Legal

En cuanto a la normativa detrás del impacto hacia el medio ambiente, el uso correcto de los paneles aislantes, sus índices de transmisión térmica y acústica, además de sus componentes sísmo resistentes, se encuentran las siguientes leyes reglamentarias:

Aislamiento Acústico

En cuanto a la Resolución 8321 de 1983 emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social (Minsalud), se determina el máximo sonido en decibeles (dB) que pueda llegar a afectar la salud auditiva de la población. (Res. 0627, 2006).

Por su parte la norma de la International Organization for Standardization (ISO) 10534, cumple con la “Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia”. Esta norma determina que, para la prueba de tubo de impedancia, un material puede considerarse como aislante acústico una vez su coeficiente de absorción se hace superior a 60 decibeles, para una frecuencia entre 500 y 1000 Hz (ISO 10534, 2, UNE-EN ISO 10534-2:2002, 1998).

Al igual que la Norma ISO/TC 43/SC 2, encargada de la acústica de los edificios, que para su apartado WG 32 determina los parámetros acústicos de los materiales. (ISO TC 43, 1, Building acoustics, 1984).

Aislamiento Térmico

En términos de aislamiento térmico la NTC 5316 se encarga de dictaminar las “Condiciones Ambientales Térmicas de Inmuebles para Personas”, esta ocupa los factores personales y ambientales que afectan al menos al 80% de la población, lo anterior en términos de ganancia y pérdida de calor, tomando en cuenta la humedad y sensación térmica del usuario dentro de un espacio durante más de 15 minutos, (NTC-ISO-5316, 12, 1, 2004).

Por otro parte, la Norma ISO 9251 la cuál comprende el vocabulario relacionado a las “Condiciones de Transferencia de Calor y Propiedades de los Materiales” para esta investigación se determina la definición de los términos porosidad y densidad. (ISO TC 163, UNE-EN ISO 9251, 1987).

Medio Ambiente

Se enuncia la Norma NTC-ISO-14040 la cual basada en la importancia de la protección ambiental, y sus posibles impactos asociados a los productos manufacturados o consumidos, se utiliza el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), por el cual se identifican oportunidades de mejora ambiental, aportación de información para las industrias y la correcta selección de los indicadores de desempeño. Por medio del ACV se permite la trata de los aspectos ambiental e impactos potenciales de un producto. (ISO 14040:2006/Amd 1:2020).

En este apartado destacamos la Ley 64 General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales la cual establece las normativas en cuanto al medio ambiente y los recursos naturales y el uso sostenible de los mismos, valorando su conservación, protección, mejoramiento y restauración. (Organización de las Naciones Unidas – [ONU], 2002).

Dentro de los acuerdos internacionales, el Convenio de Estocolmo, tiene como objetivo “proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)” (ONU, 2019).

Además de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (ONU, 2015) aquellos que buscan erradicar la pobreza, proteger al planeta y mejorar la calidad de vida de las personas, para esta investigación se destacan los siguientes:

- 6. Agua Limpia y Saneamiento: (*Estrategia 6.3 Mejora de calidad del agua, el tratamiento de aguas residuales y la reutilización segura*). Este busca garantizar la disponibilidad y limpieza del agua para la gente. Recordando que los residuos generados por la construcción no son tratados correctamente, en su última fase llegan a desecharse como vertederos ilegales a las orillas de los ríos, quebradas, lagunas, etc. Siendo uno de los propósitos de este ODS proteger y restaurar los ecosistemas hídricos, al momento de

implementar el micelio de hongo como material, este al ser biodegradable no contamina las fuentes hídricas y su degradación es de manera rápida y amigable con el medio ambiente.

- 9. Industria, innovación e infraestructura: (*Estrategia 9.4 Mejorar todas la Industrias e Infraestructura para la sostenibilidad*). El micelio de hongo contribuye al desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes al ser un material elaborado de manera orgánica y de fácil acceso, que además conlleva un bajo costo en su elaboración, siendo un material innovador e industrializable.
- 11. Ciudades y comunidades sostenibles: (*Estrategia 11.C Apoyo a los países menos desarrollados en la construcción sostenible y resiliente*). El micelio de hongo al ser un material fácil de elaborar y económico facilita su producción, implementación y desecho dentro de la ciudad. Promoviendo un ciclo de vida rentable para el material, el medio ambiente y por sobre todo la comunidad.
- 12. Producción y consumo responsable: (*Estrategia 12.5 Reducir sustancialmente la generación de residuos*). La gestión de productos y residuos químicos. En la elaboración y uso de materiales comunes como el concreto y el ladrillo, se genera una alta utilización de químicos contaminantes; el micelio de hongo por sus componentes biodegradables y orgánicos reducen el uso de químicos en su proceso de producción y al momento de su desecho lo hace de manera natural, promoviendo de esta manera una elaboración y consumo responsable.
- 13. Acción por el clima: (*Estrategia 13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los desastres relacionados con el clima*). Al implementar un biomaterial dentro de los elementos arquitectónicos, promovemos la disminución de químicos,

desechos contaminantes y gases de efecto invernadero que son los agentes que dañan la capa de ozono haciendo que los microclimas a nivel mundial se vean afectados. El uso del micelio de hongo permitiría controlar y disminuir aquellos elementos contaminantes tanto en producción como en implementación.

- 15. Vida de ecosistemas terrestres: (*Estrategia 15.3 Detener la desertificación y restaurar la tierra degradada*). Teniendo en cuenta que la extracción de piedras como la grava y la arena, además de la tala de árboles para la construcción en madera generan erosión en el suelo volviéndolo árido y estéril, la implementación del micelio del hongo promueve la intervención correcta de la tierra, haciéndolo un proceso de cultivo que servirá como abono para recuperar las zonas en mal estado, de esta manera se evitaría continuar con las problemáticas previamente nombradas.

Norma de Construcción Sismo Resistente

La NSR-10 Título A en cuanto a los *Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente*, para su apartado A.1.3.13 *Construcción responsable ambientalmente*, dictamina que las construcciones hechas en el territorio nacional deben cumplir con el uso responsable ambientalmente de materiales y procedimientos constructivos, tomando en cuenta que los recursos naturales deben usarse de manera adecuada y cuidando el efecto negativo que pueda producir, evitando el deterioro y vulnerabilidad del medio ambiente, lo anterior debe realizarse desde la etapa de diseño y llevarse a cabo correctamente en su etapa de construcción (NSR-10, Tít. A.1.3.13, 2010).

Por otra parte, la NSR-10 Título G en cuanto a *Estructuras de madera y estructuras de guadua*, que establece los requisitos para diseño estructural de las edificaciones en madera

(NSR-10, Tít. G.1.1.1, 2010). El cual deberá ser utilizado para el diseño y correcto funcionamiento de la estructura a utilizar en la instalación de los paneles aislantes.

Norma de Ensayos en Laboratorio

La American Society for Testing and Materials (ASTM D695) describe un método de prueba estándar que determina las propiedades de compresión de un material, para esto se hace uso de una máquina BOENING BSS 7260, la cual se usa para probar materiales compuestos por fibras, debajo de una compresión axial (ASTM, 2017).

Además, la Norma ASTM D3039 estandariza el método de prueba en donde se determinan las propiedades de tracción de un elemento compuesto, por medio de esta se puede medir la resistencia a la tracción, deformación máxima, módulo de tracción, relación de Poisson, deformación de transición y su modo de falla (ASTM, 2019).

Por medio de todo lo anterior, se determina el cumplimiento de la normativa nacional e internacional que permite llevar a cabo el completo desarrollo de esta investigación.

CAPÍTULO III. Metodología

En un principio el proyecto adaptó la metodología tomada de *Cultivo de Setas Comestibles Micelio y Alpacas* donde se explica desde el manejo del hongo, la inoculación del micelio, su cultivo, y posterior producción para el hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado en los sustratos de cascarilla de arroz y fique, sin embargo, a medida en que se elaboraba el panel, se fue desarrollando una metodología propia.









En cuanto al proceso de cultivo, se realizaron 12 paneles, de los cuales: tres paneles que cuentan con medidas de $33 \times 28 \times 5$ cm y tres paneles con medidas de $33 \times 28 \times 2.5$ cm, estos tienen como sustrato únicamente la cascarilla de arroz; los 6 paneles restantes están divididos en tres paneles con medidas de $33 \times 28 \times 5$ cm y tres paneles con medidas $33 \times 28 \times 2.5$ cm, que utilizan como sustrato cascarilla de arroz y fique.

Antes de iniciar el cultivo fue necesario construir un invernadero en donde se alojaron los paneles, esto con el fin de simular las condiciones ambientales para el óptimo crecimiento de los hongos, intentado mantener temperaturas internas entre los $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, además de alejar los paneles de cualquier ente contaminante.

Recursos para Construir el Invernadero

Tabla 4

Tabla de Recursos Instalación de Invernadero

Materiales Invernadero			
Nombre	Imagen	Nombre	Imagen
Tubos de policloruro de vinilo (PVC) Cantidad: 9 de 1/2"		Plástico transparente Cantidad: 21 m ² de 3 m × 7 m	
Codo 90° 1/2"		Cinta trasparente gruesa	
Tees 1/2"		Grapadora	
Uniones 1/2"		Grapas	

Nota: En la tabla anterior se muestran las imágenes correspondientes a los elementos que permiten la construcción del invernadero para esta metodología. Imágenes tomadas de (<https://bim.pavco.com.co/es/Paginas/libreria.asp?lineId=37>), (<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/no-search-result?Ntt=118830804>), (<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/202553/codo-90-x-1-2-roscado-x-soldado-presion/202553/>), (<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/90111/cinta-empaque-transparente-100m-x-48mm/90111/>), (<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/no-search-result?Ntt=118825846>), (<https://www.amazon.com/-/es/Grapadora-grapadoras-escritorio-resistente-capacidad/dp/B09V8xTR4D?th=1>), (<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/04720/union-1-presion/04720/>), (<https://www.ferreteriamegacol.com.co/producto/grapas-para-grapadoras-corona-11-3-mm/>).

Proceso de Construcción del Invernadero 1.30 × 1.90 × 2.10 m

A continuación, se describen los pasos para la elaboración del invernadero desde la obtención de los materiales hasta la finalización de este.

1. Cortar los tubos de PVC: Para hacer un espacio lo suficientemente amplio para el cultivo y albergue de los paneles, es necesario ajustar los nueve tubos de PVC de la siguiente manera:
 - a) 8 tubos de un metro
 - b) 8 tubos de 0.95 metros
 - c) 4 tubos de 1.30 metros
 - d) 4 tubos de 0.10 metros
 - e) 2 tubos de 2.10 metros
2. Conectar en 4 grupos de 2 tubos de PVC con medidas de 1 m por medio del uso de 1 tee de ½”.

Figura 10

Instalación de tubos de PVC. Paso 2

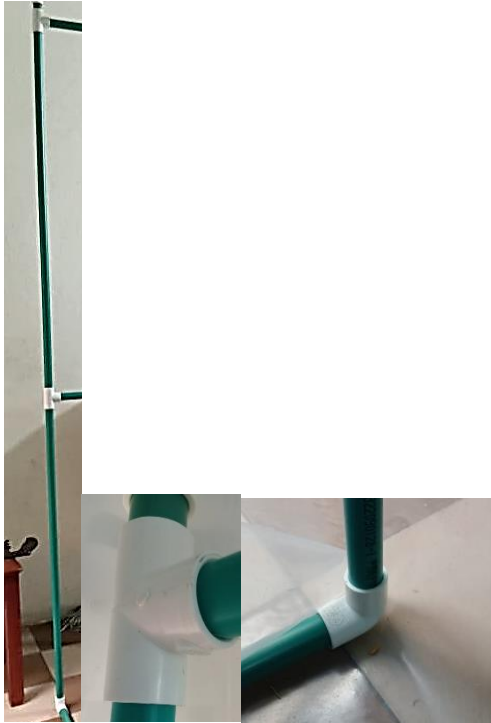


Nota: En las imágenes anteriores se muestra la instrucción para conectar los tubos de PVC de manera que se logre la altura necesaria para el invernadero. Elaboración Propia.

3. Una vez elaborados los 4 grupos, en la parte superior de los tubos conectar una tee de $\frac{1}{2}$ " para lograr una medida de 1.30 metros y, en la parte inferior conectar 1 codo de $\frac{1}{2}$ " rotado 90° para conseguir la medida de 1.90 metros

Figura 11

Instalación tubos de PVC. Paso 3

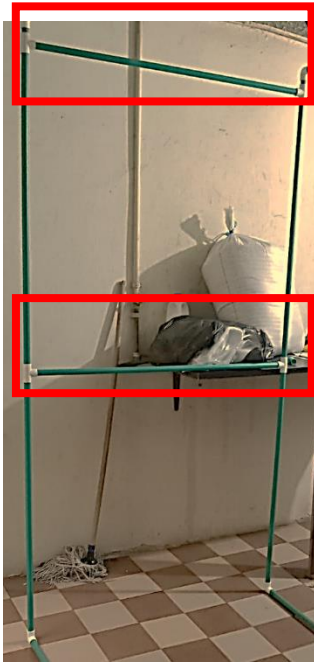


Nota: En las imágenes anteriores se muestra la instrucción para conectar los tubos de manera que se pueda crear la estructura de tubos plásticos para el invernadero. Elaboración propia.

4. Para crear las caras de 1.30 m, tomar los tubos de dicha medida y unirlos a las 4 tees de 1/2" que se conectaron anteriormente

Figura 12

Instalación Tubos de PVC. Paso 4



Nota: En la imagen anterior se muestran los elementos horizontales que permiten que la estructura se sostenga y su instalación, esto con la intención de que la estructura soporte la actividad dentro de la misma. Elaboración propia.

5. En la parte superior de los 4 tubos, añadir 4 tees de $\frac{1}{2}$ " , e insertar los tubos de 0.10 m.

Figura 13

Instalación tubos de PVC Paso 5



Nota: En la imagen se muestra las uniones en T que permiten que los elementos verticales del invernadero se junten con los horizontales para sostener la estructura de manera paralela. Elaboración propia.

6. Una vez colocados los tubos más pequeños, en el remate del tubo colocar los 4 codos de $\frac{1}{2}$ " restantes en el sentido de la medida de 1.90 metros

Figura 24

Instalación Tubos de PVC Paso 5

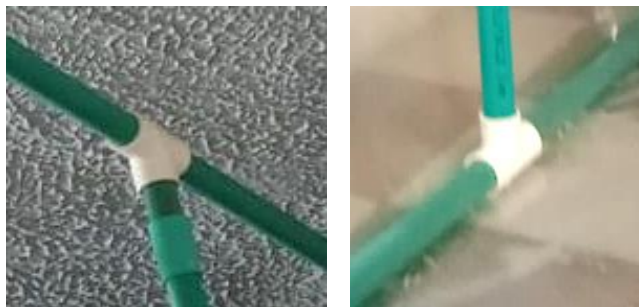


Nota: En la imagen se muestra las uniones en T que permiten que los elementos verticales del invernadero se junten con los horizontales para sostener la estructura de manera paralela. Elaboración propia.

7. En los codos dirigidos hacia la medida de 1.90 m insertar los tubos de 0.95 m y conectarlos mediante una tee en la parte superior e inferior

Figura 14

Instalación tubos PVC Paso 7



Nota: En las imágenes anteriores se muestra las uniones en T para los elementos horizontales que permiten que el largo del invernadero permita la actividad dentro del mismo. Elaboración propia.

8. Por último, cubrir la estructura elaborada con plástico transparente.

Figura 15

Instalación invernadero Paso 8



Nota: En la imagen se muestra el recubrimiento total de la estructura con plástico transparente y negro que aislé el contacto exterior que se puede tener durante el cultivo. Elaboración propia.

Recursos para el Cultivo I

Tabla 1

Tabla de recursos para cultivo 1

Nombre	Imagen	Nombre	Imagen
Estante metálico		Moldes para el panel plásticos o metálicos (Aluminio) Cantidad: 12	
Cucharas plásticas		Cuchara metálica	
Cucharón		Vinipel	
Recipientes plásticos grandes		Recipiente para hervir agua	
Coladera por sustrato		Sustrato de Fique	

Nombre	Imagen	Nombre	Imagen
Sustrato de cascarilla de arroz		Micelio <i>Pleurotus ostreatus</i>	
Cajas de cartón		Cobijas	
Bolsas de polipropileno calibre 1"		Cal hidratada	
Alcohol		Agua hervida	
Guantes de nitrilo		Tapabocas	

Nota: En la tabla se muestran los elementos necesarios para todo el cultivo del hongo, esto tomando en cuenta la metodología adaptada a esta investigación. Imágenes tomadas de: 1. (<https://www.orquidea.com.co/Bolsas-transparentes10x12cms>), 2. (<https://www.calnoreste.com/sabes-que-es-la-cal-hidratada-y-sus-usos/>), 3. (<https://www.edenagua.com/es-recomendable-tomar-agua-hervida/>). Tabla de elaboración propia.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

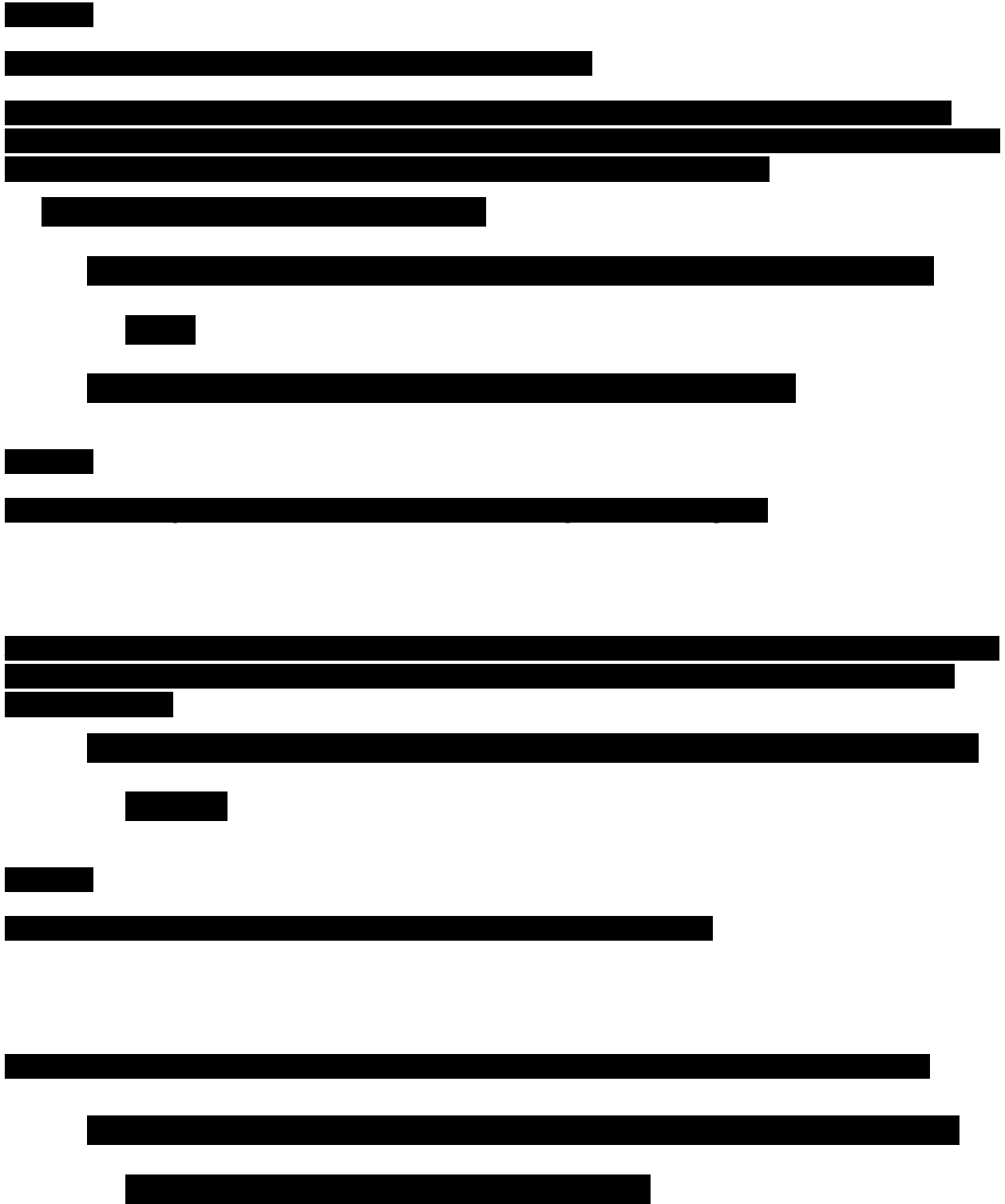
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]







[REDACTED]











Recursos para el cultivo II

Tabla 2

Tabla de elementos para el proceso del segundo cultivo

Materiales cultivo			
Nombre	Imagen	Nombre	Imagen
Estante metálico		Moldes pen MDF de 50 × 50 × 5cm y 50 × 50 × 2.5cm	
Moldes pen MDF de 30 × 30 × 5 cm y 30 × 30 × 2.5cm		Costales de Fique	
Cartón por pedazos pequeños		Cuchara metálica	

Materiales de cultivo	Materiales de cultivo	Materiales de cultivo	Materiales de cultivo
Cucharas plásticas		Vinipel	
Cucharon		Recipiente para hervir el agua	
Recipientes plásticos grandes		Sustrato de Fique	
Coladera por sustrato		Micelio Pleurotus Ostreatus	
Sustrato de cascarilla de arroz		Cobijas	

Cajas de cartón		Cal hidratada	
Bolsas de polipropileno calibre 1.5´		Agua hervida	
Alcohol		Tapabocas	
Guantes de nitrilo		Cola especial para madera	

Nota: En la tabla se muestran los elementos necesarios para todo el cultivo del hongo, tomando en cuenta la metodología adaptada a esta investigación. Imágenes tomadas de: 1. (<https://www.orquidea.com.co/Bolsas-transparentes10x12cms>), 2. (<https://www.calnoreste.com/sabes-que-es-la-cal-hidratada-y-sus-usos/>), 3. (<https://www.edenagua.com/es-recomendable-tomar-agua-hervida/>). Tabla de elaboración propia.

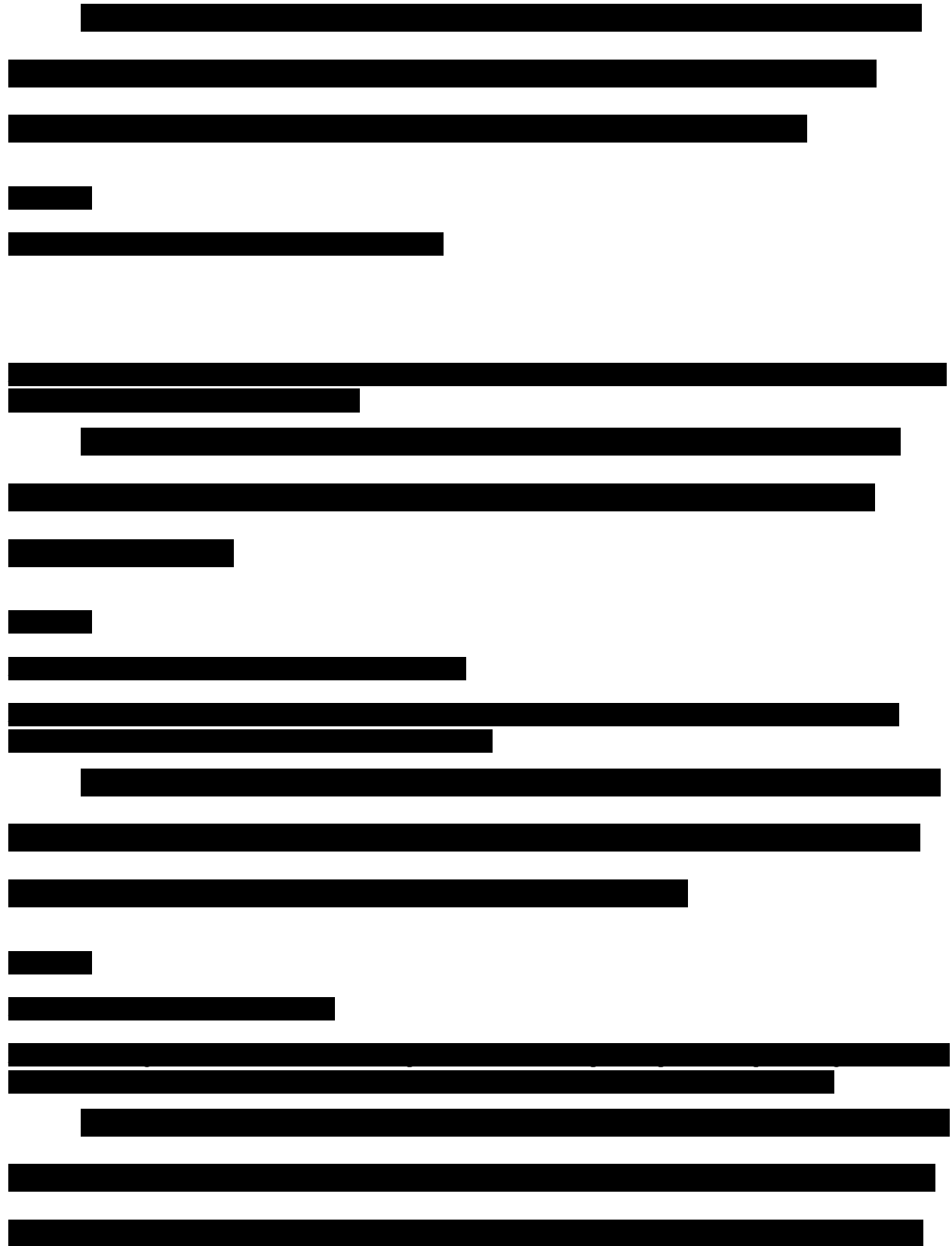
[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

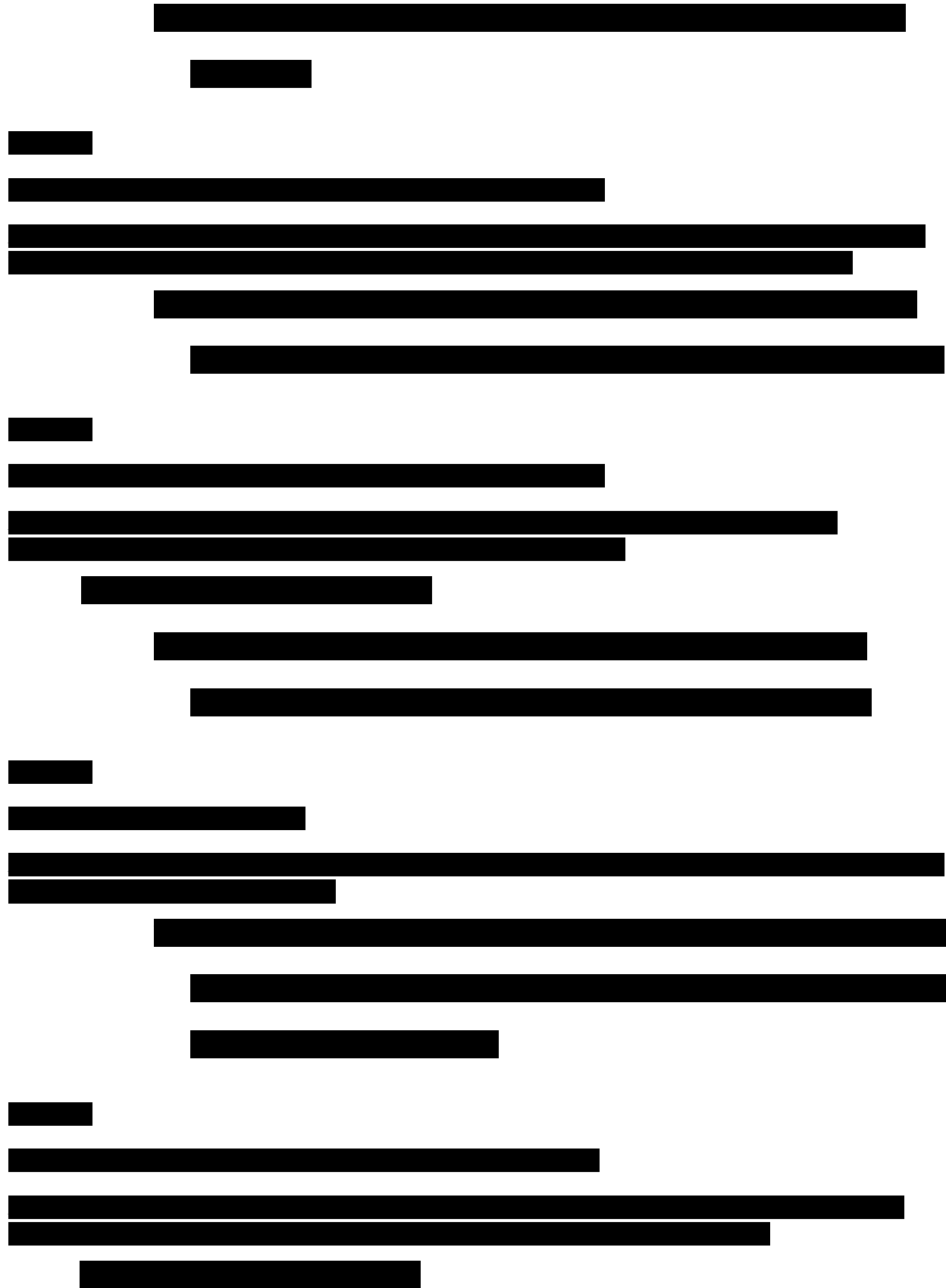
[REDACTED]

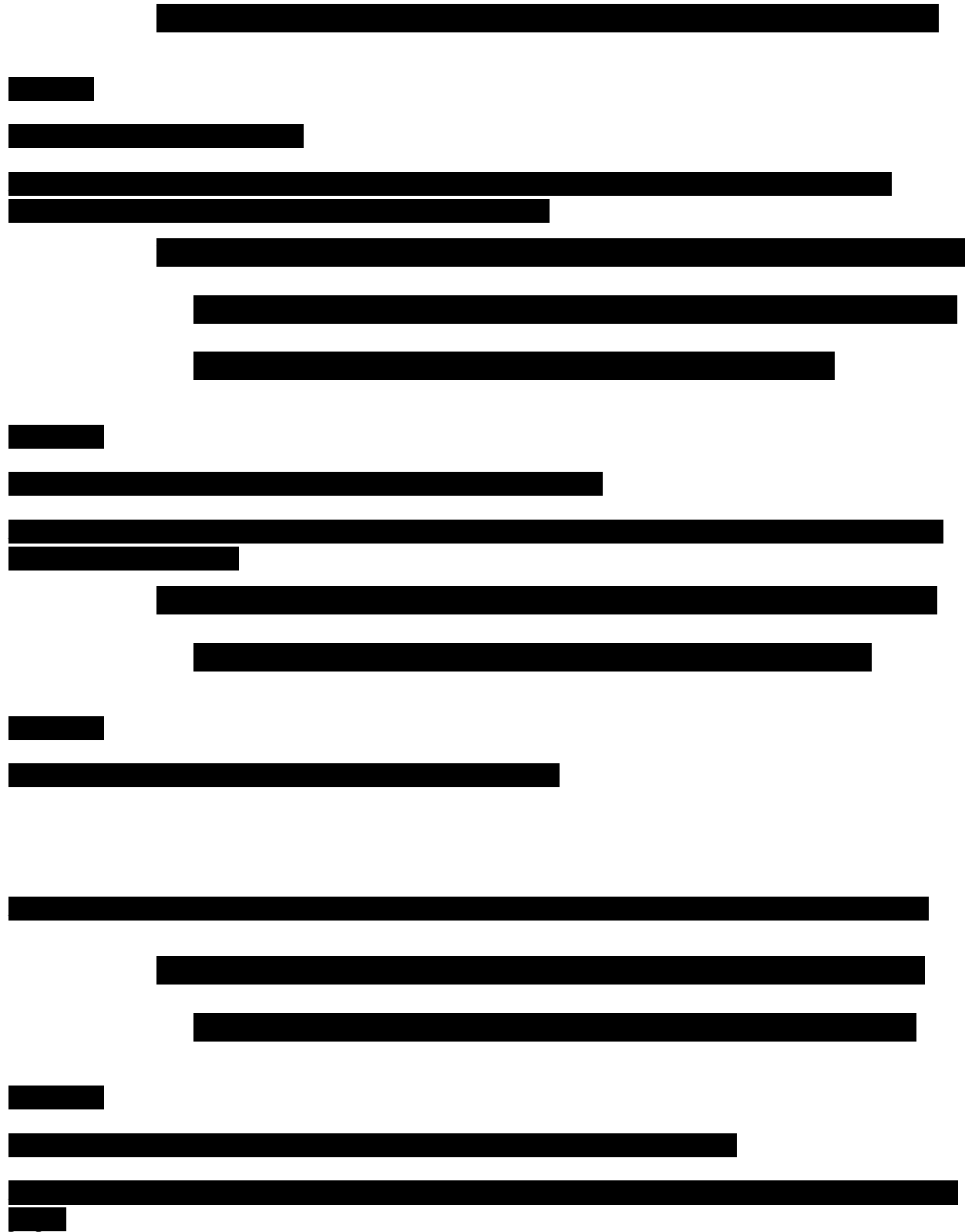
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]





[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
		[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

CAPÍTULO IV: Análisis y Discusión de Resultados

Prueba de Aislamiento Térmico

Esta prueba se realiza mediante el proceso de la termografía, que consiste en detectar la temperatura u ondas infrarrojas de un objeto o superficie sin entrar en contacto físico con el mismo. Para llevar a cabo este proceso es necesario hacer uso de la cámara termográfica, que se encarga de captar la energía calórica que transmite un objeto, esta es invisible al ojo humano y la cámara la transforma en una imagen visible acorde con la temperatura externa del objeto. La luz que emite la cámara infrarroja es también llamada luz infrarroja siendo su fuente principal el calor que emite cada objeto, es decir, entre más caliente esté en su superficie, más radiación infrarroja se verá.

Figura 109

Cámara termográfica



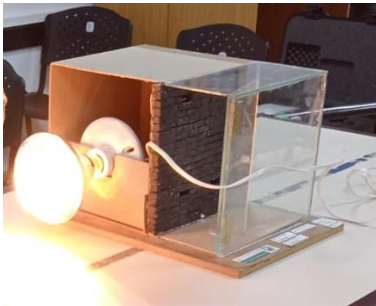
Nota: En la imagen anterior se muestra la cámara termográfica del Laboratorio de Bioclimática de La Universidad La Gran Colombia. Elaboración propia.

[Redacted text block consisting of five horizontal black bars of varying lengths]



Figura 110

Fuente de calor

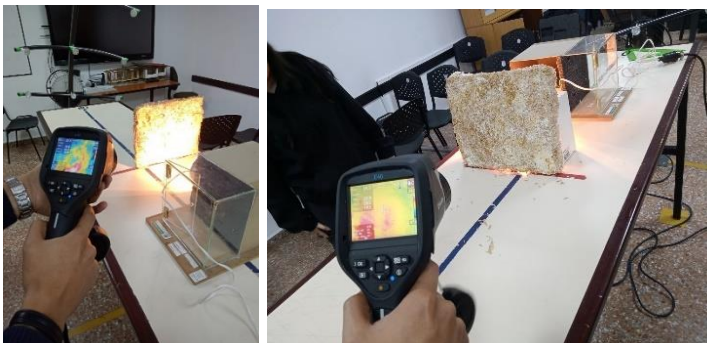


Nota: Bombillo Flood Lamp Silvania de 150 vatios del Laboratorio de Bioclimática de La Universidad La Gran Colombia. Elaboración propia.



Figura 111

Tomas con la cámara termográfica al minuto uno



Nota: La figura muestra la primera toma al minuto uno con la cámara termográfica, recogiendo los datos por la cara anterior del panel, que recibe la energía directamente del bombillo, y la medición con la cámara termográfica recogiendo los datos por la cara posterior del panel. Elaboración propia

Transcurridos 15 minutos, se realizan las dos mediciones restantes, siguiendo el mismo procedimiento de una toma por el lado de la luz directa del bombillo y otra toma por la parte posterior del panel.

Figura 112

Mediciones con la cámara termográfica al minuto 15



Nota: La figura muestra la segunda toma al minuto 15 con la cámara termográfica, recogiendo los datos por la cara anterior del panel que recibe directamente la energía del bombillo y la segunda toma recogiendo los datos por la cara posterior del panel. Elaboración propia.

[Redacted text]

[Redacted text]

Tabla 2

[Redacted text]

[Redacted header text]	
[Redacted data]	[Redacted data]
[Redacted data]	[Redacted data]
[Redacted data]	[Redacted data]

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]

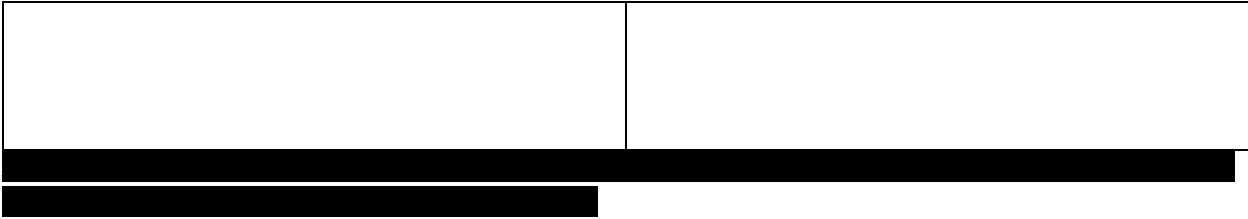
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	

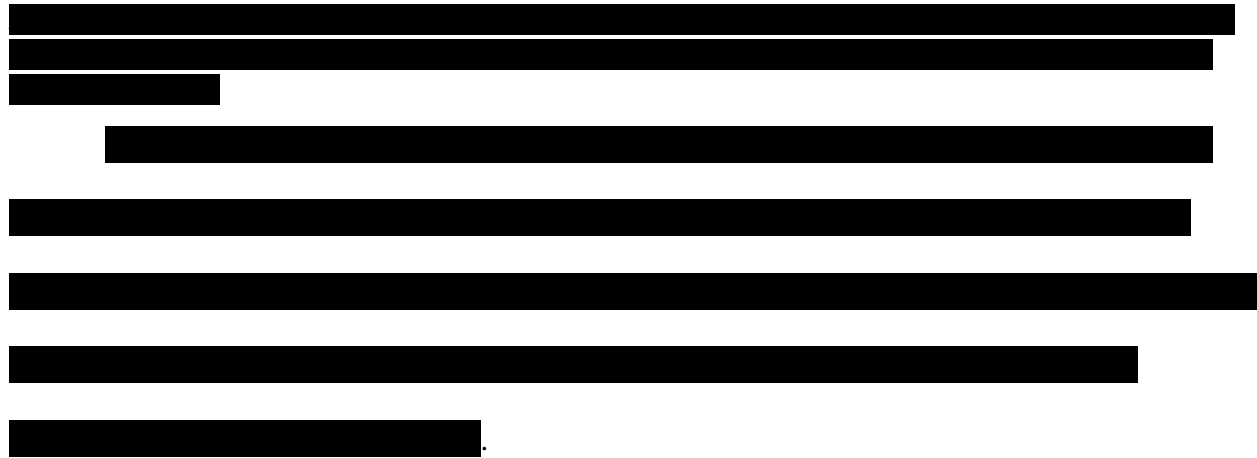
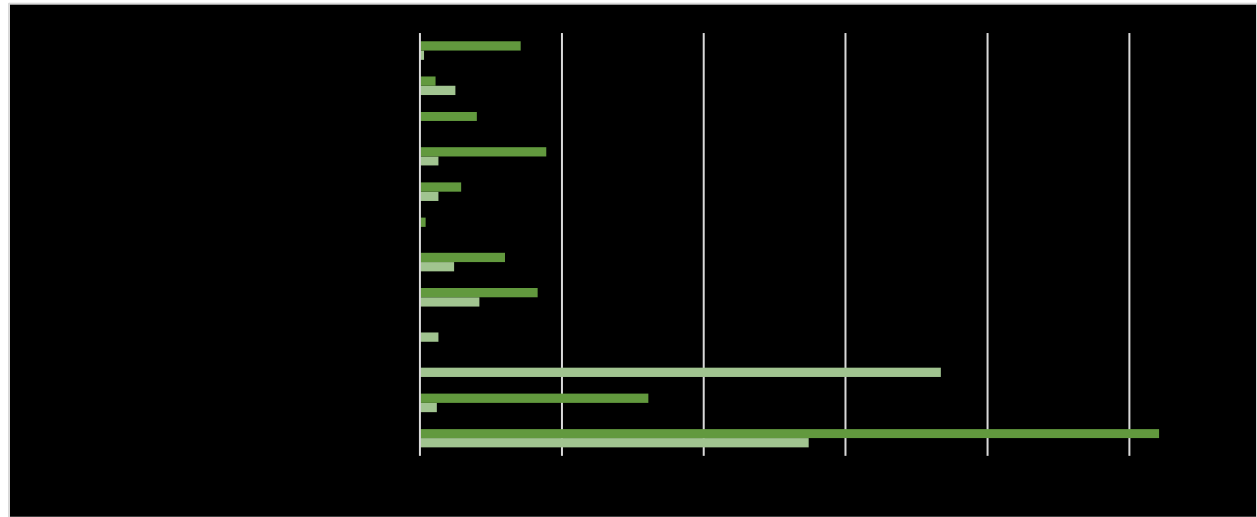
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]



[REDACTED]	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	
[REDACTED]	





Prueba de aislamiento acústico

La prueba acústica se realizó mediante el sonómetro del laboratorio de bioclimática de la Universidad La Gran Colombia, este instrumento se encarga de medir los niveles del sonido de

forma a como lo hace el oído humano, de manera que sus resultados se presentan de la forma más realista posible bajo los niveles normales de presión sonora para el hombre.

El sonómetro está constituido por un micrófono superior y una cámara electrónica inferior encargada de leer los datos obtenidos por el micrófono. Este funciona de tal manera que el micrófono superior recibe las ondas sonoras provenientes del exterior, una vez recibidas, por medio del sistema de procesamiento, convierte las ondas a señales eléctricas, mostrando en la pantalla los datos obtenidos en decibeles y grabando para su posterior análisis.

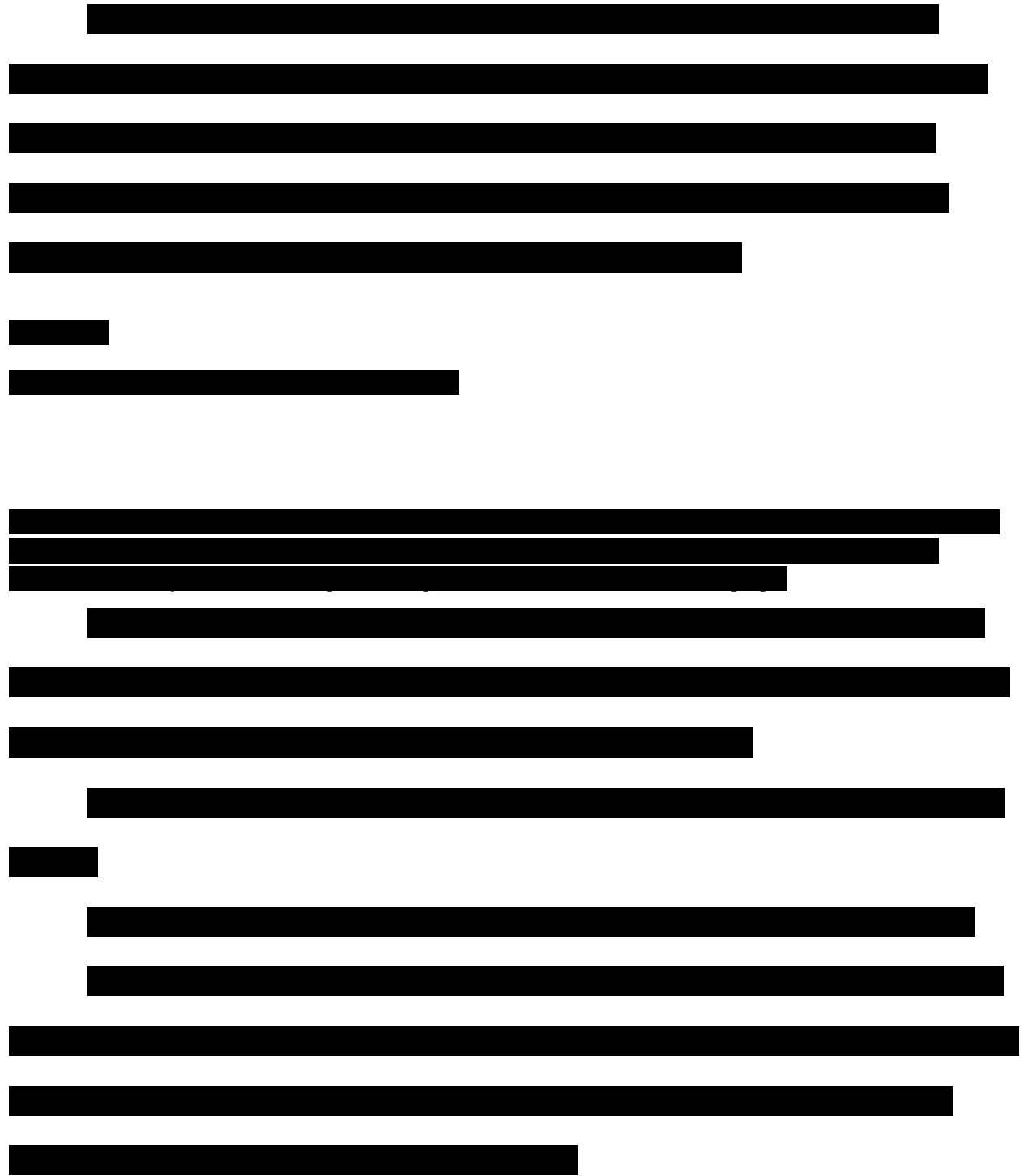
Figura 114

Sonómetro



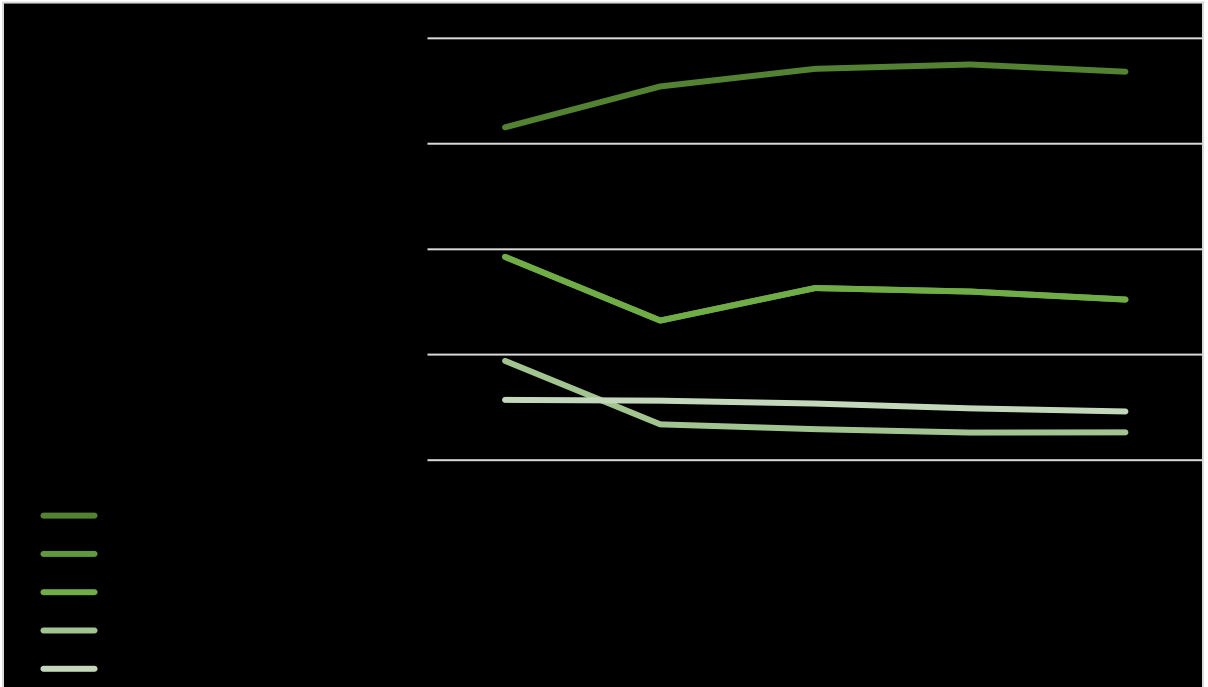
Nota: En la imagen se muestra el sonómetro de la Universidad La Gran Colombia de medidas de 28 cm × 10 cm. Elaboración propia.

Para realizar la prueba del primer cultivo fue necesario confeccionar una caja en MDF con las medidas de 33 × 28 × 48 cm, recubierta en su interior con icopor con la intención de aislar el sonido de manera fácil y económica. Las medidas se deben a que la tapa de la caja corresponde a los paneles en micelio, de manera que debe cumplir con las medidas exactas de los mismos.



[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

Figura 119

Caja acústica para segundo cultivo



Nota: La figura muestra la caja en MDF e icopor construida para el segundo cultivo. Elaboración propia.

Para esta segunda parte no se tomó prueba de ambiente, ya que se tuvo en cuenta la del primer cultivo ya que se realizó bajo las mismas condiciones. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

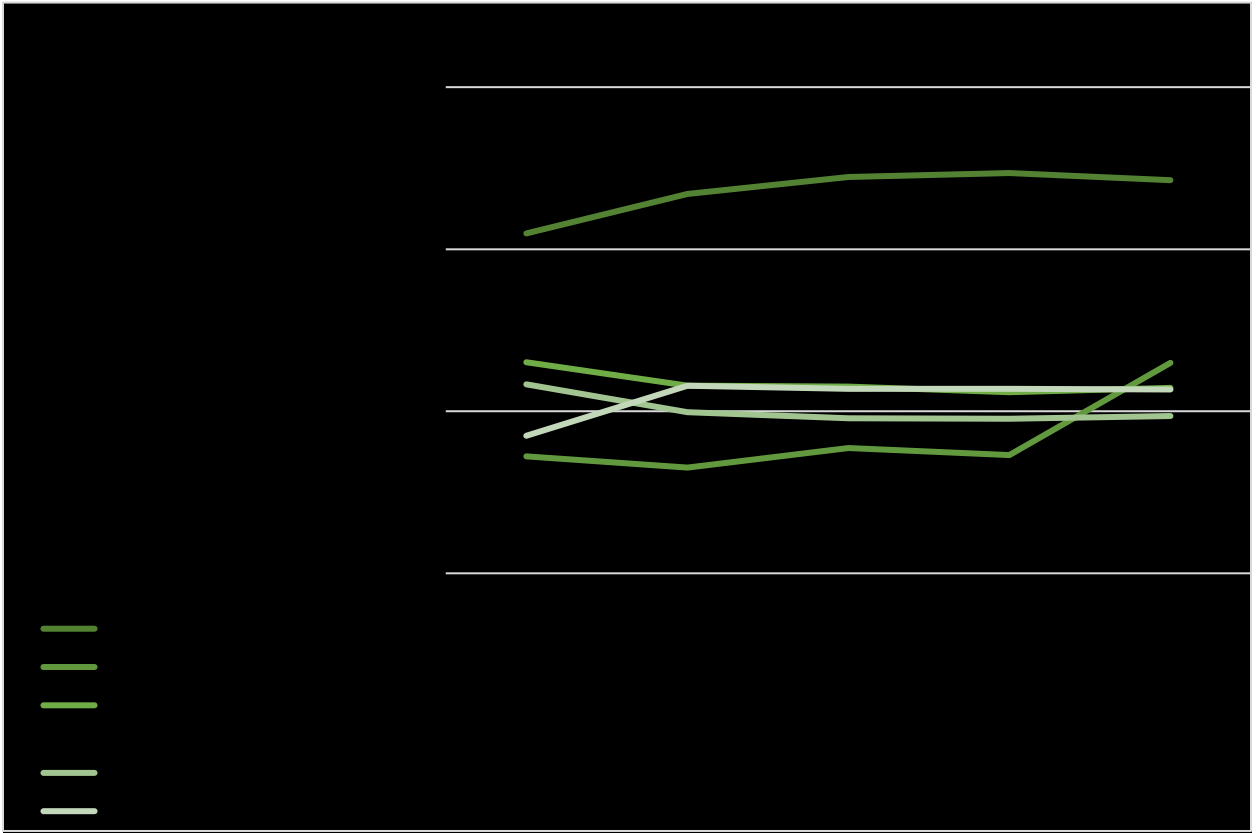
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

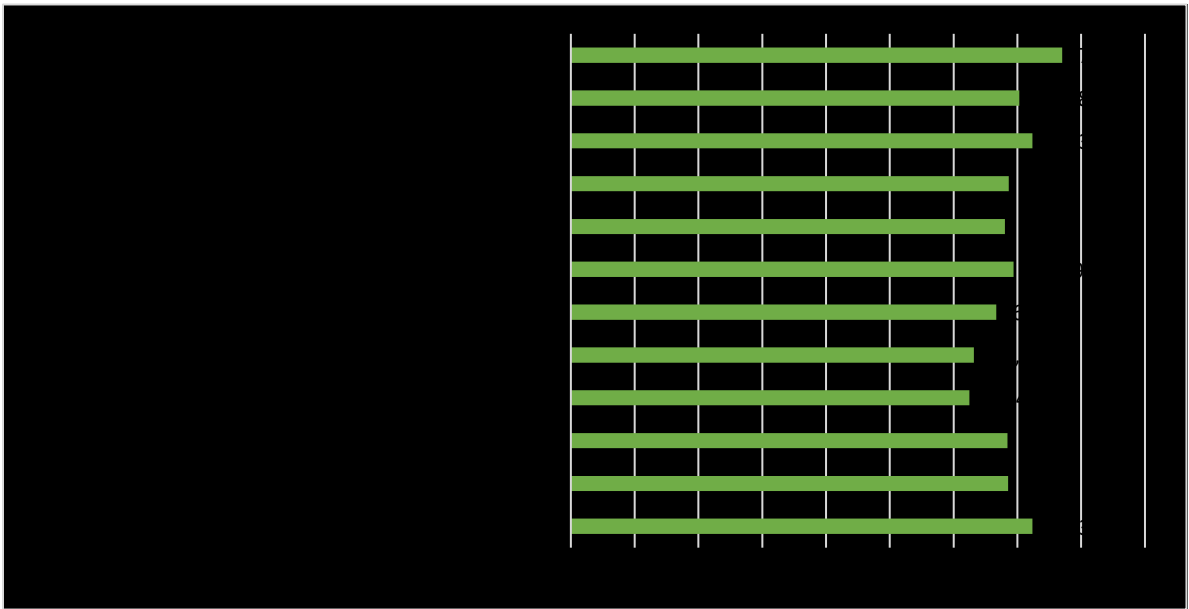
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text block]



[Redacted text block]



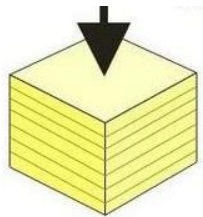
Prueba de resistencia a compresión

Para las pruebas de resistencia para el primer cultivo, se optó por realizar la prueba a compresión, esto a falta de paneles para poder realizar la prueba de flexión.

La prueba de resistencia a compresión se define como “la capacidad para soportar una carga por unidad de área”, tal como muestra la imagen es un esfuerzo que se hace sobre la parte superior del elemento hasta llegar al punto de quiebre del mismo, según la fuerza y velocidad aplicada.

Figura 135

Representación de la manera en que se aplican las fuerzas a compresión



Nota: Elemento cuadrado que muestra en donde se aplica la fuerza en un elemento para una prueba de compresión. Tomado de *Resistencia a Compresión de Piedra Natural*, Construmática, 2009.

(https://www.construmatica.com/construpedia/index.php?title=AP-007._Resistencia_a_Compresi%C3%B3n_de_Piedra_Natural&mobileaction=toggle_view_desktop)



Figura 136

Marcos de distribución de carga

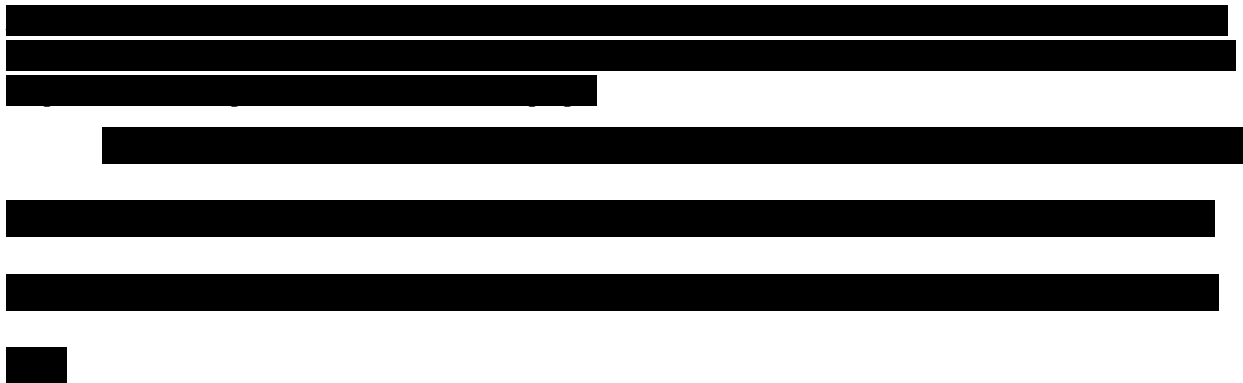


Figura 137

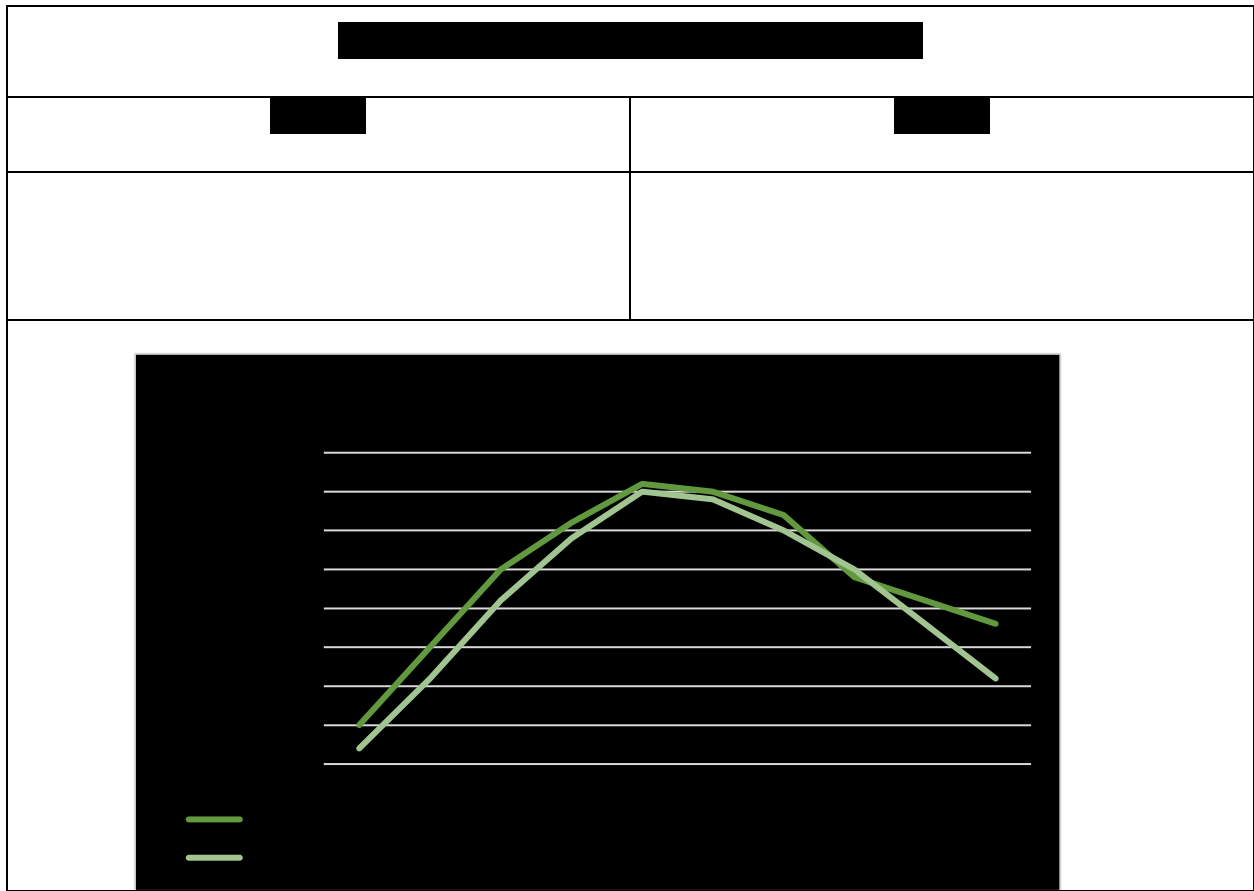
Panel antes de empezar la prueba a compresión



[Redacted text block]

Tabla 13

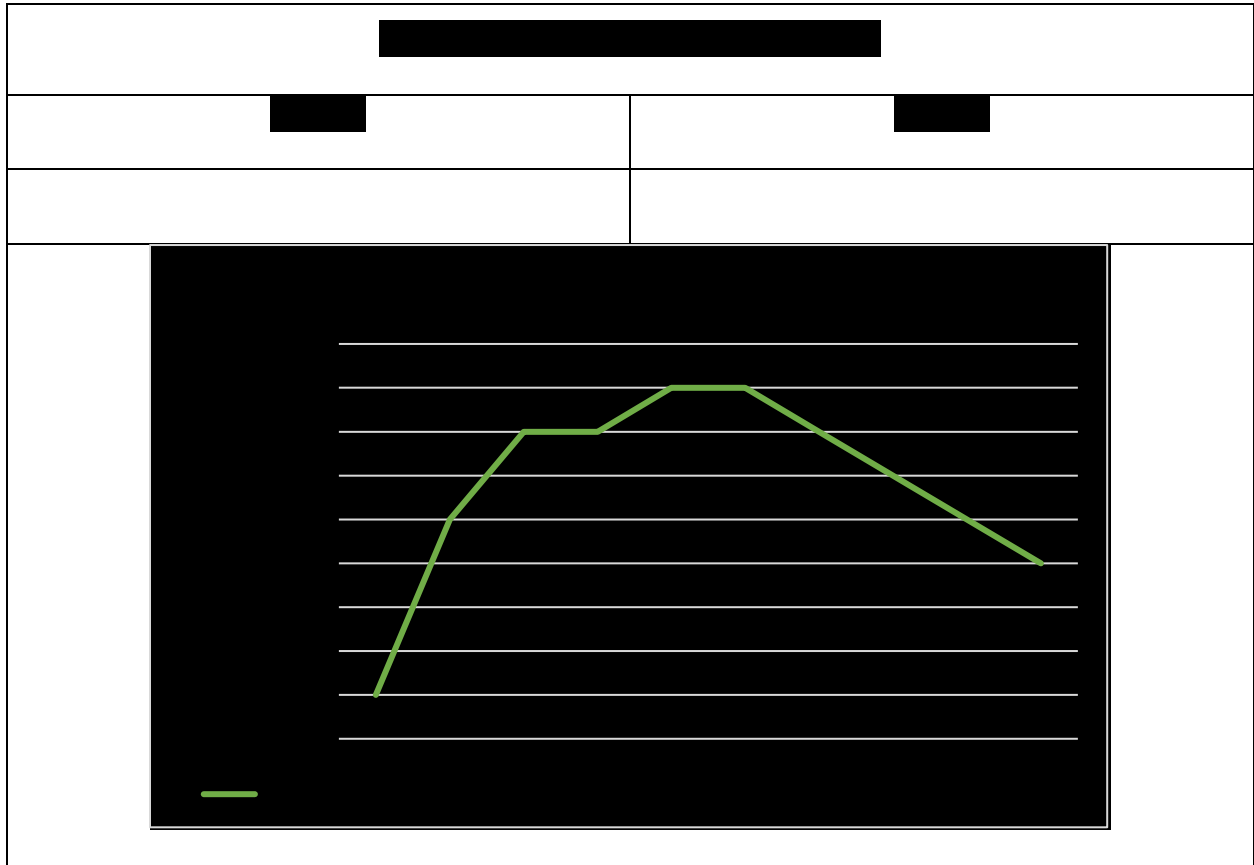
Imágenes de resultados para paneles fique/cascarilla de 2.5 cm



[Redacted text block]

Tabla 14

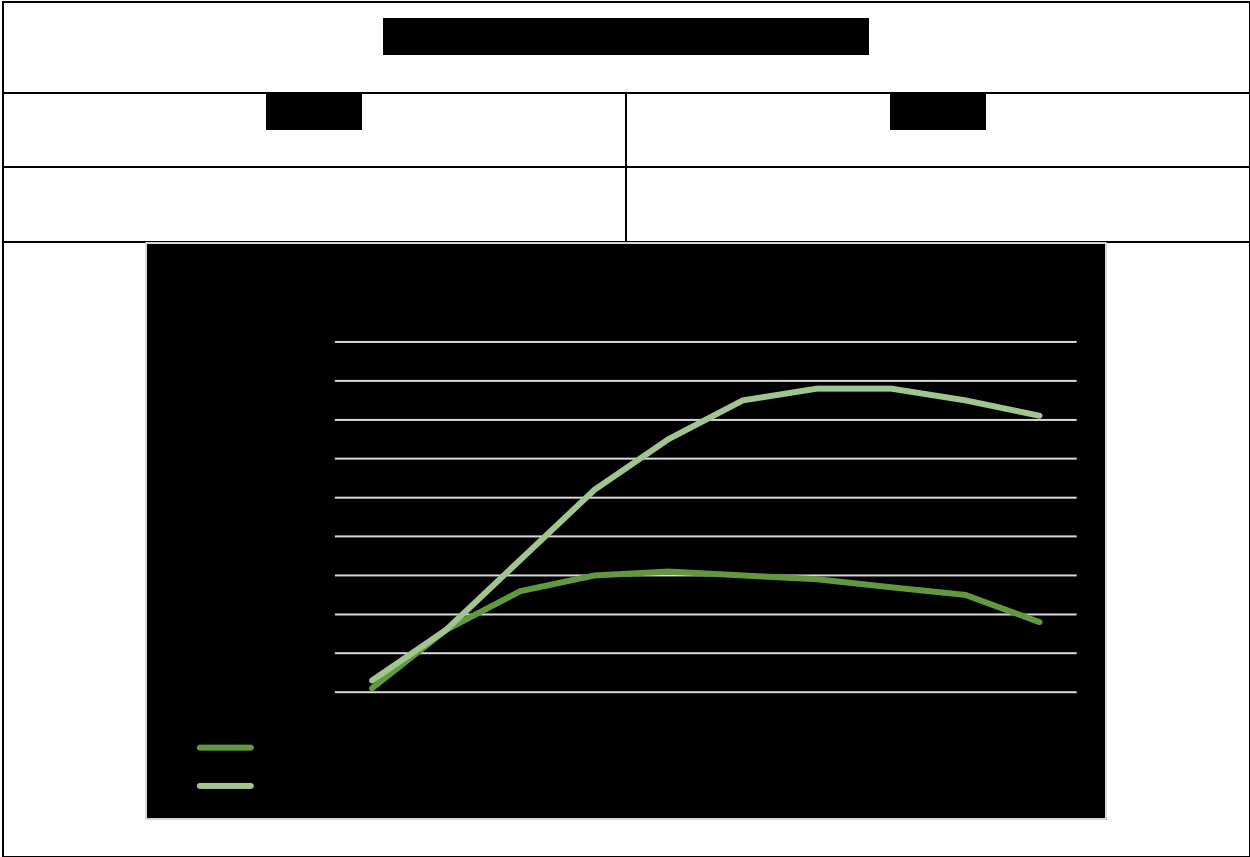
Imágenes de resultados para los paneles de cascarilla de 2.5 cm



[Redacted text block]

Tabla 15

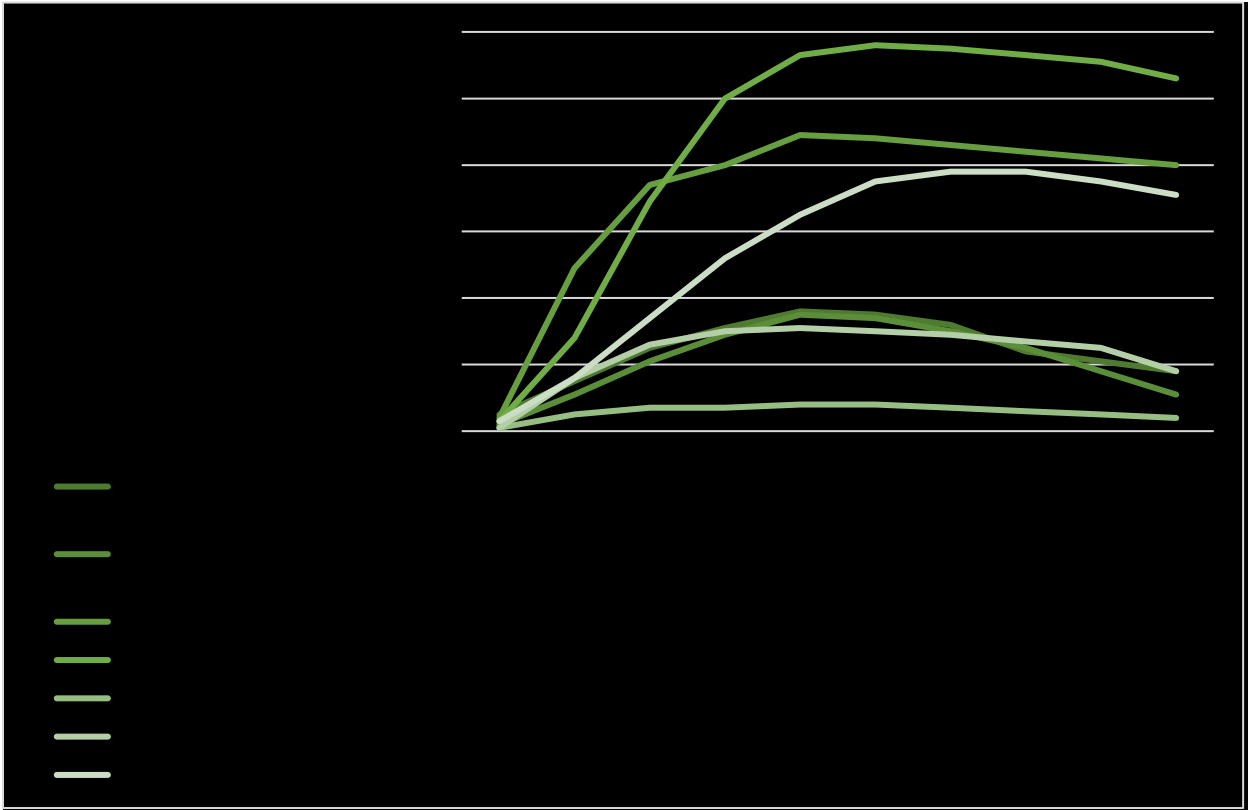
[Redacted text block]



[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

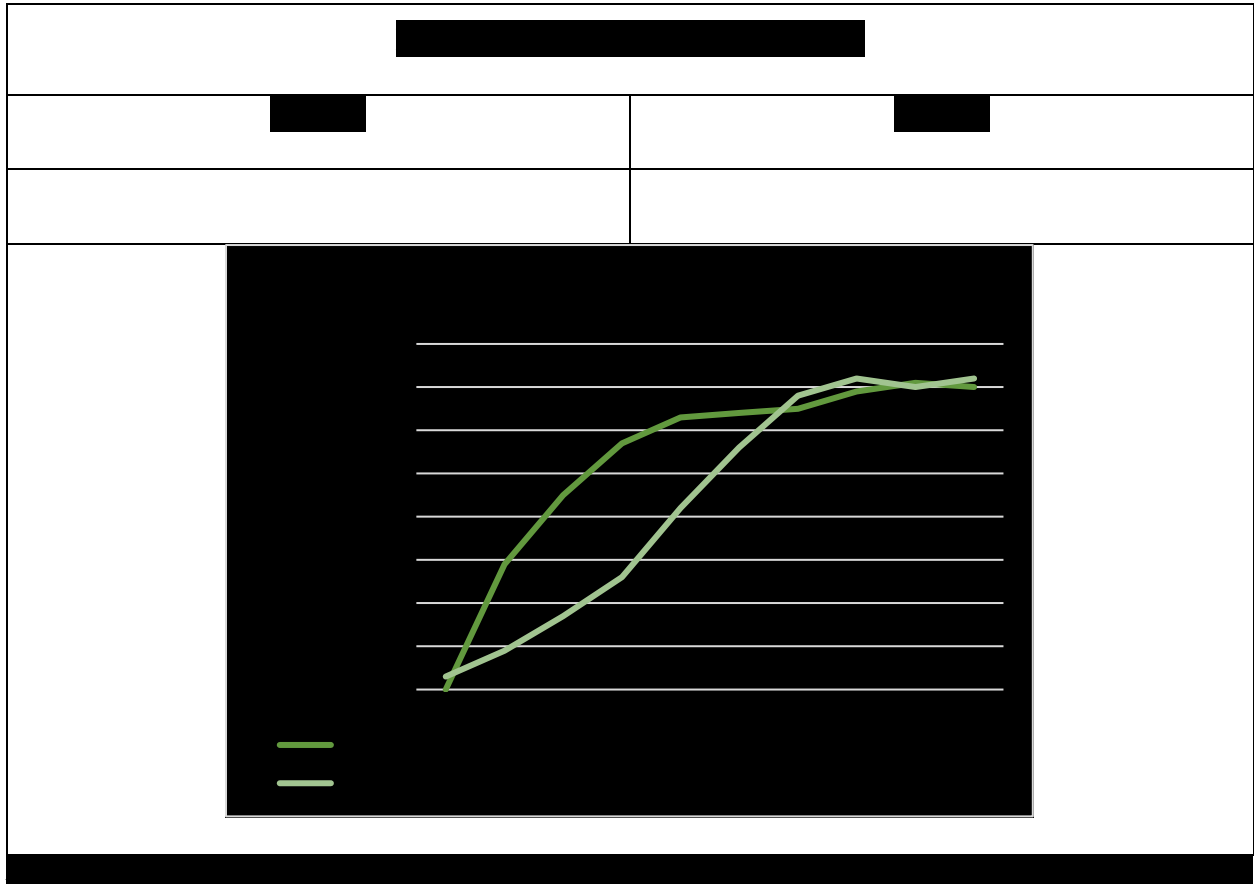
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

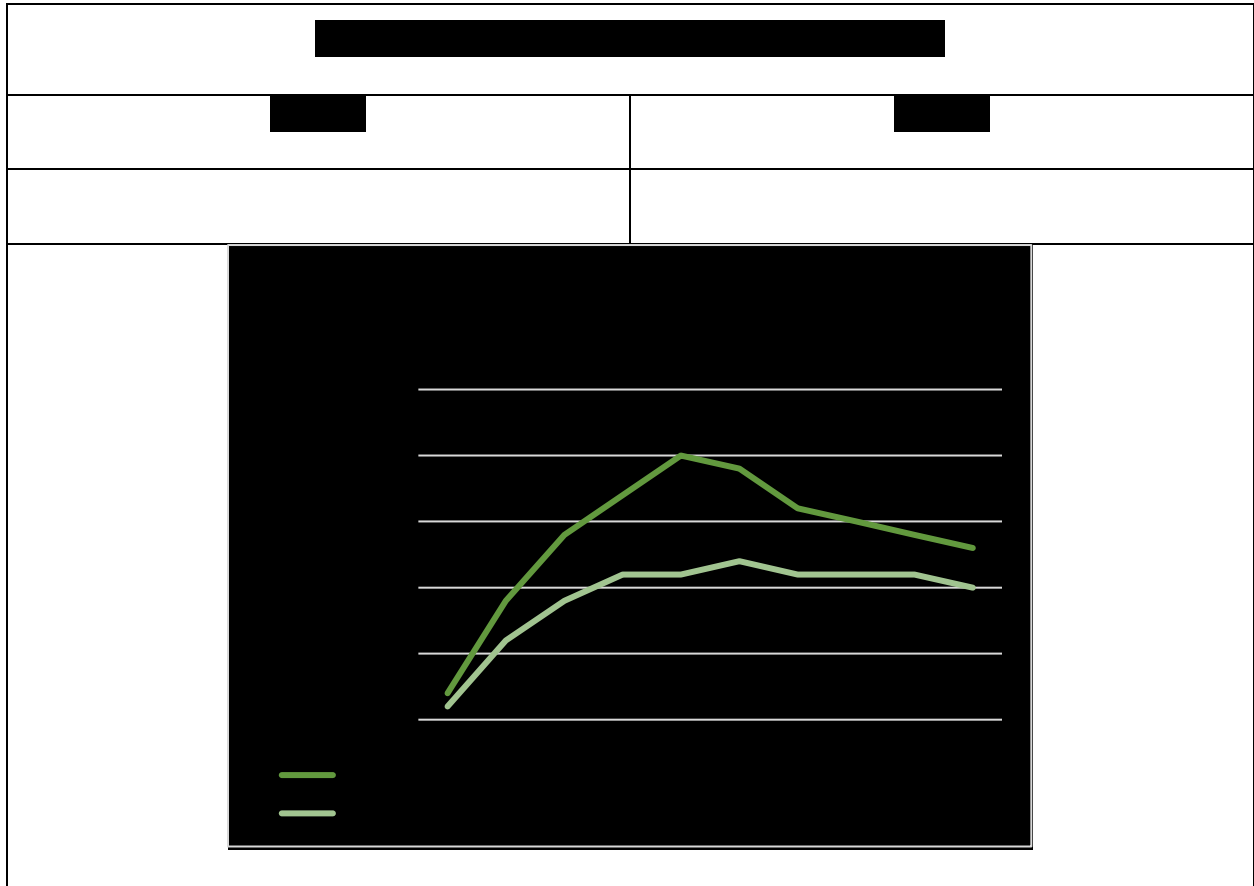


[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]



[Redacted text]

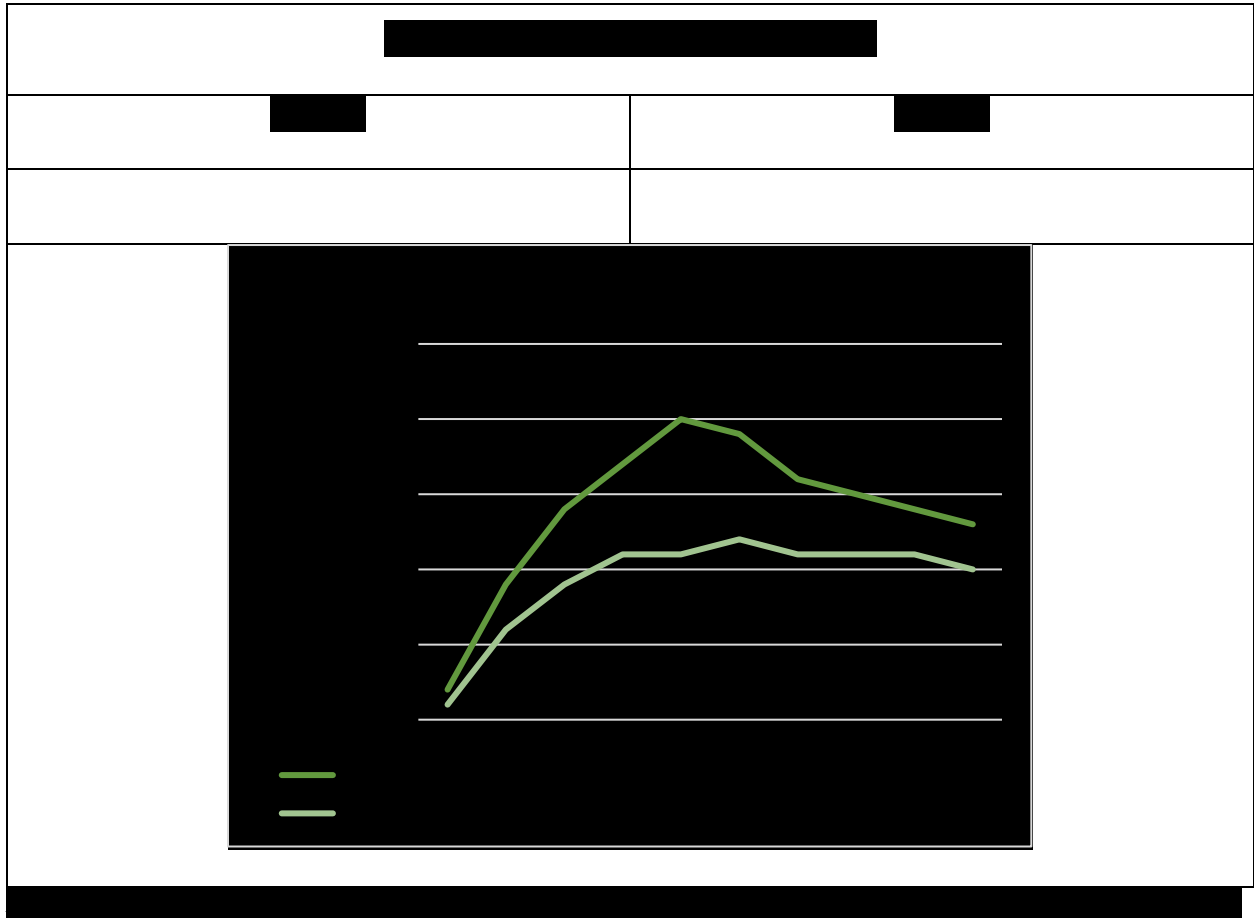
[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

Tabla 11

[Redacted text]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

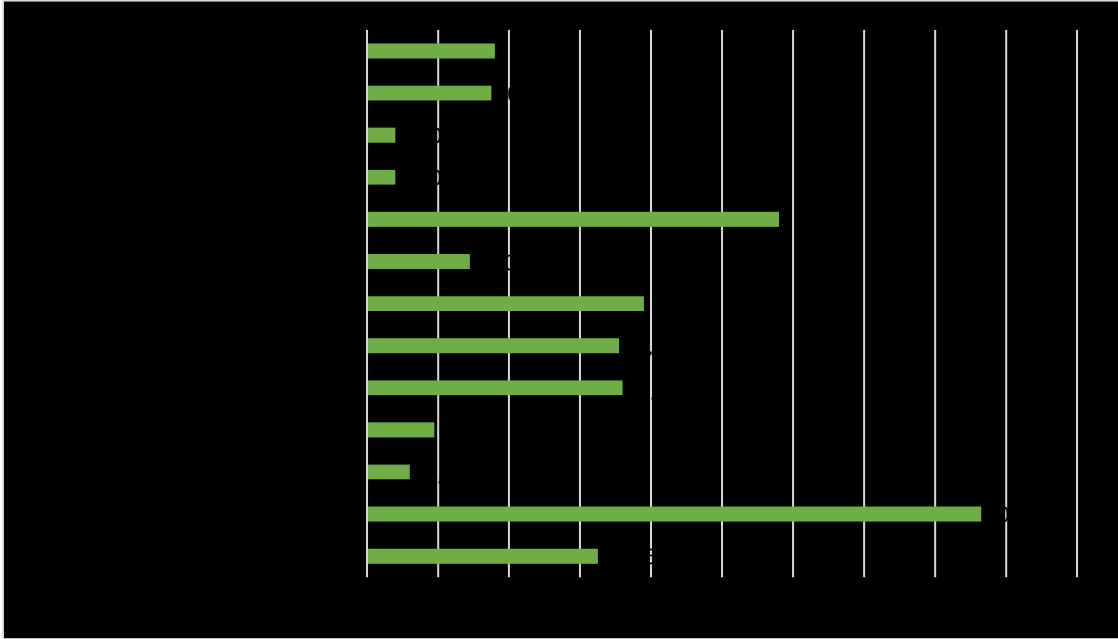
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

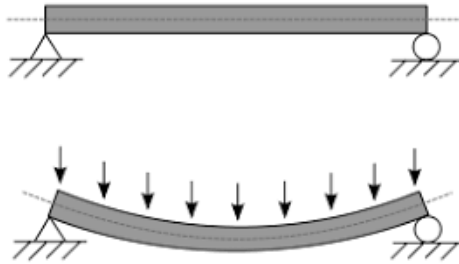
[Redacted]

Prueba de resistencia a la flexión

Esta prueba se utiliza para comprobar la resistencia a la flexión de los materiales a partir de la presión aplicada en uno, tres o cuatro puntos de apoyo, según se escoja para cada caso.

Figura 141

Representación gráfica de la fuerza aplicada a flexión



Nota: La figura muestra un elemento horizontal y la forma en la que se aplican las cargas en la prueba a flexión.
Tomado de *Flexión mecánica*. Wikipedia, 2023. (https://es.wikipedia.org/wiki/Flexi%C3%B3n_mec%C3%A1nica)

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

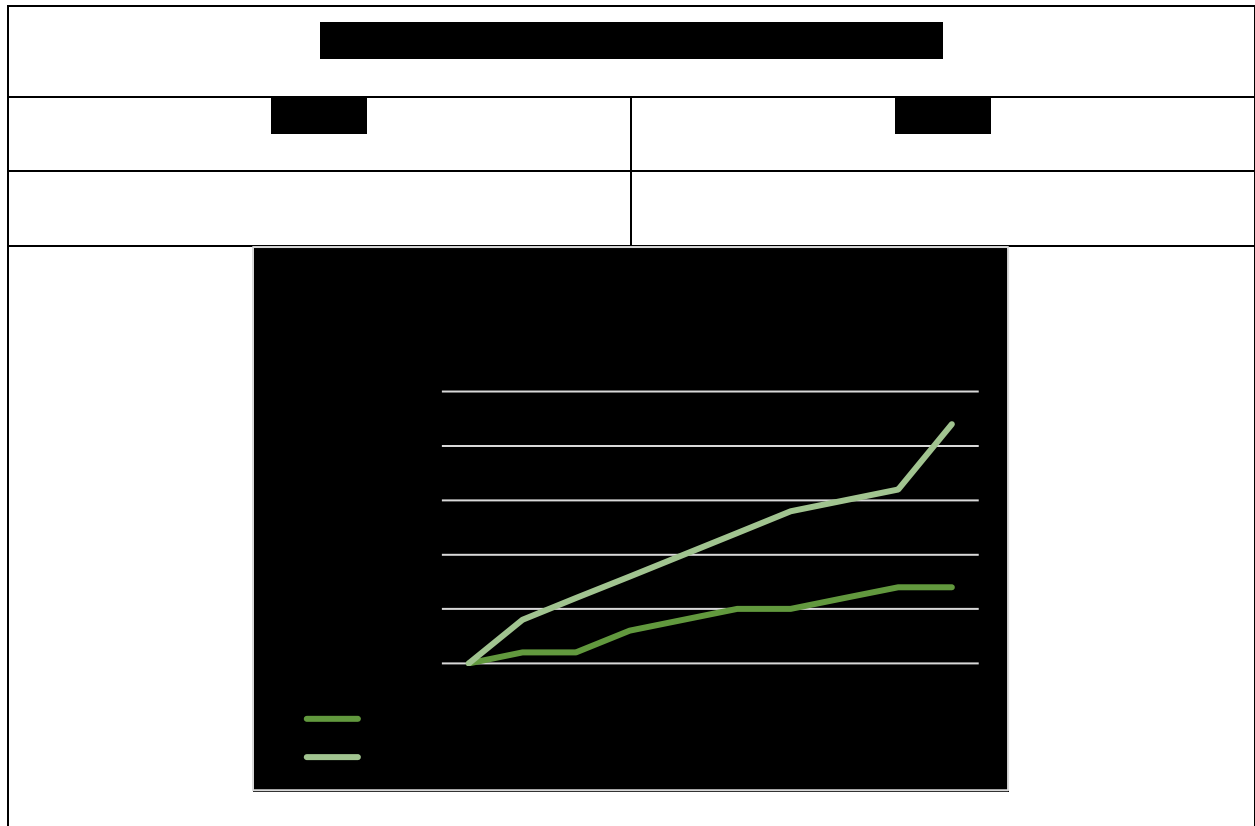
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[Redacted text]

[Redacted text]

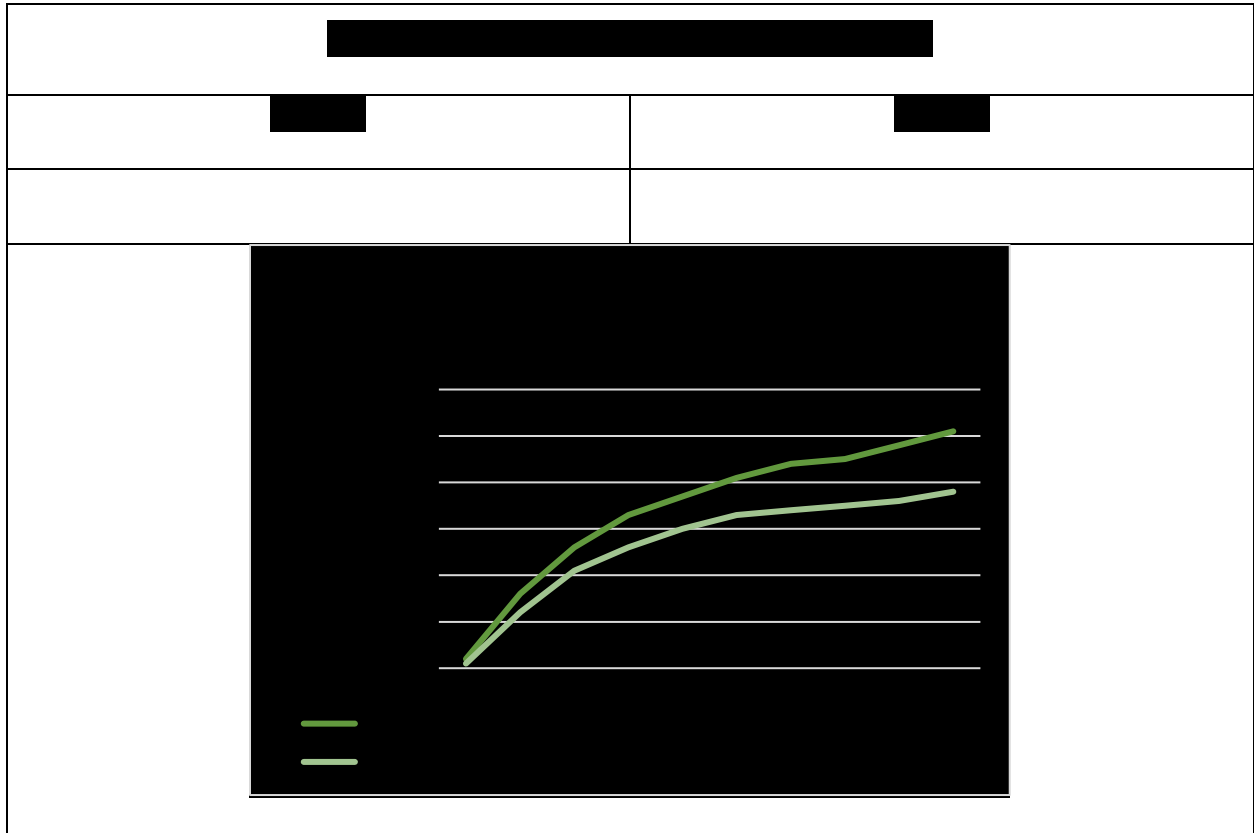
[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]



[Redacted text]

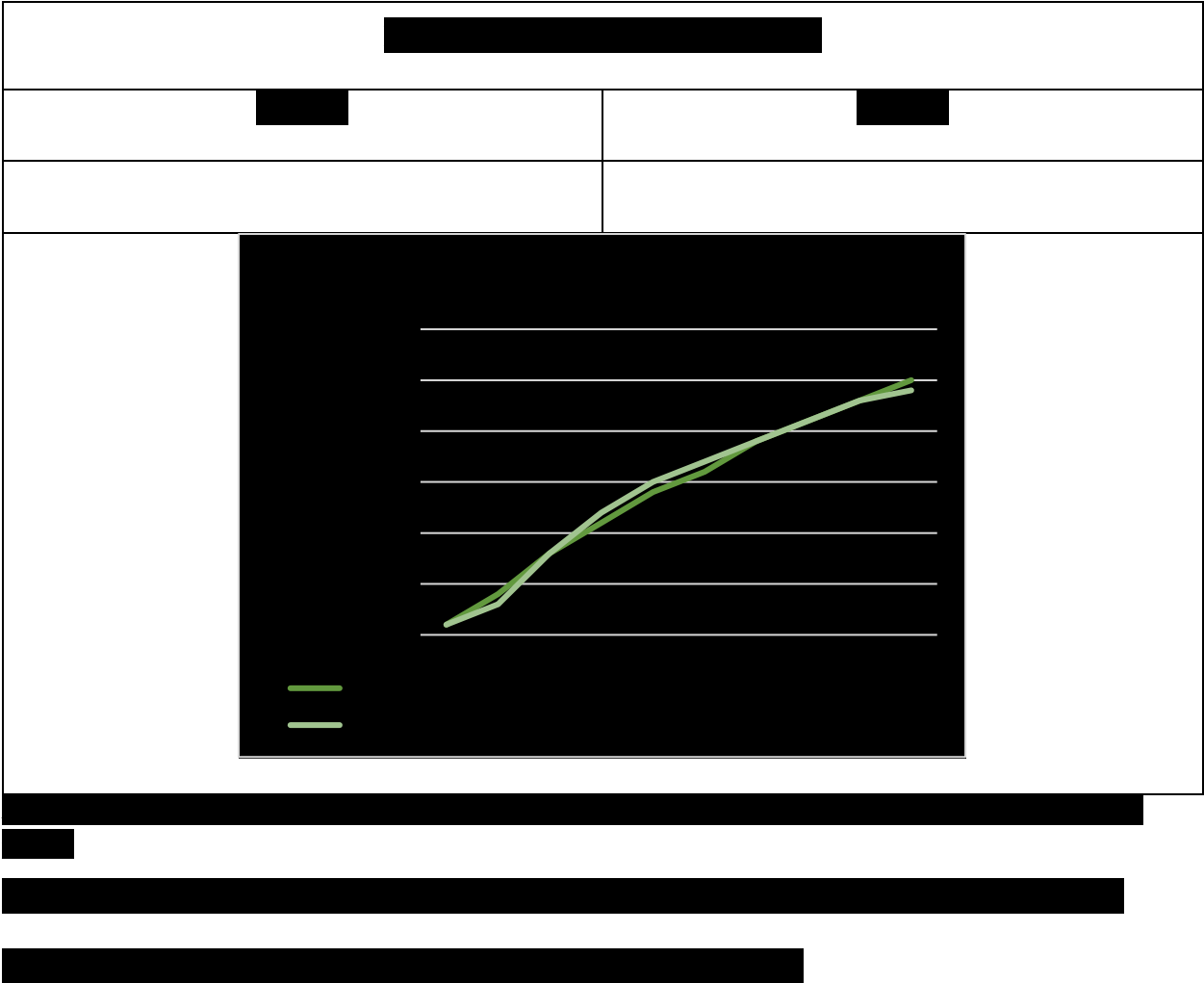
[Redacted text]

[Redacted text]

[Redacted text]

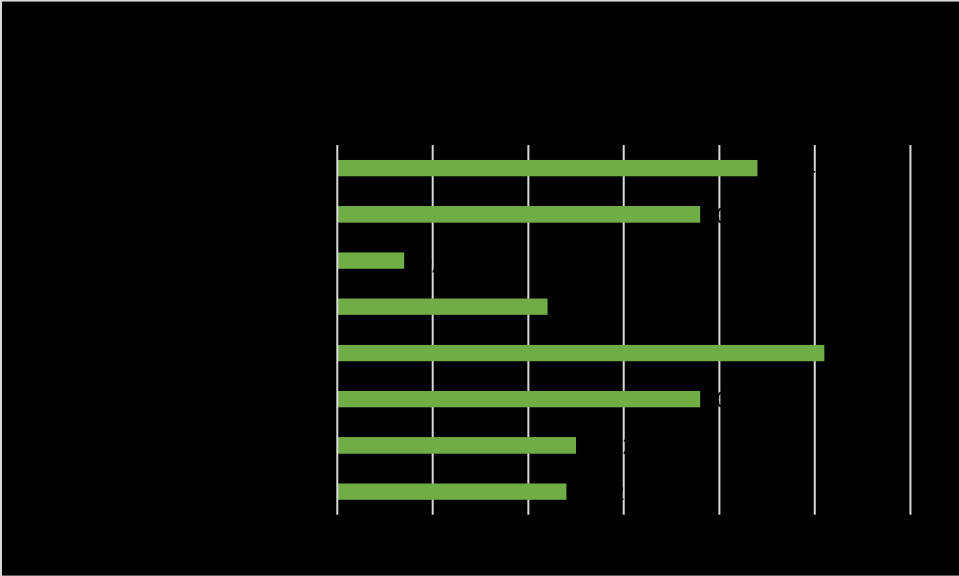
[Redacted text]

[Redacted text]



[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

CAPÍTULO V. Sistema de Instalación de Paneles

En cuanto al sistema constructivo para la instalación de los paneles en micelio de hongo en una vivienda rural, se optó por tomar como base el sistema en madera *Wood Frame*. Esto teniendo en cuenta sus beneficios sostenibles, económicos y de rápida construcción.

El sistema *Wood Frame* fue creado en Estados Unidos, su materia prima de construcción es la madera proveniente de madera reforestada, es decir, es sustentable y sostenible. Es un sistema que utiliza perfiles en madera que se pueden acoplar a las medidas necesarias según sea el caso, adicional a ello y, gracias a su acople a diferentes medidas, permite ser un sistema que se maneje de manera fácil bajo un sistema modular. Por otro lado, es un sistema de transporte ligero, de fácil anclaje y rápida construcción, que a diferencia del concreto no necesita fraguarse ni tener un tiempo determinado de secado. Otra diferencia con el concreto es que este sistema reduce significativamente la generación de residuos, ya que estos pueden ser reutilizados en otros lugares o zonas donde se acople el fragmento sobrante.

Teniendo en cuenta lo anterior y, gracias a la composición de la madera, otro de los beneficios más importantes que tiene y que es relevante para este proyecto, es que es un sistema que se caracteriza por ser buen aislante térmico y acústico, mitigando las pérdidas energéticas.

Por lo tanto y, entendiendo que el proyecto maneja un panel de $30 \times 30 \times 5$ cm, es necesario trabajar bajo estas medidas del sistema modular que proporciona el sistema *Wood Frame*, adicionalmente, el panel en micelio es de material natural, amigable con el medio ambiente y hace viable la implementación en el proyecto como sistema constructivo. Por otro lado, al ser la madera un material con propiedades aislantes termoacústicas igual que el panel, ayuda a que este último no pierda o cambie sus propiedades como podría pasar con una estructura metálica.

Diseño del panel

Para el proceso de construcción del panel y, analizando los paneles comerciales que se encuentran en el mercado tal como muestra la tabla se tienen en cuenta las medidas que se adapten a las evidenciadas a continuación.

Tabla 24

Dimensiones comerciales para paneles aislantes

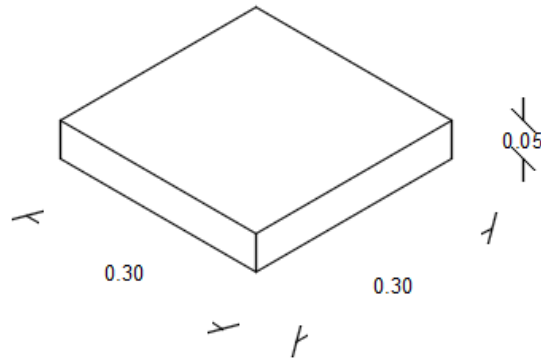
DIMENSIONES PARA PRESENTACIÓN COMERCIAL DE PANELES	
TIPO DE PANELES	MEDIDAS (CM)
PANEL FIBROCEMENTO	1.20 x 2.40
PANEL POLIESTIRENO	1.22 x 2.44
PANEL POLIURETANO	1.50 x 2.50
PANEL PVC	30 x 5.8
PANEL W	2.22 x 2.44

Nota: En la tabla se muestran las medidas estándar para el comercio de paneles en diferentes materiales, tomada en cuenta para hacer los prototipos más competitivos. Tomado y adaptado de *Propuesta de paneles aislantes termo acústicos divisorios a base de cáñamo y resina de pino, como alternativa al uso de polímeros sintéticos en construcción*, (P127), por L. F. Martínez, (2021) (<http://hdl.handle.net/11396/6179>).

En su mayoría los paneles manejan dimensiones en múltiplos de 30, teniendo en cuenta esto y adaptando el proyecto a la información anterior, se propone un panel de 30 × 30 cm que sea fácil de transportar y trasladar sin mayor esfuerzo. Estimando el peso del panel en 1kg aproximadamente.

Figura 145

Medidas del panel



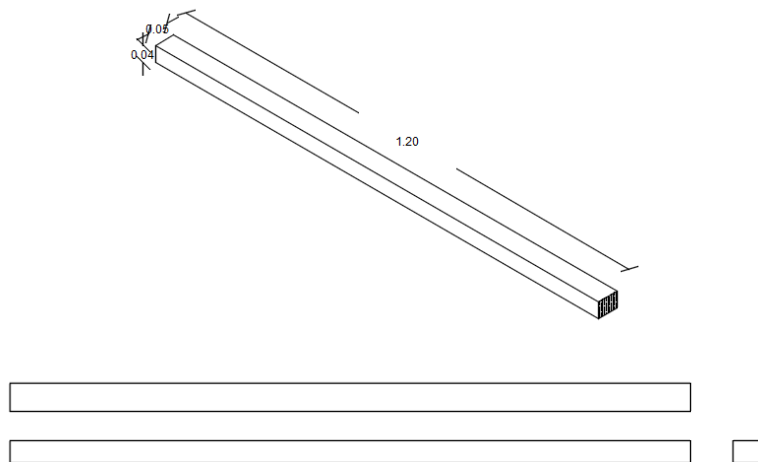
Nota: En la imagen se muestra la medida de ancho, alto y grosor de los paneles utilizados para el diseño del sistema de instalación. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el proyecto busca ser implementado en las viviendas rurales, para facilitar el transporte y la economía de la estructura se manejan perfiles macizos en cuatro tamaños diferentes.

Perfil macizo Tipo 1 para las vigas. Con una dimensión 0.4×0.5 cm, del largo deseado

Figura 146

Perfiles macizo tipo 1

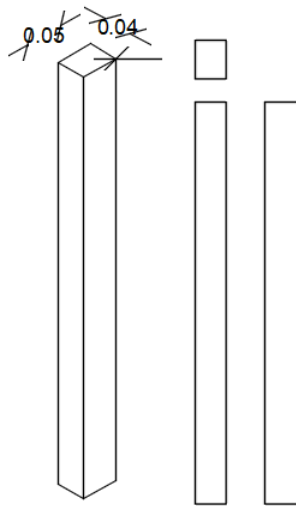


Nota: En la imagen se muestran los perfiles macizos usados como soporte para el sistema de instalación.
Elaboración propia.

Perfil macizo tipo 2, con una dimensión de 0.4×0.5 cm por el alto necesario que funciona como soporte estructural en los extremos de cada viga y cada tres paneles instalados como refuerzo estructural en caso de ser necesario.

Figura 147

Perfil macizo tipo 2

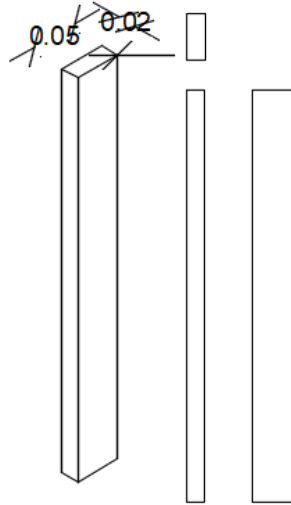


Nota: En la imagen se muestran las medidas en axonometría y caras del perfil macizo Tipo 2. Elaboración propia.

Perfil macizo tipo 3 0.2×0.5 cm como soporte del panel.

Figura 148

Perfil macizo tipo 3

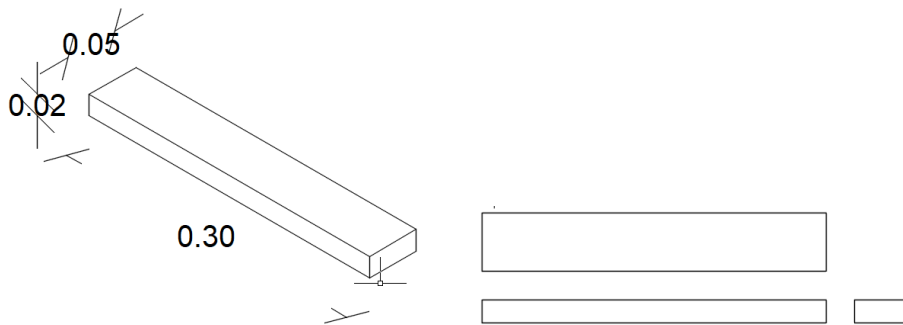


Nota: En la imagen se muestran las medidas en axonometría y caras del perfil macizo Tipo 3. Elaboración propia.

Para dar una mejor estabilidad al panel se adapta el perfil macizo tipo 4 de $30 \times 5 \times 2$ cm de tal manera que sobre este se apoye el elemento para dar mejor sostén. Elaboración propia.

Figura 149

Perfil macizo tipo 4

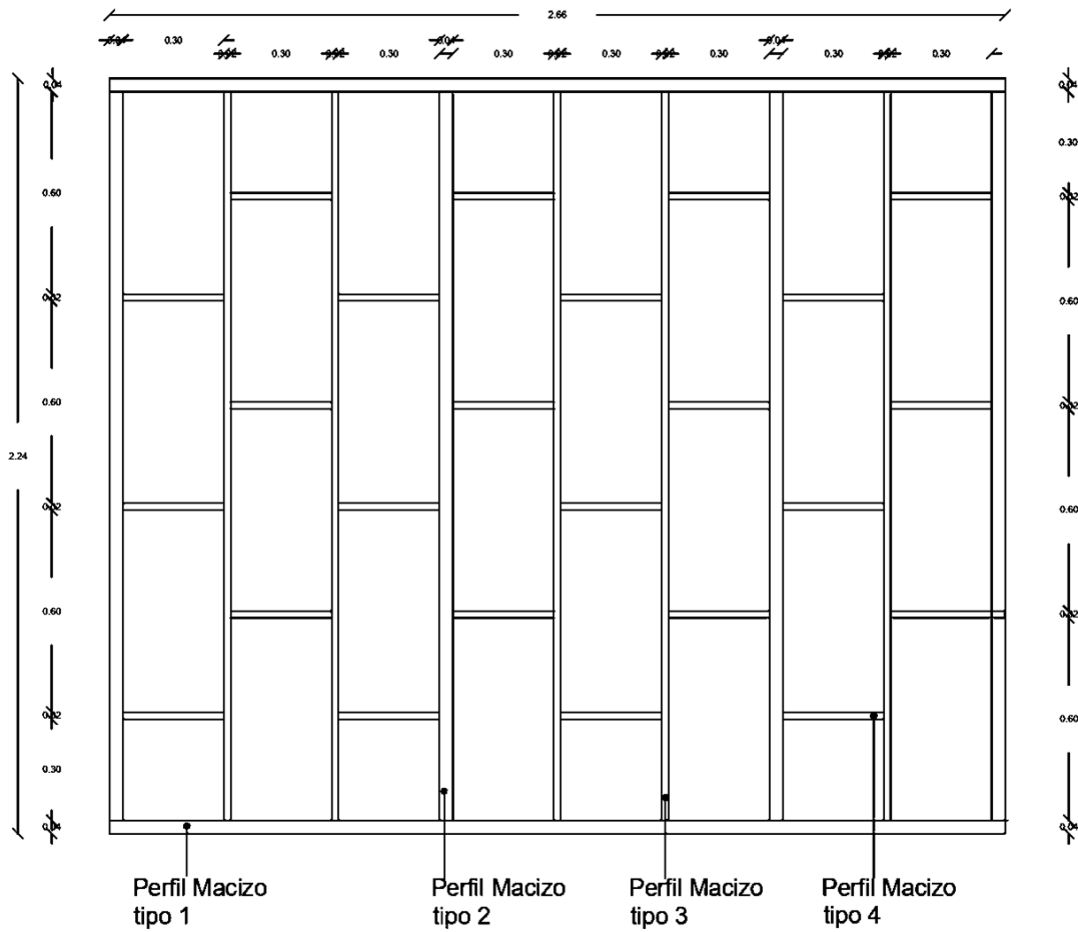


Nota: En la imagen se muestran las medidas en axonometría y caras del perfil macizo Tipo 4. Elaboración propia.

Toda vez que se tienen claros los perfiles, a continuación procedemos a ver la instalación de los paneles en el muro solo, muro con puerta, muro con ventana y muro con puerta ventana.

Figura 150

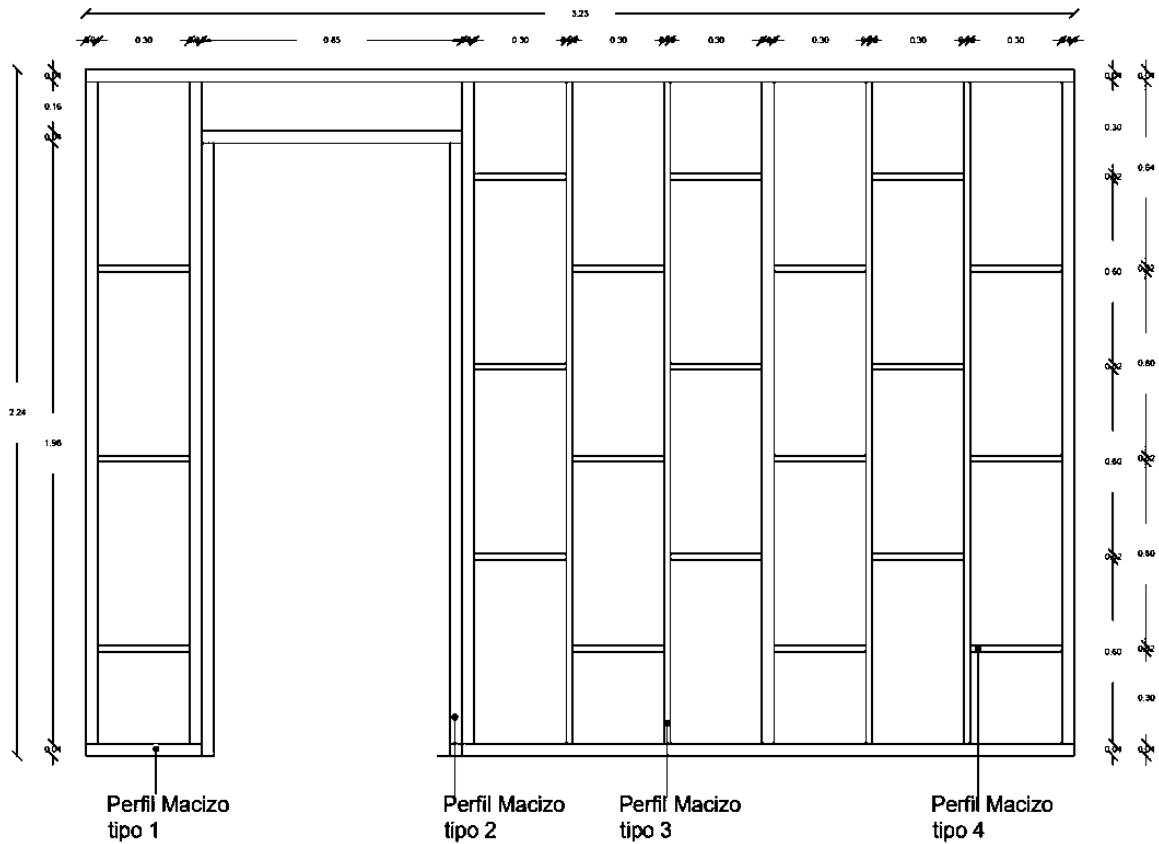
Estructura de instalación completa



Nota: En la imagen se muestra el detalle del sistema de instalación con la ubicación de los diferentes tipos de perfiles macizos, además de sus medidas en alzado para un muro completo. Elaboración propia.

Figura 120

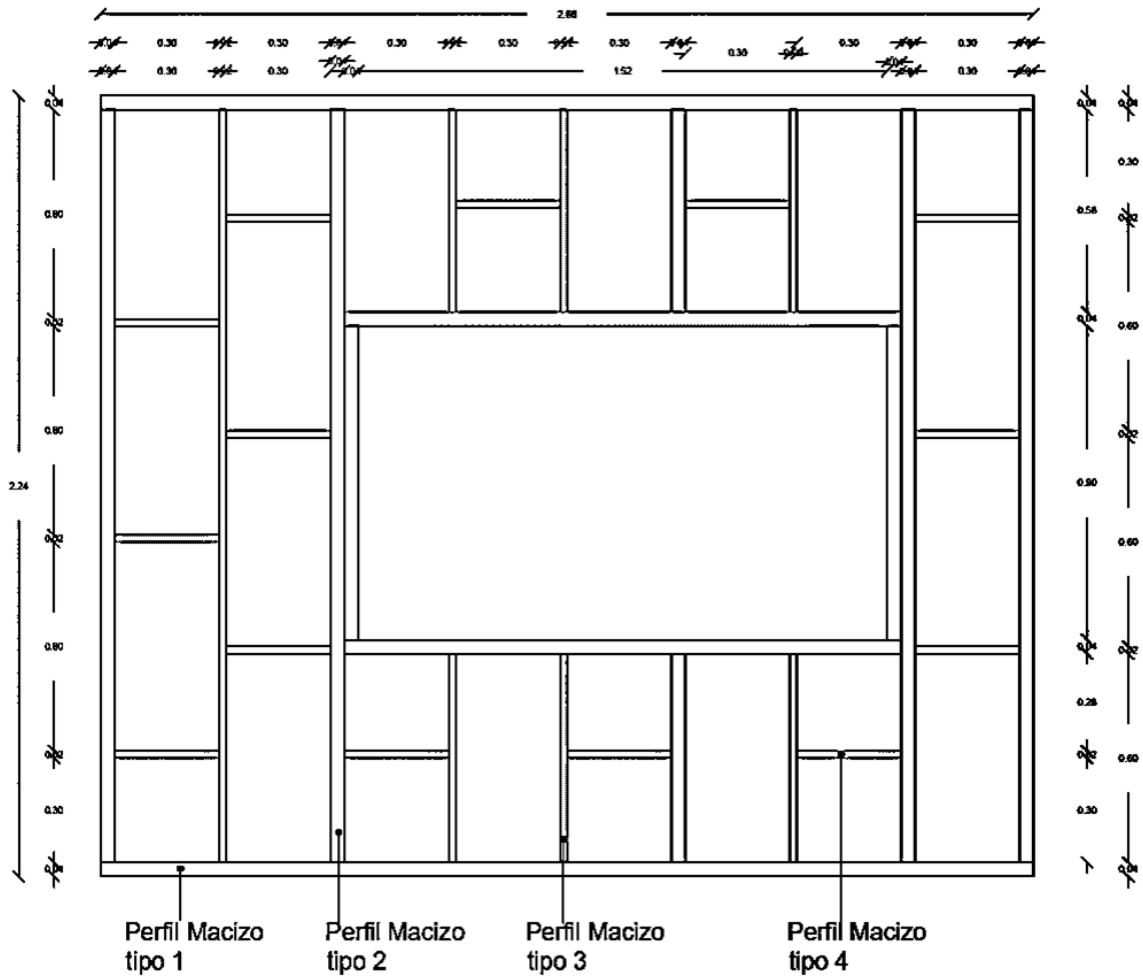
Estructura de instalación para muro con puerta



Nota: En la imagen se muestra el detalle del sistema de instalación con la ubicación con los diferentes tipos de perfiles macizos, además de sus medidas en alzado para un muro con espacio para una puerta. Elaboración propia

Figura 152

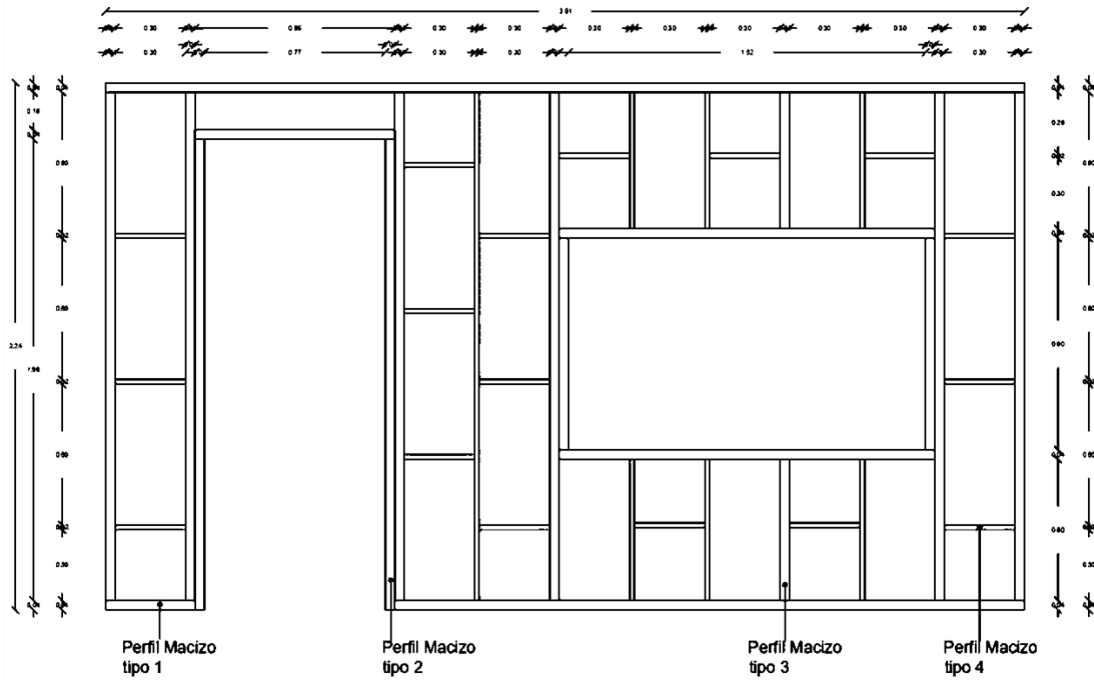
Estructura de instalación para muro con ventana



Nota: En la imagen se muestra el detalle del sistema de instalación con la ubicación con los diferentes tipos de perfiles macizos, además de sus medidas en alzado para un muro con espacio para una ventana. Elaboración propia.

Figura 153

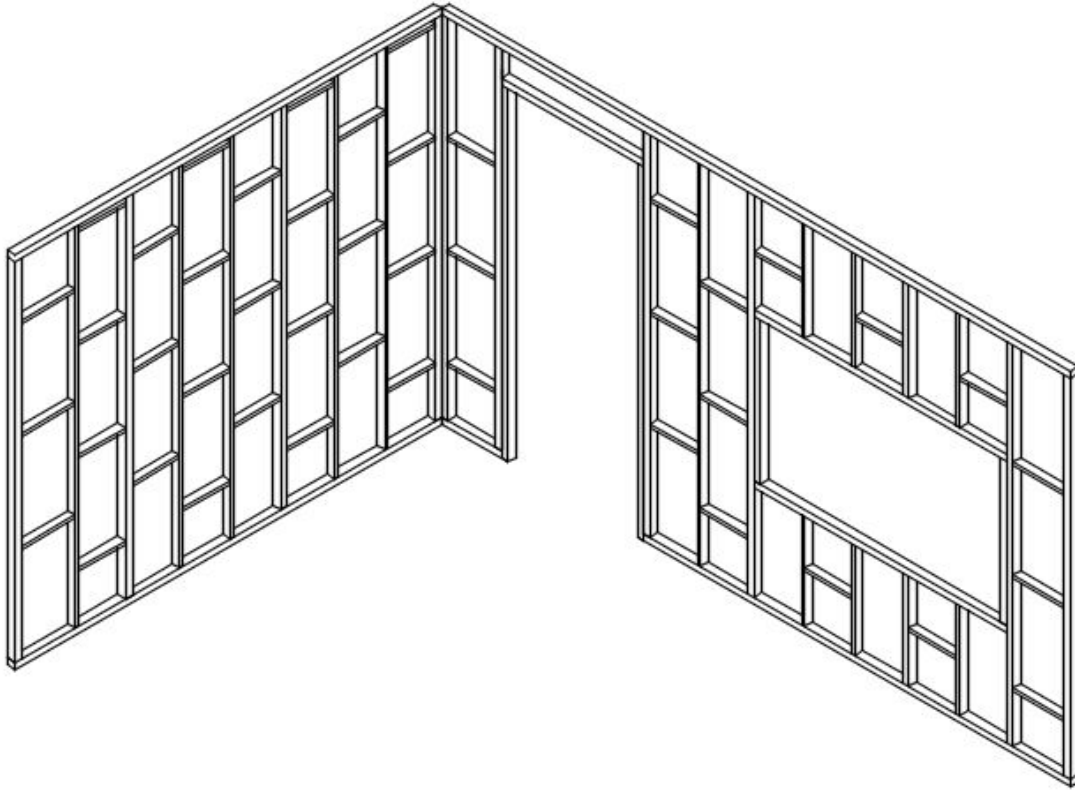
Estructura de instalación para muro con puerta y ventana



Nota: En la imagen se muestra el detalle del sistema de instalación con la ubicación con los diferentes tipos de perfiles macizos, además de sus medidas en alzado para un muro con espacio para una puerta y una ventana. Elaboración propia.

Figura 154

Estructura de instalación para muro completo – muro con puerta y ventana



Nota: En la imagen se muestra la representación axonométrica del detalle del sistema de instalación para un muro completo y un muro con puerta y ventana. Elaboración propia.

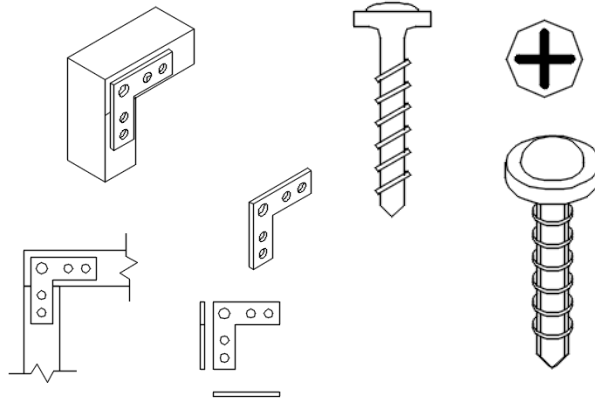
Para anclar todos los perfiles se proponen distintos elementos para facilitar su instalación de manera rápida y eficaz.

Para unir los perfiles de madera tipo 1 y tipo 2 entre sí, se proponen dos tipos de anclaje dependiendo del lugar de conexión.

Platina Tipo L: 2" de acero galvanizado con tornillos de 1" - ¼" para las esquinas.

Figura 155

Unión de perfiles macizos tipo 1 – 2 esquineros

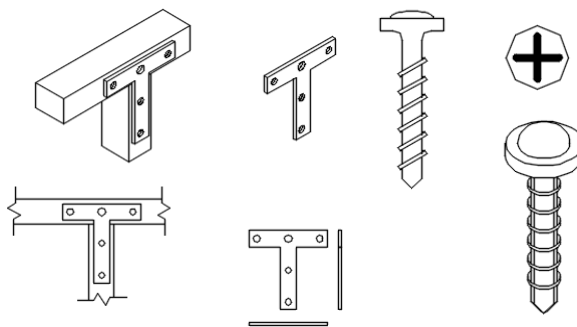


Nota: En las imágenes se muestra el detalle en axonometría de las platinas y tornillos usados para la instalación de los perfiles macizos Tipo 1 y Tipo 2 en las esquinas. Elaboración propia.

Platina tipo T: 2” Acero galvanizado con tornillos de 1”- 1/4” para los perfiles de soporte que van entre el muro.

Figura 156

Unión de perfiles macizos tipo 1 – 2 medios

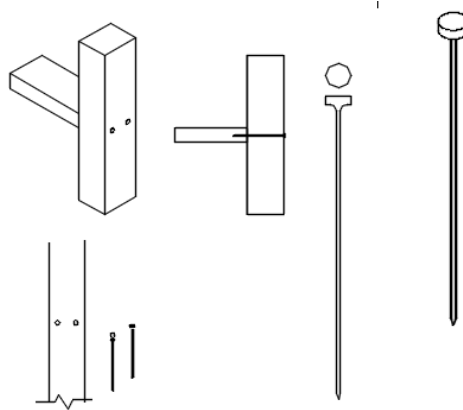


Nota: En la imagen se muestra el detalle en axonometría de las platinas y tornillos usados para la instalación de los perfiles macizos Tipo 1 y Tipo 2 en las uniones triples. Elaboración propia.

Para las uniones entre los perfiles Tipo 2 - Tipo 4 y Tipo 3 - Tipo 4 se propone una puntilla negra de 2 ½”

Figura 157

Unión de Perfiles Macizos Tipo 2 – Tipo 3 y Tipo 3 – Tipo 4

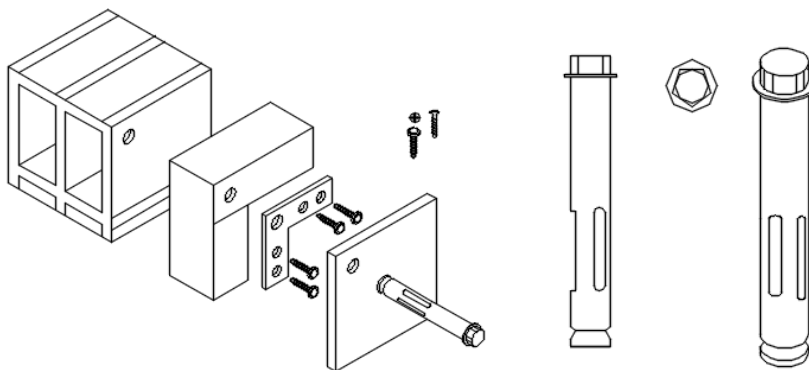


Nota: En la imagen se muestra el detalle en axonometría de las puntillas usadas para la instalación de los Perfiles macizos Tipo 2, Tipo 3 y Tipo 4 en las uniones medias, al igual que su forma de instalación. Elaboración propia.

Finalmente, como propuesta para el anclaje del sistema constructivo en madera con los bloques en mampostería, que son los utilizados en su mayoría en las viviendas rurales se propone un perno HLC -HX 1/2×4” galvanizado.

Figura 158

Detalle de instalación de anclajes de sistema al muro existente



Nota: En la imagen se muestra el despiece en axonometría del anclaje con pernos del Sistema de Instalación al Muro de ladrillo ya existente. Elaboración propia.

Conclusiones

Tomando en cuenta todos los aspectos estudiados en este proyecto y las conclusiones preliminares de cada uno de los procesos, se da paso a las conclusiones generales tomando como base los objetivos planteados.

En cuanto a las propiedades del hongo *Pleurotus ostreatus*, gracias a su facilidad para alimentarse de diferentes sustratos, de crecimiento en diferentes ambientes y temperaturas, es viable y recomendable su uso como aglutinante de los paneles. En términos de su fácil obtención, tanto de la semilla como de la seta y, sus bajos costos que no superan los \$25.000 por kilo de semilla de micelio, permitieron cultivar más de cinco paneles de 30 × 30 cm. Ofreciendo un buen rendimiento en cuanto a su relación precio/producto.

En cuanto al comportamiento del panel, como se demostró en todas las pruebas realizadas, cumple con su función de aislante tanto térmico como acústico, mostrando incluso mejores resultados que otros materiales que tienen el mismo propósito. Tomando en cuenta los buenos resultados junto con las correctas estrategias bioclimáticas, el consumo energético del lugar de instalación va a ser menor.

Por su parte, el sistema de instalación debe hacerse con materiales que no afecten las capacidades acústicas y térmicas de los paneles, por lo cual es necesario no emplear estructuras metálicas, además, se debe tener en cuenta el completo secado de los paneles y su recubrimiento ideal para evitar la contaminación durante su uso.

En general, concluimos que el panel más viable para su uso en el estudio de caso de una vivienda rural en Saldaña, sería aquel compuesto de fique y cascarilla de arroz de 5 cm de grosor, hecho con la metodología del segundo cultivo, ya que presenta mejores resultados y su sistema de instalación puede adaptarse correctamente.

Recomendaciones

Con la intención de generar nuevo conocimiento con base en esta investigación, planteamos las siguientes recomendaciones:

- Dependiendo del objetivo con el cual se quiera conseguir temperaturas de confort en un espacio, el sistema de construcción puede usarse de manera interna o externa, tomando en cuenta que, al instarlo de forma externa, se previene la transmisión de energía proveniente del exterior. Por el contrario, si se instala de manera interna, se evita que la energía interna se transfiera hacia el exterior, manteniendo el espacio interno más cálido.
- Hacer uso de métodos de esterilización, cultivo y resguardo, en donde las condiciones pueden ser delimitadas a detalle, ya que el cambio en cualquiera de las anteriores puede afectar el crecimiento del hongo y, del mismo modo, su función.
- Es necesario mejorar la forma de los paneles, para que al momento de anclarse uno con otro, se reduzca el espacio en el que exista una diferencia de condiciones dentro del sistema.
- Se debe tener en cuenta la modulación de los paneles para hacer el diseño de la estructura en el muro, ya que deben cumplirse con las especificaciones de repartición de cargas.

Referencias

AP- 007. Resistencia a Compresión de Piedra Natural - Construmatica. (s. f.).

https://www.construmatica.com/construpedia/index.php?title=AP-007._Resistencia_a_Compresi%C3%B3n_de_Piedra_Natural&mobileaction=toggle_view_desktop

Alonso, J. (s.f.). Clasificación y descripción de los hongos.

http://www.smlucus.org/UserFiles/Files/curso/3TAXONOMIA_Y_CLASIFICACION_DE_LOS_HONGOS.pdf

Cárdenas, J. (2021). Alternativas de biomateriales para la sustitución parcial del concreto para disminuir el impacto ambiental.

Ciencuadras (2022, 25 de mayo). ABC de la vivienda rural en Colombia.

<https://www.ciencuadras.com/blog/guia-para-comprar-vivienda/caracteristicas-de-la-vivienda-rural-en-colombia>

Cultivodesetas.es. (s.f.) Cultivo de Seta de Ostra Amarilla *Pleurotus citrinopileatus* en alpacas.

<http://www.cultivodesetas.es/setas-comestibles/cultivo-de-pleurotus-citrinopileatus-en-alpacas>

Dahmen, J., & Frid-Jimenez, A. (2018, 24 de mayo). They grow without us.

<https://arpajournal.net/they-grow-without-us/>

eINFORMA. (2022). Análisis del sector. Empresas de cereales en Colombia.

<https://www.einforma.co/informes-sectoriales/sector-empresas-de-cereales>

Emilio, A. N. A. (2011). Uso de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (fibra de fique). 11396/1137.

<https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/1137>

El primer arroz colombiano con denominación de origen (2020). Semana.com.

<https://www.semana.com/web/articulo/el-primer-arroz-colombiano-con-denominacion-de-origen/1596/>

FAO. (s.f.). Problemas y limitaciones de la producción de arroz.

<https://www.fao.org/3/y2778s/y2778s04.htm>

Montecinos Fuentes-Cantillana Monereo, Ignacio (2020). *Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos*. [Trabajo de Grado]. Universidad Politécnica de Madrid.

Garcés de Granada, E., Correa de Restrepo, M., Coba de Gutiérrez, B., Orozco de Amézquita, M., Zapata L., Anacona, A. y Sabogal, S. (2003). *Morfología y clasificación de los hongos*. Universidad Nacional de Colombia.

Instituto de Turismo del Meta. (2020). Información general del instituto de turismo del meta.

<https://www.turismometa.gov.co/el-meta/informacion-general.html>

Llanos Páez, O., Ríos Navarro, A., Jaramillo Páez, C. A., & Rodríguez Herrera, L. F. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia*, 11(2), 150-160. <https://doi.org/10.22507/PML.V11N2A12>

Lobera, J., & Michelutti, E. (2007). Construcción sostenible y construcción de la sostenibilidad: una experiencia en comunidades rurales de El Salvador.

Melisa, G. B. (2019). Elaboración de paneles termoaislantes para cubierta a partir de fibras de bagazo de la caña de azúcar. 11396/5731.

<https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5731>

Minagricultura. (2017). El sector arrocero en Colombia.

- Mónica, C. M. C. (2021). Propuesta de paneles aislantes termoacústicos divisorios a base de cáñamo y resina de pino, como alternativa al uso de polímeros sintéticos en construcción. 11396/6179. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/6179>
- Montecinos, C. (2022). Techumbre en base a micelio de hongo.
- Reino Fungi - Concepto, tipos, características y ejemplos.* (s.f.). Concepto. <https://concepto.de/reino-fungi/>
- Research, I. (2022b, mayo 16). Ensayo de flexión en materiales ¿Cuándo se realizan? INFINITIA Industrial Consulting. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayo-de-flexion-en-materiales-cuando-se-realizan/>
- Restrepo, Y., & Aya, J. (2018). *Propuesta para la fabricación de adoquines en mortero mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción de la ciudad de Girardot en el departamento de Cundinamarca.* [Trabajo de Grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio institucional. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/7195/1/T.IC_RestrepoRamosTenniferTatiana_.pdf
- Rocio, P. L. L. (2022a). Desarrollo de panel acústico a partir de la recolección de bolsas de cemento y guadua para disminuir los fenómenos de absorción dentro de los espacios. 11396/7498. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/7498>
- Rocio, P. L. L. (2022). Diseño de un prototipo de bloque plástico para muros divisorios abatibles y fijos no estructurales. 11396/7536. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/7536>
- Stevenson, B., Jaime, G., Fernando, D., & Sanabria, R. (2021). Entropía aislante termoacústico a partir de fique, micelio y heno. Universidad La Gran Colombia.

Toda Colombia. (2019, 21 de febrero). Clima departamento del Tolima.

<https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/tolima/clima.html>

Vivas, K., Stalin, A., Bermúdez, P., Rebolledo., H, Figueroa, J. M., Zamora, P., & Naranjo, L.

(2021). Bioproductos desarrollados a partir de micelio de hongos: Una nueva cultura material y su impacto en la transición hacia una economía sostenible.

Walter, C. D. (2017). Prototipo de Sistema de cubierta a partir del uso del totumo “Crecentia

Curcubina” para vivienda en la vereda el Cairo las Brisas, municipio de Saldaña Tolima.

11396/3478. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/3478>

Weatherspark (s.f.). El clima y el tiempo promedio todo el año en Ibagué.

<https://es.weatherspark.com/y/22439/Clima-promedio-en-Ibagué-Colombia-durante-todo-el-año>