Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Creación de prototipos con fibra de Lechguín para su posible uso como material aislante térmico en la construcción

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autores:

Iván Eduardo Quizhpi Quizhpi

Henry Genaro Vásquez Dominguez

Director:

Hernán Alfredo García Erazo

ORCID: 0000-0002-0279-1112

Cuenca, Ecuador

2025-02-10

UCUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

Carrera de Arquitectura

Creación de prototipos con fibra de Lechuguín para su posible uso como material aislante térmico en la construcción

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

AUTORES

Iván Eduardo Quizhpi Quizhpi
Henry Genaro Vásquez Dominguez

DIRECTOR

Hernán Alfredo García Erazo

ORCID

0000-0002-0279-1112

Cuenca - Ecuador
2025-02-10

Resumen

En la actualidad la industria de la construcción es la responsable del 23% de la contaminación global, debido a que muchos de los materiales provienen de fuentes no renovables, por lo que se ha visto pertinente generar un modelo de construcción sostenible que genere el menor impacto en el medio ambiente. Producto de ello nace esta investigación la cual busca determinar las características y potencialidad de la fibra del peciolo del Lechuguin (*Eicchornia crassipes),* para su uso como material aislante térmico. El enfoque de la investigación es exploratorio cuantitativo, se comenzó con una revisión bibliográfica de la especie, para luego realizar ensayos de laboratorio en este caso de compresión, absorción de humedad, densidad y conductividad térmica, mediante prototipos de forma cubica de 4x4cm, elaborados con diferentes tamaños de fibra triturada, todo ello combinado con resina polimérica y una presión de prensado de 4,8kg/cm2. Como producto de los ensayos realizados se pudo determinar que la fibra de lechuguín presenta buenas características de aislación térmica obteniendo valores que se encuentran entre los 0,049 y 0,081 W/m°C y con un promedio de densidad bajo de 0,251. Adicionalmente se incluyen recomendaciones para el manejo de la especie durante el secado, como tambien las potencialidades de la misma en base a los hallazgos encontrados en los ensayos y en la bibliografía revisada.

Palabras clave del autor: jacinto de agua, resina polimérica, fibras naturales

Abstract

At present the industry of the construction is the responsible of 23% of global contamination, given that many materials are derived of non-renewable sources, therefore it is necessary to create a sustainable building model that has the least impact on the environment. For that reason, this research is carried out which seeks to determine the characteristics and potentialities of the petiole fibre of Lechuguín (*Eicchornia crassipes)* for use as thermal insulation material. The focus of this research in exploratory quantitative, starting with a bibliographic review of the species, succeeded by laboratory tests in this case of compression, moisture absorption, density and thermal conductivity, using prototypes of cubic form 4x4cm, constructed with different sizes of crushed fiber, combined with polymeric resin and a pressing pressure of 4.8kg/cm². As result of the testh realiced, it was determinated that the lechuguin fibre manifest good thermal insulation characteristics, obtaining values between 0,049 y 0,081 W/m°C, and an average low of 0,251. Additionally, it added recommendations for the treatment of the species during of drying, as well as the potentialities in base to the test results and the review literature.

Author Keywords: water hyacinth, polymer resin, natural fibers

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: https://dspace.ucuenca.edu.ec/

The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: https://dspace.ucuenca.edu.ec/

Índice de contenido

Resumen ... 3
Abstract ... 3
Índice de contenido ... 4
Índice de figuras ... 5
Índice de tablas ... 8
Agradecimientos ... 10
Dedicatoria ... 10
I. Introducción ... 12
II. Objetivo General ... 12
III. Objetivos Específicos ... 12
1.1 Potencial de la especie ... 12
1.1.1 Cantidad disponible ... 12
1.1.1.1 Métodos de estimación de Cantidad ... 13
1.1.1.2 Recolección de datos ... 13
1.1.2 Velocidad de crecimiento ... 13
1.1.3 Distribución geográfica en el País ... 14
1.1.4 Control y manipulación de la especie ... 16
1.1.5 Aprovechamiento y usos del lechuguín ... 17
1.2. Características ... 18
1.2.1 Cosechas ... 18
1.2.1.1 Cosecha manual ... 18
1.2.1.2 Cosecha mecánica ... 19
1.2.2 Taxonomía, Morfología y Fito depuración ... 20
1.2.2.1 Taxonomía y Morfología ... 20
1.2.2.2 Morfología del peciolo ... 21
1.2.2.3 Fito depuración ... 21
1.3. Ensayos físicos y mecánicos de la especie ... 22
1.3.1 Densidad ... 22
1.3.2 Contenido de humedad ... 23
1.3.3 Absorción de agua ... 23
2.1 Moldes ... 25
2.1.1 Elaboración de Moldes ... 25
2.1.2 Pruebas de Moldes ... 28
2.2 Tratamientos previos de la especie parala elaboración de muestras ... 28
2.2.1 Recolección de la especie ... 28
2.2.2 Clasificación ... 29
2.2.3 Secado ... 31
2.2.4 Trituración ... 33
2.2.5 Tamizado ... 34
2.2.6 Elaboración de prototipos ... 35
2.2.6.1 Antecedentes ... 35
2.2.6.1 Prototipos finales ... 37
3. Ensayo de prototipos ... 41
3.1 Ensayo de Humedad ... 41
3.2 Ensayo de compresión ... 41
3.2.1 Antecedente (Mecanización) ... 41
3.2.2 Verificación de medidas ... 42
3.2.3 Calibración de maquina ... 45
3.2.4 Ensayo de compresión ... 45
3.3 Ensayo de Densidad ... 46

3.4 Ensayo de Conductividad Térmica 47
3.4.1 Antecedentes 47
3.4.2 Preparación de probetas 48
3.4.3 Ensayo de conductividad térmica 49
4. Análisis e interpretación de resultados 54
4.1 Ensayo de humedad 54
4.2 Ensayo de compresión 61
4.3 Ensayo de densidad 69
4.4 Ensayo de conductividad térmica 73
5. Conclusiones y recomendaciones 77
5.1 Características 77
5.2 Potencialidades 77
Referencias 79

Índice de figuras

Figura 1. Planta lechuguín 12
Figura 2 Recolección de lechuguín 14
Figura 3 Ubicación de Eichhornia crassipes en Ecuador 14
Figura 4 Planta Eichhornia crassipes. 15
Figura 5 Extracción mecánica de Eichhornia crassipes. 16
Figura 6 Eichhornia crassipes en el rio Paute 17
Figura 7 Recolección de Eichhornia crassipes. 19
Figura 8 Barco de corte de malezas acuáticas modelo JLGC-200 19
Figura 9 Partes de Eichhornia crassipes 20
Figura 10 Plantas de tratamiento de aguas residuales 21
Figura 11 Método de ensayo 22
Figura 12 a) Pulpa b) Stape 23
Figura 13 Piezas de molde 26
Figura 14 Proceso de fabricación de moldes 27
Figura 15 Moldes fabricados. 27
Figura 16 Prueba de molde con su respectivo peso 28
Figura 17 Ubicación de Eichhornia crassipes en el rio Paute 28
Figura 18 Recolección de Eichhornia crassipes en el rio Paute. 29

Figura 19 Peciolos de Eichhornia crassipes 29
Figura 20 Raíz de Eichhornia crassipes. 30
Figura 21 Almacenamiento de Eichhornia crassipes 30
Figura 22 Corte de hojas de los peciolos de Eichhornia crassipes. 31
Figura 23 Eichhornia crassipes en descomposición. 31
Figura 24 Secado al aire libre de Eichhornia crassipes. 32
Figura 25 Secado en horno de Eichhornia crassipes. 32
Figura 26 Eichhornia crassipes seco. 33
Figura 27 Proceso de obtención de aglutinante. 36
Figura 28 Probetas de tallo entero y partículas. 37
Figura 29 Fibra de lechuguin 1 – 1,5 mm. 37
Figura 30 Colocación de WD-40 EN moldes. 38
Figura 31 Compactación de fibra en los moldes. 38
Figura 32 Horno y moldes con peso. 38
Figura 33 Secado de probetas. 38
Figura 34 Desmontaje de probetas. 39
Figura 35 Ejemplo de codificación de piezas. 39
Figura 36 Lijado de tallos de lechuguín. 39
Figura 37 Probetas sin mecanizar. 41
Figura 38 Preparacion de probetas para su mecanización. 42
Figura 39 Forma de medición de probetas. 43
Figura 40 Equipo y medición de probeta. 43
Figura 41 Orden de ejecución de ensayo de compresión. 46
Figura 42 Materiales usados para el aparato de conductividad térmica. . 47
Figura 43 Materiales para preparación de probetas. 48
Figura 44 Equipo y herramienta usada para la mecanización de probetas. 48
Figura 45 Dibujo de guía de corte en la probeta. 48
Figura 46 Corte de probeta. 49
Figura 47 Lijado de cara de probeta. 49
Figura 48 Medición de probeta. 49
Figura 49 Calentado de agua. 50
Figura 50 Estabilizacion de cámara de vapor. 50
Figura 51 Estabilización de temperatura de la probeta. 51
Figura 52 Pesado de hielo. 51
Figura 53 Hielo sobre la cámara de vapor. 51
Figura 54 Pesado del agua de hielo derretido. 51
Figura 55 Registro de datos obtenidos. 52

Figura 56 Porcentaje de absorción de humedad Fibra 1. 57

Figura 57 Porcentaje de absorción de humedad Fibra 2. 58

Figura 58 Porcentaje de absorción de humedad Fibra 3. 59

Figura 59 Porcentaje de absorción de humedad Fibra 4. 60

Figura 60 Porcentaje de absorción de humedad por cada fibra. 61

Figura 61 Fuerza-Desplazamiento Fibra 1 Probeta PB1 62

Figura 62 Fuerza-Desplazamiento Fibra 1 Probeta PB2. 62

Figura 63 Fuerza-Desplazamiento Fibra 1 Probeta PB3 63

Figura 64 Fuerza-Desplazamiento Comparativa Fibra 1, PB 63

Figura 65 Fuerza-Desplazamiento Fibra 2 Probeta PC1 64

Figura 66 Fuerza-Desplazamiento Fibra 2 Probeta PC2 64

Figura 67 Fuerza-Desplazamiento Fibra 2 Probeta PC3 64

Figura 68 Fuerza-Desplazamiento Comparativa Fibra 2, PC 65

Figura 69 Fuerza-Desplazamiento Fibra 3 Probeta PD1 66

Figura 70 Fuerza-Desplazamiento Fibra 3 Probeta PD2 66

Figura 71 Fuerza-Desplazamiento Fibra 3 Probeta PD3 66

Figura 72 Fuerza-Desplazamiento Comparativa Fibra 3, PD 66

Figura 73 Fuerza-Desplazamiento Fibra 4 Probeta PE1 67

Figura 74 Fuerza-Desplazamiento Fibra 4 Probeta PE2 68

Figura 75 Fuerza-Desplazamiento Fibra 4 Probeta PE1 68

Figura 76 Fuerza-Desplazamiento Comparativa Fibra 4, PE 68

Figura 77 Resultados de resistencia a tracción de los prototipos de fibra de lechuguín. 69

Figura 78 Gráfico de dispersión de coeficiente de conductividad térmica de prototipos 74

Índice de tablas

Tabla 1 Problemas de Eichhornia crassipes en Ecuador. 13

Tabla 2 Problemas de Eichhornia crassipes en Ecuador. 15

Tabla 3 Registros de Eichhornia crassipes..... 15

Tabla 4 Datos de recolección de Eichhornia Crassipes. 19

Tabla 5 Taxonomía de Eichhornia crassipes. 20

Tabla 6 Reducción de contaminantes del agua. 22

Tabla 7 Datos de la densidad registrada con cada una de las fibras. 23

Tabla 8 Materiales usados para moldes. 25

Tabla 9 Herramientas usadas para el armado de moldes. 25

Tabla 10 Comparación de pesos de especie. 33

Tabla 11 Herramienta, preparación y resultado de trituración de especie. 34

Tabla 12 Caracteristicas de tamices 34

Tabla 13 Proceso de tamizado. 34

Tabla 14 Pesos obtenidos por cada tipo de partículas. 35

Tabla 15 Características de cemento de contacto. 36

Tabla 16 Ejemplo de cálculo de aglomerante. 37

Tabla 17 Herramientas y materiales. 42

Tabla 18 Datos de probetas mecanizadas. 44

Tabla 19 Proceso de calibración de máquina. 45

Tabla 20. Materiales y herramientas usados en el ensayo. 50

Tabla 21 Resultados de absorción de humedad durante 48 horas de prototipos de fibra 1, 2, 3 y 4 55

Tabla 22 Porcentajes de aumento promedio de todos los prototipos de lechuguín. 56

Tabla 23 Porcentajes de aumento promedio de todos los prototipos de lechuguín. 56

Tabla 24 Resultados de absorción de humedad Fibra 1 56

Tabla 25 Resultados de absorción de humedad Fibra 2 57

Tabla 26 Resultados de absorción de humedad Fibra 3 58

Tabla 27 Resultados de absorción de humedad Fibra 4 59

Tabla 28 Resultados ensayo de compresión Fibra 1 62

Tabla 29 Detalle de los ensayos ejecutados sobre los prototipos PC1, PC2 Y PC3 de fibra tipo 1 (0.5 – 1.0 mm). 63

Tabla 30 Detalle de los ensayos ejecutados sobre los prototipos PD1, PD2 Y PD3 de fibra tipo 1 (1.0 – 5.0 mm). 65

Tabla 31 Detalle de los ensayos ejecutados sobre los prototipos PD1, PD2 Y PD3 de fibra tipo 1 (1.0 – 5.0 mm). 67

Tabla 32 Resistencia a tracción de resultantes de ensayo de compresión. 69

Tabla 33 Datos de probetas mecanizadas y secadas. 70

Tabla 34 Datos ensayo densidad fibra tipo 1..... 71

Tabla 35 Datos ensayo densidad fibra tipo 2..... 71

Tabla 36 Datos ensayo densidad fibra tipo 3..... 71

Tabla 37 Datos ensayo densidad fibra tipo 4..... 72

Tabla 38 Resumen de coeficiente de conductividad térmica de prototipos de fibra de lechuguín con resina polimérica. 73

Tabla 39 Coeficiente de conductividad térmica de otros aislantes..... 75

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por haberme dado la familia que tengo que ha sido mi pilar fundamental para que saque mis estudios adelante y culmine con este trabajo de titulación, a mi madre mi ejemplo de superación y profesionalismo, mi padre el que siempre confió en mis capacidades, a mis hermanos que han hecho llevadera estos estudios, mis amigos y compañeros que han sido el equipo con el que hemos llegado hasta este punto, a nuestro director Ing. Hernán García, quien confió en nuestro compromiso, al departamento de Virtual Tech que siempre estuvieron prestos a guiarnos en este trabajo de investigación.

Iván Quizhpi

Luego de un arduo trabajo de meses, finalmente veo culminado la tesis, a la vez quiero agradecer a todas aquellas personas que han contribuido de manera significativa en este proceso, a los arquitectos del grupo Virtual Tech, Fernando Hidalgo, Anabel Cruz, Mateo Astudillo, y a nuestro director de tesis el Ing, Hernan Garcia, excelentes profesionales que sin su apoyo y conocimiento no hubiera sido posible realizar este trabajo.

Henry Vásquez

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mi abuelito Efraín, siempre estará en mi corazón gracias por el ejemplo de compromiso, de valentía de seguir adelante a pesar de las adversidades, a mi abuelita Chocha, mi mamita que yo sé que ustedes estarían orgullosos de ver quien soy ahora. A mis papás Delma y Germán, mi mayor logro siempre será ser su hijo, espero hacerlos sentir orgullosos, mis ñaños, Angelica y Alexis gracias por apoyarme siempre.

Iván Quizhpi

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Patricio Vásquez y Rosa Domínguez, a mis hermanos Erika Vásquez y Jefferson Vásquez, gracias por ser ese pilar en mi vida, que a pesar de las adversidades siempre estuvieron ahí para apoyarme, pues hoy sus esfuerzos se ven reflejados en su primogénito.

A mis amigos y compañeros que formaron parte de mi vida universitaria, con quienes compartí momentos de alegría, diversión y tristeza, mil gracias a todos ustedes.

Henry Vásquez

CAP 1_Características y potencialidades de la especie.

I. Introducción

El problema de investigación surge de la necesidad de obtener materiales sostenibles para el sector de la construcción, debido a que algunos de ellos provienen de fuentes no renovables y son causantes de gases de efecto invernadero, por ejemplo, el carbón y el petróleo. Según datos del World Watch Institute la edificación contribuye, a nivel global, al 23% de la contaminación atmosférica, al 40% de la contaminación de agua potable y genera el 50% de los residuos que se depositan en los vertederos.

En nuestro medio esto no deja de ser una realidad, en la que debemos inmiscuirnos con la finalidad de generar un modelo de construcción sostenible, en la que se puede generar el menor impacto en los recursos ambientales no renovables. Para ello porque no hacer uso de los recursos disponibles en el medio, en este caso el Lechuguín (*Eicchornia crassipes*) una planta acuática invasora. La ausencia de información en cuanto a la aplicación de esta especie como material aislante dentro de la construcción y sus debidas normas técnicas, fundamentan la presente investigación, siendo la misma parte de un proyecto de investigación denominado " Sinergia entre la Fito depuración de aguas residuales y el desarrollo de materiales sostenibles para la construcción", desarrollado por el grupo de investigación Virtual tech de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo en conjunto con la facultad de Ciencias Quimicas.

II. Objetivo General

- Determinar características y potencialidades de la fibra del Lechuguín mediante ensayos de prototipos, para su aplicación como material aislante térmico**.**

III. Objetivos Específicos

- Creación de prototipos con diferentes tipos de partículas.
- Realizar los respectivos ensayos de los prototipos realizados con las fibras de lechuguín.
- Análisis e interpretación de resultados.

Especie Lechuguín (*Eichhornia crassipes*)

1.1 Potencial de la especie

1.1.1 Cantidad disponible

Planta perenne de origen acuático, que nace en el rio Amazonas, además de otros ríos y lagos de la región, como en zona oeste de Brasil, esta especie se extendió por el mundo por sus flores púrpura que la hacen ser considerada como una especie vegetal ornamental, que flota en la superficie de aguas tropicales (Ciencias De La Vida et al., 2015).

En Ecuador la especie se encuentra en la rivera de los ríos, mayoritariamente a lo largo de los ríos tranquilos, además del Oriente ecuatoriano, sobre todo en lagos y aguas estancadas.

El hábitat llega a ser las aguas dulces, donde la corriente es ligera, como lagos, canales, pantanos o presas, por su característica de maleza acuática.

Figura 1. Planta lechuguín

Fuente: Gaby Schulemann-Maier (2017)

1.1.1.1 Métodos de estimación de Cantidad

Gracias a fuentes que recolectan información como uno de los más conocidos GBIF (Sistema Global de Información sobre Biodiversidad), este sistema posee una red internacional de datos sobre las formas de vida en el planeta, respaldada por los gobiernos.

1.1.1.2 Recolección de datos

Debido a la característica de reproducción de la especie, tener un número exacto de las especies actuales en el país, sin embargo, para el estudio se consideró las zonas donde esta especie se desarrolla, además del número de problemas que esta ha presentado por su característica de ser una especie tipo plaga o invasora.

Tabla 1 Problemas de Eichhornia crassipes en Ecuador.

Nombre científico	País o área	Problemas	Provincia
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	8	Esmeraldas
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	6	Guayas
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	9	Azuay
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	6	Los Ríos
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	6	Napo
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	20	Imbabura

Fuente: GBIF
Elaboración: Quizhpi, Vásquez,2024.

Se puede apreciar que la especie se encuentra presente y además es responsable algunos problemas en el país, lo que obliga a buscar soluciones, no solo exterminar la especie para que esta no presente problemas.

Según los datos proporcionados por GBIF, el Lechuguín, se encuentra presente en 6 provincias, y ha generado un total de 55 problemas.

Por ello el uso de la especie es algo viable, aprovechar las características, tanto sus propiedades como planta fitodepuradura, así como su posible uso como abono o compost para los cultivos de personas que sean próximas a las zonas donde se encuentra el Lechuguín.

Nuestra investigación busca aprovechar esta especie como un material de construcción que posea características como aislante térmico**.**

1.1.2 Velocidad de crecimiento

El lechuguin también conocido como Jacinto de agua, es una planta perenne, que debido a que cuentan con cámaras de aire, cuyo interior contiene material fibroso, este le permiten flotar con facilidad en el agua, de igual manera, la raíz presenta tallos reducidos u horizontales que pueden llegar a unir varios ejemplares (Freire & Urtubey, 2019).

Esta planta se reproduce horizontalmente, lo cual hace que llegue a cubrir grandes superficies de agua, puede llegar a medir entre 0,5 a 1,2m desde la parte superior hasta la raíz, la misma está posicionada como la 8va planta con mayor crecimiento en el mundo (Joaquin Azcon Bieto & Manuel Talon, 2013).

Eichhornia crassipes se reproduce de manera vegetativa por medio de estolones, aunque tambien pueden llegar a reproducirse por medio de semillas, aunque esta última presenta un porcentaje bajo de germinación. Las aguas con buen contenido de nutrientes, especialmente el nitrógeno fosforo y potasio, potencian el crecimiento y desarrollo de esta planta; de igual manera pueden llegar a nutrirse de otros elementos como magnesio, calcio, hierro, aluminio, etc. Su capacidad de reproducción es muy alta, mediante reproducción vegetativa, lo que hace que puedan llegar a duplicarse en un mes, provocando asi densas colonias flotadoras(Labrada, n.d.). De acuerdo a un estudio científico se dice que dos plantas adultas

producen 300 plantas hijas en 23 días y 12000 en 4 meses(Obando J, 2006).

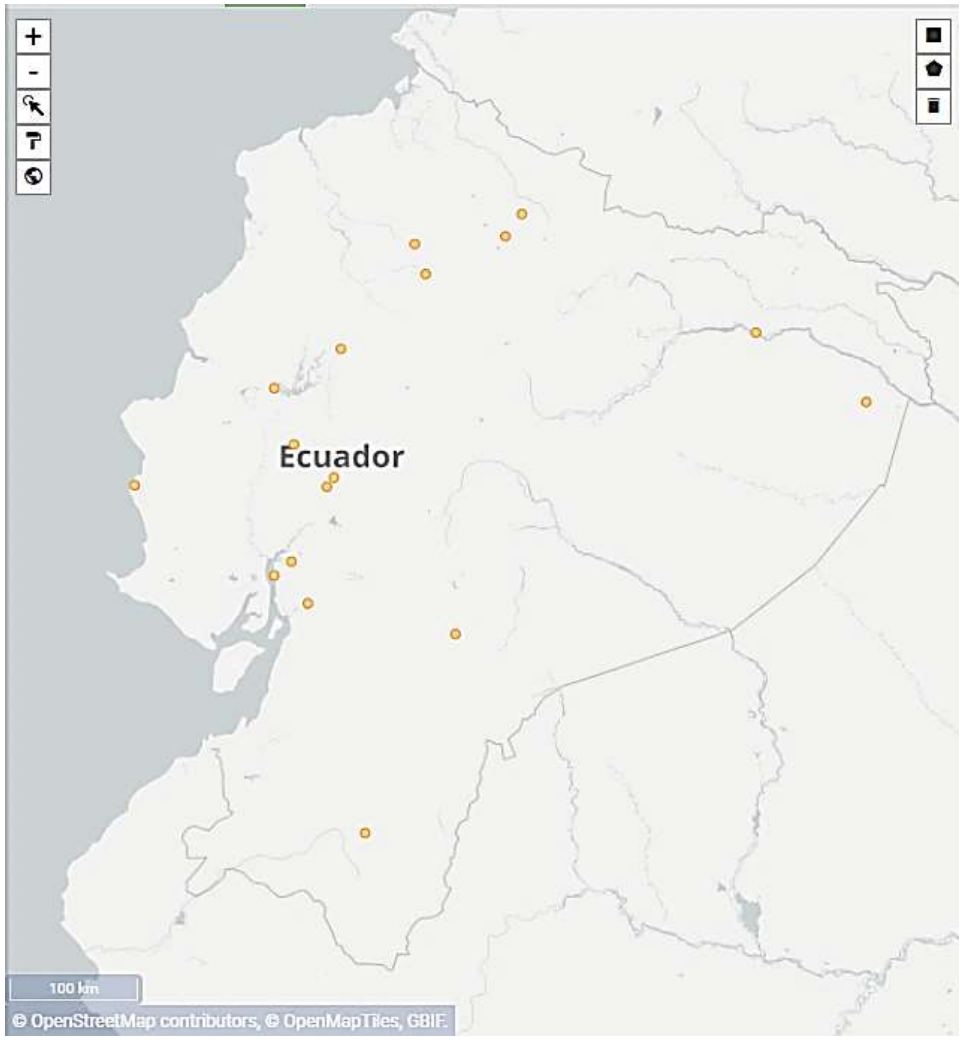
El alto porcentaje de crecimiento de esta planta de debe a que no existen organismos naturales que eviten el esparcimiento de la misma, como tambien, el alto contenido de nutrientes que pueden llegar a tener las aguas (Charudattan, n.d.). De igual manera su rápido esparcimiento limita las formas de vida de los organismos acuáticos, redes alimenticias y ciclos de nutrientes (Coetzee et al., 2014).

Figura 2 Recolección de lechuguín

Fuente: Revista Cardinalia (2020)

1.1.3 Distribución geográfica en el País

Figura 3 Ubicación de Eichhornia crassipes en Ecuador



Fuente: GBIF (2024)

La especie presenta características invasivas, lo que ha permitido su distribución en diversas zonas del país, especialmente en aquellas con cuerpos de agua dulce.

Tabla 2 Problemas de Eichhornia crassipes en Ecuador.

Nombre científico	País o área	Problemas	Provincia
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	8	Esmeraldas
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	6	Guayas
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	9	Azuay
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	6	Los Ríos
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	6	Napo
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Ecuador	20	Imbabura

Fuente: GBIF
Elaboración: Quizhpi, Vásquez. Universidad de Cuenca, 2024.

Analizando la tabla (1) podemos apreciar las provincias donde se concentra las áreas de producción de Lechuguín en el país, tiene una mayor presencia en las regiones de la costa y sierra, aunque en el oriente existe es menor sus puntos de localización.

Un punto que llama la atención es la provincia de Imbabura donde registra un mayor número de problemas, esto podría deberse a la cantidad de aguas estancadas en la zona, lo cual es importante considerar en la provincia del Azuay donde se realiza el estudio, siendo la provincia después de Imbabura la más afectada por esta especie.

Tabla 3 Registros de Eichhornia crassipes.

Coordenadas	Fecha del Registro	Número de registro	Localidad
2.6S, 78.6W	1991 mar. 23	Cerón Martínez 13744	Cuenca del río Paute. Embalse del río Paute. Bosque húmedo Montano.

Fuente: GBIF
Elaboración: Quizhpi, Vásquez. Universidad de Cuenca, 2024.

El estudio se centra en la provincia del Azuay, donde la ribera del río Paute es un punto focal importante debido a la alta concentración de esta especie.

Figura 4 Planta Eichhornia crassipes.

Naturgucker. (2023).

1.1.4 Control y manipulación de la especie

Como antes se mencionó el problema más significativo del lechuguín es su rápida expansión y aún más en los drenajes o redes de riego (Gaertner et al., 2016). Debido a ello provoca perdida y flujo de agua, perdida de evaporación, alteraciones en las propiedades fisicoquímicas del agua.

Presenta tambien un riesgo para la salud puesto que es el hábitat para el desarrollo de plagas como el dengue, encefalitis paludismo fiebre amarilla, etc., todo ello tiene repercusión sobre pueblos que se encuentran asentados cerca de aguas infectadas por esta planta (March Mifsut et al., 2008).

El Jacinto de agua evita el desarrollo de otras plantas y organismos como por ejemplo el fitoplancton (H. B. Lung'Ayia et al., 2000)

En Sudamérica uno de los grandes problemas presentes es la eutrofización del agua, debido a la expansión de esta planta, cerca del 41% de los lagos tienen este problema (Ilo et al., 2020), lo que hace que se tenga la necesidad de controlar esta planta, ya que, su existencia en grandes cantidades la hace una especie muy agresiva.

Las alternativas de control antes mencionadas, se usan para controlar la planta, pero ninguna de ellas tiene una gran eficacia en los distintos contextos, por ello, es necesario pensar en un método eficaz que ayude a controlar esta plaga. En base a este contexto, la aplicación de herbicidas se a convertido en la opción primaria para su control.

Este método ha sido aplicado durante años, lo que ha mantenido sustancialmente controlada la planta, a pesar de ello, no sé a desmeritado que el uso de herbicidas trae consigo serios problemas para el ambiente.

El control con herbicidas no es más que la aplicación de químicos, con la finalidad de mantener unos niveles aceptables de esta maleza y así poder evitar la expansión de la misma.

Cuando el control en términos económicos no es viable, ya sea, por la ubicación de la maleza o los costos ambientales, al igual que no se requiera con urgencia un control de la maleza, una opción es la combinación de agentes de control Greenfield et al., 2007).

Entre las alternativas que se tienen para el control de Eichhornia crassipes están los métodos químicos, físicos o combinaciones de estos y vale recalcar que sus efectos son prolongados (Gopalakrishnan et al., 2011), pero a la larga pueden presentar afectaciones al medio ambiente y ecosistemas.

Debido a las regulaciones sobre el uso de herbicidas en el agua en EEUU, al igual, que la opinión pública, se ha optado por buscar o explorar métodos alternativos para el control de esta maleza.

De ello nace una alternativa de la recolección mecánica, aunque tiene sus desventajas, y es que son costosas y conllevan tiempo.

Figura 5 Extracción mecánica de Eichhornia crassipes.

Fuente: Revista Cardinalia (2020)

Por lo tanto, como parte de una solución (Greenfield et al., 2007), realizo un estudio en el cual propone triturar y dejar descomponer esta planta en el agua, lo cual conlleva a que se tenga un costo menor que cosechar.

El método químico, cosecha o trituración pude provocar efectos negativos para el agua debido a que se puede dar una transmisión de nutrientes con el agua y alterar la calidad de la misma (Fleming & Dibble, 2015).

De acorde a (Greenfield et al., 2007) los efectos de triturar la planta dependerán de la localidad en donde se realice el control, de igual manera, esta acción podría provocar el 0,1 % y 9,6 % del aumento global de fósforo, carbono y nitrógeno.

Como se mencionó cada tipo de control tiene sus ventajas y desventajas (Gopalakrishnan et al., 2011), a la final la elección de cada uno de ellos, deberá basarse en las condiciones del sitio (tamaño, configuración espacial), patrones climáticos, como tambien, el uso que se le da al cuerpo de agua y el factor económico (Maribeth V. Gibbons et al., 1994).

Varias investigaciones han destinado sus estudios al uso que se pueda dar al lechuguÍn, con la finalidad de evitar su remoción y promover su crecimiento (Mayo & Hanai, 2017).

El uso de esta como fitorremediador se a estudiado varios grupos en todo el mundo (Salamanca, 2015).

Varios experimentos han demostrado la factibilidad del uso de esta planta para la eliminación de organofosforados, en especial el clorpirifos (insecticida), lo que hace que Eichhornia crassipes se vista como una especie capaz de actuar en aguas de entornos contaminados (Anudechakul et al., 2015)

Aparte de ejercer un papel como fitorremediador, puede ser usada en otros ámbitos como son: biogás para la alimentación animal, abono, producción de etanol, y incluso para la extracción de ácidos grasos volátiles (Uday et al., 2016).

Por ejemplo, su uso para la producción de etanol puede ser un campo de salida para el control de esta planta, de igual manera es propicio puesto que es un proceso de bajo costo y adecuado para países en desarrollo (Ganguly et al., 2012).

(Salas, 2019) recalca que la fibra de lechuguÍn puede ser usada como material de construcción debido a las propiedades que esta ofrece, contribuyendo así a una economía circular y aprovechando su alta disponibilidad.

Varios autores (Machuca Tania, 2020;Salas, 2019) resaltan el uso de esta planta para el desarrollo de compuestos de cemento y bioplástico, donde las cenizas de la planta pueden usarse como alternativa a las puzolanas en matrices de cemento, fijando contaminantes y promoviendo el reciclaje, además el uso de sus fibras puede mejorar la ductilidad y absorción del agua en compuestos constructivos, como tambien, sus cenizas tienen una utilidad puzolánica.

1.1.5 Aprovechamiento y usos del lechuguín

Figura 6 Eichhornia crassipes en el rio Paute

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

El lechuguín (Eichhornia crassipes) tiene una variedad de usos, algunos de ellos son conocidos, mientras que otros no lo son tanto; entre los que destacan es el más obvio, como fertilizante por su rápida descomposición. Como alimento para animales de granja y rumiantes.

Adicional a estos, existen una variedad de usos que se le puede dar a esta planta, que no son muy conocidos ya sea por su poca divulgación o por su reciente descubrimiento, entre ellos están:

- Materia prima para la fabricación de papel.
- Fuente de fibra para la producción de energía.
- Ingrediente en la fabricación de caucho natural como relleno, aumentando la dureza y el módulo de los productos.
- Fuente de carotenoides y como vegetal comestible.
- Tratamiento de aguas residuales y remoción de contaminantes como metales pesados.
- Producción de combustible de alta calórica y biocombustibles como hidrógeno y metano.(Singh & Kumari, 2017)

1.2. Características

El lechuguin posee una capacidad de adaptación al agua muy buena, incluso en condiciones salinas (Sooknah Reeta D & Wilkie Ann C, 2004), aunque su exposición a concentraciones de sal entre el 6% y 8% tienen un efecto letal que impiden su correcto crecimiento.

De acuerdo a (Haller et al., 1974) menciona que el lechuguin a presentado efectos tóxicos al estar expuestos a concentraciones superiores a 2.500 mg kg-1 de sal diluida en el agua.

El lechugín tolera cambios en la concentración de nutrientes, PH, y temperatura de los cuerpos de agua.

En cuanto a este último el rango de valores óptimos para su desarrollo es de 6 y 8 pH, de igual forma pueden llegar a desarrollarse en ambientes con temperaturas que van desde los 1°C a 40°C, siendo lo óptimo los 25 y 27,5°C (Malik Anushree, 2007), finalmente una humedad relativa baja (15-40%) pueden llegar a afectar el crecimiento de Eichhornia crassipes (R.J Sekomo, 2012).

1.2.1 Cosechas

1.2.1.1 Cosecha manual

Una de las ventajas de este método es que no es muy costos y promueve la participación de la comunidad, si a esto se le suma la intervención de una entidad pública o privada puede llegar a generar plazas de empleo.

Este tipo de cosecha requiere de destreza y, por lo tanto, de un equipo y seguridad que permita mantener la productividad de esta acción, entre las herramientas a usar se puede considerar las siguientes guadañas, machetes, bieldos, rastrillos, botas, cuerdas de seguridad y overoles, canastas o botes.

Algunos de los puntos a considerar en este método de extracción son las características del lugar, como puede ser la profundidad, pendiente, tipo de sustrato, calidad de agua, presencia de mosquitos, debido a que esto aumenta la cantidad de insumos, en otras palabras, este método es efectivo en cauces de agua pequeños, poco profundos, como zanjas y canales de irrigación (Perez Andrea et al., 2021).

“Se debe realizar en época donde las temperaturas son más bajas, entre noviembre y enero ya que cuando las temperaturas bajan, el jacinto de agua (E. crassipes) deja de reproducirse.

Sin embargo, la planta permanece agarrada a las márgenes, entre la vegetación de ribera, esperando que las condiciones ambientales vuelvan a ser favorables para reproducirse, en esta situación los trabajos resultan muy efectivos.

Tras la parada vegetativa de la planta, la retirada del mayor número de ejemplares supone una menor tasa de reproducción en los meses siguientes, se deben retirar las plantas dispersas por el lago, en los lugares

donde sea menos profundo o si es necesario el empleo de barcas en los tramos navegables y recurriendo a personal a pie en los tramos no accesibles a las embarcaciones (Perez Andrea et al., 2021).

Este tipo de remoción es efectiva cuando la invasión no es muy extensa y no muy importante.

De acorde a un estudio realizado por INGESA en México, la cantidad de personas necesarias para realizar dicha labor dependerá del área a controlar, en la siguiente tabla se presenta una referencia de cuantas toneladas se puede remover usando 100 personas en un día.

Tabla 4 Datos de recolección de Eichhornia Crassipes.

Capacidad de extracción de lirio	2.5 ton/per/día
Densidad del lirio	24 kg/m2
Densidad volumétrica del lirio	192 kg/m2
Masa de lirio extraída	240 ton/ha/ día
Mano de obra requerida	100 per/ha/día

Fuente: Kasia Strek, National Geographic (2024).

Figura 7 Recolección de Eichhornia crassipes.

Fuente: Kasia Strek, National Geographic (2024).

1.2.1.2 Cosecha mecánica

La remoción mecánica es una forma de control más eficiente que la manual, para ello se necesita de insumo económico para comprar una maquina eficiente, de igual manera este método requiriere de algún conocimiento técnico para ser puesto en marcha (Villamagna & Murphy, 2010), vale recalcar que tanto la remoción mecánica como la manual ayudan a un control de la especie, mas no extermina de raíz la misma.

De acorde a (Labrada, n.d.) el uso de una maquina trituradora o cortadora, no es beneficioso puesto que la desintegración en partes de la planta puede agravar el problema, ya que, esta acción provocaría la propagación de la planta.

El costo de estas máquinas ronda entre los 60,000 y 200,000 mil dólares como ejemplo se tiene a la marca JULONG (Figura 08).

En términos generales la eficiencia en cuanto a extracción en condiciones buenas ronda los 0,5-1ha/dia. Un aspecto a tomar en cuenta es que cuando existes altas densidades de esta especie en el agua, estas creas un sustrato sobre la cual se asientan otras plantas que no son propiamente acuáticas(Labrada, n.d.).

Figura 8 Barco de corte de malezas acuáticas modelo JLGC-200

Fuente: JULONG (2019).

Otra desventaja en este método es el peso del lechuguín, ya que, el mismo está compuesto por el 90% de agua, lo que hace que su transporte se dificulte y la cosecha sea costosa y logísticamente difícil (Villamagna & Murphy, 2010)

En conclusión, este método puede no ser tan efectivo cuando se trata de adquirir la maquinaria por los altos costos que esta representa.

Su principal ventaja es que este tipo de control abre rápidamente las aguas, para peces, botes, actividades de pesca, recreación etc, por lo que es recomendable cuando se trata de mantener actividades turísticas y económicas activas, mientras se buscan otras soluciones (Perez Andrea et al., 2021).

1.2.2 Taxonomía, Morfología y Fito depuración

1.2.2.1 Taxonomía y Morfología

De acuerdo a(Trujillo Zarela, 2012), la taxonomía del Lechuguín o también conocido como Jacinto de agua se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 5 Taxonomía de Eichhornia crassipes.

TAXONOMIA DE EICHHORNIA CRASSIPES	
Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta (plantas vasculares)
División	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase	Liliopsida (monocotiledóneas)
Subclase	Lilidae
Familia	Pontederiaceae
Género	Eichhornia
Especie	Ecrassipes

Fuente: Trujillo Zarela,2012

Elaboración: Quizhpi, Vásquez,2024.

Según (Trujillo Zarela, 2012) las características morfológicas generales del lechuguín son:

- Flotan sostenidas por esponjosos rizomas, con las raíces cortas flotando libremente.
- Son macrófitos flotantes, que alcanzan hasta un metro de altura, aunque normalmente no superan los 50 cm.
- Hojas en rosetas, ascendentes a extendidas (2 a 16 cm) y su fruto una cápsula (1.5 cm).
- Pecíolos cortos, hinchados (bulbosos), con tejido parenquimatoso.
- Flores azules a celestes, y una mancha amarilla en el lóbulo superior del perianto.

Figura 9 Partes de Eichhornia crassipes

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

1.2.2.2 Morfología del peciolo

El peciolo representa el 30% y 85% de la biomasa total de la planta, su forma será bulbosa en su estado tierno conforme vaya creciendo esta se ira alargando longitudinalmente, hasta llegar a medir entre 50-70 cm (Ebrahem, 2018).

La estructura interna comprende el 67,5% de aire haciendo as que tenga una apariencia esponjosa.(Bhattacharya et al., 2014;Mahmood et al., 2005).

Debido a que las cámaras de aire contienen una microestructura, estas permiten que el peciolo sea ligero lo que hacer que la planta pueda flotar en el agua, sobre ella se encuentran los haces vasculares que componen la fibra Mahmood et al., 2005), y junto con las paredes aerenquimáticas forman la parte solida del peciolo, la cual su peso contiene entre el 90% y 95% de agua (Pintor-Ibarra et al., 2018; Saha, 2011; Téllez et al., 2008).

1.2.2.3 Fito depuración

Según la Fito depuración es la limpieza de los cuerpos de agua que presentan contaminación, mediante el uso de plantas de ecosistemas acuáticos y de procesos químicos, físicos y biológicos.

La Fito depuración se da en ecosistemas que son receptoras de aguas contaminadas, en las cuales las plantas cultivadas en este medio son las encargadas de realizar la acción de limpieza y remoción de contaminantes presentes en el agua.

Tiempo atrás no era de importancia la disminución de contaminantes del agua, por lo que varias plantas eran vistas como una maleza debido a su alta capacidad de reproducción.

Mediante investigaciones se concluye que el tratamiento de aguas residuales se puede utilizar en otros fines, la planta macrófita escogida responde a ciertas características una de ellas que tiene que contener un sistema de rizomas (B. Anabel Rial, 2013).

Figura 10 Plantas de tratamiento de aguas residuales

Fuente: EMAPAO (2020).

De acorde a (Curt Fernández de la Mora., 2001) en Botánica se le llama macrófita a una especie vegetal, desde una perspectiva sencilla, en la que se pueden encontrar los árboles, plantas herbáceas y tambien los arbustos.

En este caso Eichhornia Crassipes ha sido utilizada para purificar cuerpos de agua contaminados.

Los indicadores basados en la reproducción de esta planta han obtenido resultados de distribuciones extensas, ya que se desarrollan en un sistema acuático y son plantas muy adaptables formando así grandes colonias. (B. Anabel Rial, 2013).

Esta planta no solo ha sido usada para la remoción de nutrientes y materia orgánica, sino también en sustancias toxicas como el As, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, y Hg. Eicchornia Crassipes de acuerdo con varios estudios, se ha evidenciado que presenta una disminución del 95% en la demanda bioquímica de oxígeno y 90,2% para la demanda química de oxígeno.

Tambien se ha visto una reducción en los sólidos suspendidos en el agua con porcentajes que se encuentran en el rango de 21% de fósforo total y 91% para el nitrógeno total, y finalmente para otros metales como el cobre, zinc, cadmio, etc, del 91,7% y 98,5% de reducción (Barrena Raquel, 2006).

Tabla 6 Reducción de contaminantes del agua.

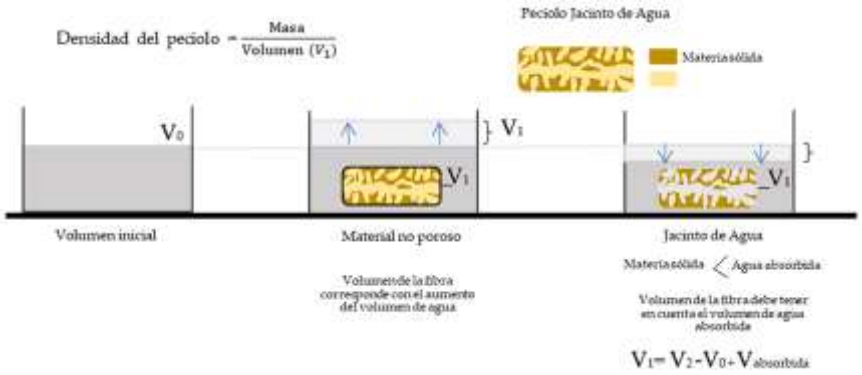
Especie	DBO,	DQO	SS	P. TOTAL	N. TOTAL	As	Fe	Mn	Pb	Cu	Cr	Cd	Zn
Eichhornia crassipes	37-95,1	72,6-90,25	21-92	42,3-98,5	72,4-91,7	80	76,6-90,1			86-95	60-89	40-85	48-95
Lmna minor	94,4			67	69	5	78,4	95	97	77-90,41	96,9	97,56	

Fuente: Martelo & Borrero, 2012.

1.3. Ensayos físicos y mecánicos de la especie

1.3.1 Densidad

Figura 11 Método de ensayo



Fuente: Salas, 2019

De acorde a (Salas, 2019), mediante ensayos realizados, buscaron contabilizar la cantidad de agua absorbida por las fibras.

Para ello buscaron determinaron la masa de los peciolos de lechuguín utilizando 50 muestras de fibra escogidas al azar, y secadas en una estufa a 60 °C hasta alcanzar un peso constante, durante 24 hora, considerando que el peso era constante cuando en tres mediciones consecutivas se obtuviera una dispersión menor al 1%.

Para el ensayo se debe colocar en una probeta un volumen determinado previamente de agua, este se encontrará a 22±1 °C (Vw0), para luego proceder a colocar las muestras en la misma. Al mismo tiempo se deberán colocar unos filtros de papel en agua a la misma temperatura. Luego de haber transcurrido 24h se retirarán los filtros de papel, y se los pondrá a secar 3min, mientras tanto se pesa el volumen de agua final (V_{wf}) obtenido de las probetas. Después se se deberá colocar las probetas en embudos los cuales serán vertidos en el filtro para filtrar el agua superficial de las mismas y finalmente se deberá anotar el peso saturado (P_{sat}) de las muestras obviamente restando el peso de los filtros (Salas, 2019).

La densidad de la fibra se calculó usando la ecuación

$$\text{Densidad (g/cm}^3) = \frac{Ps}{V_{wf} - V_{0f} + \frac{Psat - Pd}{\rho w}},$$

Donde pw es la densidad del agua a 22°C.

La tabla (6) muestra los resultados obtenidos para las partículas de los peciolos tipo “pulpa” (Figura 12 a) y “stape” (12 b) respectivamente.

La denominación de planta acuática flotante hace que el lechuguín tenga características anatómicas de baja densidad, siendo esta un 42% más ligero que otras plantas terrestres como por ejemplo el jute, sisal, cáñamo, kenaf, coco o maíz (Faruk et al., 2014; Gowthaman et al., 2018; Ramesh et al., 2017; Yan et al., 2016).

Su baja densidad está estrechamente relacionada con su previsible buen comportamiento como aislante térmico (Salas, 2019).

El resultado fue que las muestras tipo “pulpa” presentan menor densidad en comparación al tipo “Staple” y se debe a que en el primer caso la presencia del tejido aerenquimatoso es mayor, es decir presenta células vacías, mientras que en caso 2 son muestras compuestas por unidades de fibra lo cual hace que presente mayor densidad (Salas, 2019).

Figura 12 a) Pulpa b) Stape

Fuente: Salas, 2019

Tabla 7 Datos de la densidad registrada con cada una de las fibras.

Muestra	Tamaño	Densidad (g/cm3)	Dispersión
Pulpa	<#2mm	0,625	(±0,14)
Staple	>#2mm	0,834	(±0,17)

Fuente: Salas, 2019
Elaboración: Quizhpi, Vásquez,2024.

1.3.2 Contenido de humedad

El contenido de celulosa y hemicelulosa en la estructura del lechuguín hace que tenga buenas condiciones higroscópicas (Methacanon et al., 2010).Según el ensayo realizado por (Salas, 2019) menciona que el contenido de humedad para la fibra tipo pulpa es 7,82% (±1,87) y para el tipo “staple” es de 7,94% (±1,63).

La acumulación de agua en las muestras de tipo “staple” se dan debido a que el agua se acumula en su microestructura, es decir, en los poros de la fibra, esto en un contexto tropical, esto debido a una humedad relativa alta, la misma que no presenta una variación significativa, lo que conlleva a que no se produzcan efectos negativos de adherencia ocasionados por el cambio dimensional de las fibras frente a la humedad relativa ambiental.

Esta capacidad de captación de agua del lechuguin es bueno para contexto húmedos, debido a que puede actuar como un regulador de humedad dentro de las viviendas. (Salas, 2019).

1.3.3 Absorción de agua

La capacidad de absorber agua es un factor limitante de las fibras vegetales, si se las compara con las fibras sintéticas(Ramesh et al., 2017).

En términos generales la capacidad de un material para absorber agua está relacionado con las cavidades o cámaras de aire que tiene dicho material. En las fibras vegetales se debe tomar en cuentas dos aspectos químicos naturales, los cuales son la celulosa y hemicelulosa, ya que estas tienen propiedades absorbentes(Thiripura Sundari & Ramesh, 2012)

De acorde al estudio realizado el peciolo del lechuguin puede llegar a captar agua hasta 5veces su peso seco, en el caso de la muestra tipo “pulpa” con un resultado de captación de agua del 540,82% (±42,99), en comparación con la muestra tipo “staple” con un valor de 441,83% (±64,74) (Salas, 2019).

CAP 2_Elaborción de prototipos.

2.1 Moldes

2.1.1 Elaboración de Moldes

Los materiales usados para los moldes se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 8 Materiales usados para moldes.

MATERIALES		
MDF 6mm	Goma PVA	Tiras de madera 5x4cm
Pernos y tuercas 3/8”	Papel adhesivo	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 9 Herramientas usadas para el armado de moldes.

HERRAMIENTAS		
Estilete	Prensa	Taladro inalámbrico
Lijadora	Sierra Ingleteadora	Cortadora de mesa

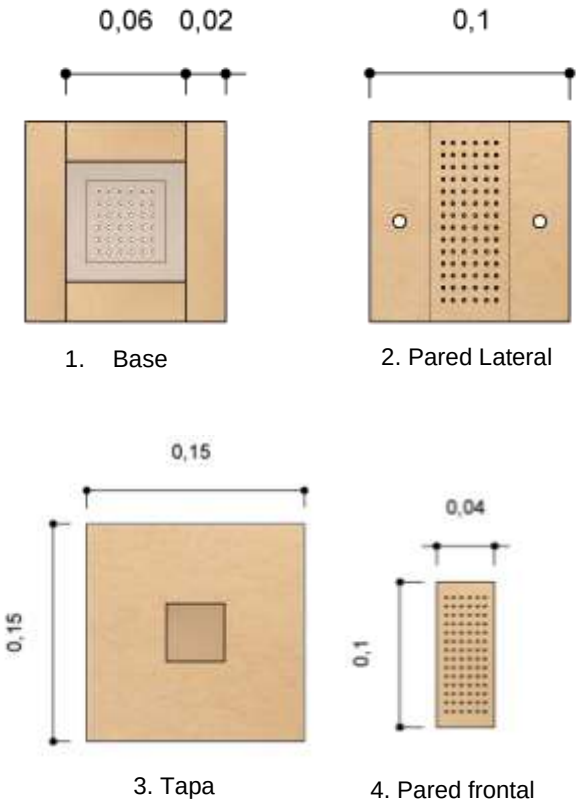
Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

.

Los moldes se realizaron en base a un prototipo desarrollado anteriormente y fueron realizadas en el taller de carpintería de la universidad.

Las medidas de las piezas se detallan a continuación:

Figura 13 Piezas de molde



1. Base
2. Pared Lateral
3. Tapa
4. Pared frontal

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Proceso:

1. Medida y dibujo de las piezas, tomando en cuenta que se debe dejar un margen de corte, puesto que el disco usado para el mismo tiene un espesor que se debe considerar.

2. El corte de las piezas se la realizo haciendo uso de la cortadora de mesa, la misma que es manipulada por el profesional a cargo de la carpintería.

3. Se procedió a la codificación de las piezas, lo mismo nos permitirá poder realizar el ensamblaje de forma más rápida.

4. Las paredes frontales, laterales, base fueron perforadas con la finalidad de permitir una ventilación de las probetas, como también, para la salida de la goma excedente debido a la compresión que se le dará a la mezcla de aglutinante y fibra.

5. Se vio pertinente levantar la base por el motivo antes mencionado, para ello se usó unos tacos de madera de 2 x 2 x 10 cm y 2 x 2 x 6 cm.
   Las perforaciones para la ventilación se la realizo con una broca de 1/8” y para los pernos de 5/8”.

6. En la parte del armado se colocan apoyos en la base y en las caras de los moldes, ambos cumplen la función de evitar una apertura debido a la presión que se ejercerá al momento de comprimir la mezcla de fibra y aglutinante.

7. En el interior de las caras se coloca papel adhesivo, ya que este permitirá que, en el momento del secado de las probetas, estas no se peguen a la madera y sea más fácil su desmontaje, el mismo no será reutilizable una vez usado el molde, se lo tendrá que cambiar.

8. Como refuerzo se coloca una tuerca y arandela para mantener junto las paredes verticales del molde.

Figura 14 Proceso de fabricación de moldes

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Resultado

Figura 15 Moldes fabricados.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2.1.2 Pruebas de Moldes

Una vez los moldes fueron fabricados es necesario realizar pruebas de la elaboración de probetas para verificar el correcto funcionamiento, previo a la elaboración de las mismas.

Por parte del departamento de investigación Virtual Tech, se nos fue proporcionado un recipiente con fibra de totora para elaborar las probetas de prueba.

Para la elaboración de la probeta de prueba se usó el aglomerante resina polimérica, en una dosificación de 2:1, previamente se utilizó WD-40 como lubricante en las paredes del molde para evitar que las probetas se adhieran a las paredes.

Figura 16 Prueba de molde con su respectivo peso

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

El peso ejercido para el molde fue de 5.2 kg, colocado en el centro de la tapa para que la presión sea uniforme. Se dejó la probeta en un período de 4 días, no se puedo usar el horno para esta ocasión por esa razón se dejó ese tiempo.

Sin embargo, al desmontar el molde los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que a pesar de la probeta no estar completamente seca, esta no se desprendió con la seguridad de que los moldes funcionan correctamente se continuó con la siguiente fase.

2.2 Tratamientos previos de la especie parala elaboración de muestras

2.2.1 Recolección de la especie

El lechuguín se obtuvo entre las represas de Mazar y Paute, en el rio que lleva el mismo nombre de este último.

Debido a que es una zona protegida, es necesario de un permiso para poder ingresar al embalse donde se encuentra la especie, es necesario tomar las debidas precauciones, y protecciones, como el uso de guantes y botas.

En este caso la recolección se la realizo de forma manual, ya que, existía una gran cantidad de lechuguín cerca de las orillas, lo que facilitaba su extracción.

Figura 17 Ubicación de Eichhornia crassipes en el rio Paute.

Fuente: Google Earth 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

- Hidroeléctrica Mazar
- Hidroeléctrica Paute
- Punto de ingreso para recolección y limpieza.

Figura 18 Recolección de Eichhornia crassipes en el rio Paute.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2.2.2 Clasificación

Durante el proceso de recolección del lechuguín, pudimos observar que la planta tiene varias partes con particulares características, empezando desde la forma de como esta crece.

Como se observa en las imágenes, a pesar de ser la misma planta y haber crecido en el mismo cuerpo de agua, se desarrolla de distinta manera.

En el caso de la izquierda adquiere la forma de una bomba en su tallo, a diferencia de la fotografía de la derecha donde vemos que tiene una forma más uniforme y alargada, estos lugares que sufren esta deformación se les denomina pecíolos.

Figura 19 Peciolos de Eichhornia crassipes

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Según lo observado al momento de la cosecha, estas diferencias se deben a que las plantas que están en una zona donde la profundidad del agua es mayor requieren flotar.

Es por ello que los pecíolos tienden a hincharse, mientras que los que se encuentran en profundidad menor no necesitan por lo que crecen con una forma más esbelta.

Otro factor a considerar al momento de clasificar es la raíz, ocupa un espacio considerable, además del agua que almacena, provoca un mal olor y que la planta tienda a descomponerse más rápido.

Figura 20 Raíz de Eichhornia crassipes.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

La especie al tener un rápido desarrollo, es inevitable que ciertas partes ya estén en estado de descomposición o en proceso, por lo que es necesario separarlos del resto que se va a considerar para el secado.

Figura 21 Almacenamiento de Eichhornia crassipes

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Con la especie clasificada, según lo que se va a usar y lo que no, se procedió con el corte de en fragmentos de 4 cm aproximadamente para agilizar los procesos posteriores de secado y triturado.

Figura 22 Corte de hojas de los peciolos de Eichhornia crassipes.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2.2.3 Secado

Se optaron por diferentes procesos para el secado, al ser un volumen considerable de la especie que se iba a emplear, se empezó con un secado al aire libre, esto durante 1 semana y media donde los resultados no fueron los esperados.

Figura 23 Eichhornia crassipes en descomposición.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

La fibra obtenida de esta metodología no solo no se secó completamente, sino que, además, redujo su tamaño considerablemente, y un porcentaje de la fibra se encontró en estado de descomposición.

Por lo que se optó por dejarlo secar al aire libre, sin colocar plástico o cualquier otro elemento de este material por debajo, puesto que esto hacía que capte humedad, el período que se lo dejo fue de 24 a 48 horas observando que el nivel de humedad disminuya para poder continuar el secado en un horno.

Una buena práctica fue colocar sobre una lámina de zinc la planta, ya que, esto hizo que disminuya la humedad más rápido.

Figura 24 Secado al aire libre de Eichhornia crassipes.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

El horno utilizado es el Humboldt, el cual fue configurado a una temperatura de 70° Celsius con ventilador, esto con el objetivo de que la temperatura sea homogénea y haya una circulación del aire para que el proceso de eliminación de la humedad.

Figura 25 Secado en horno de Eichhornia crassipes.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

El lechuguín se colocó sobre bandejas de aluminio para su secado en el horno, esto durante un período de 10 horas, donde los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que la especie conservaba su tamaño inicial, no sufrió descomposición, y lo más importante no hubo rastros de humedad.

Figura 26 Eichhornia crassipes seco.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

A continuación, se detallan los pesos del lechuguín húmedo, con respecto al húmedo, tomados con tres muestras de cada tipo.

Tabla 10 Comparación de pesos de especie.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso húmedo	2,4	4	3,2	**3,2**
Peso seco	0,4	0.8	0,5	**0,56**
% Variación	16%	20%	15%	**17%**

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2.2.4 Trituración

Para la trituración se usó una licuadora marca Osterizer de 2 velocidades, previo a ello, con la planta seca se procedió a cortar los peciolos redondos para poder ponerlos en la licuadora.

El tamaño del mismo variaba entre 4 a 6 centímetros, ya que la planta en su estado seco se seguía manteniendo blanda y esto no presentaba una dificultad para el triturado en comparación con otras fibras.

La especie triturada presenta una consistencia blanda de color café claro, que fácilmente se esparce al tener contacto con el viento, las paredes del vaso de la licuadora presentan una especie de polvo que no aplica su uso poque sus partículas son muy pequeñas.

Debido a la consistencia del material después del secado, era sencillo que se pudiera triturar con las manos, ya que el lechuguín al ser una planta porosa acuática, esto quedaba súper frágil después del secado.

Por lo que parte de la partícula obtenida era también producto de este proceso, generalmente los pecíolos mas grandes eran previamente destrozados con las manos para luego ser colocados como se mencionó previamente.

De esta manera se optimizaba el procedimiento, teniendo un triturado manual y otro mecánico, las diferencias entre estos son que manualmente se podía controlar el tamaño deseado, contrario al mecanizado que requería de un control constante para no dejar todo en el mínimo de los tamaños requeridos para los ensayos.No solo era el control del tiempo de triturado, sino también de la cantidad que se colocaba, ya que, si era mucha, el triturado era poco eficiente.

Al ser un material muy liviano y por el tamaño de partícula era imprescindible el uso de protección, ya que las partículas se quedaban en el aire.

También el proceso de sacar la materia triturada debía realizarse con mucho cuidado por lo mencionado anteriormente, es muy liviana la partícula, entonces un movimiento brusco provoca que parte de lo procesado no se pueda almacenar.

Tabla 11 Herramienta, preparación y resultado de trituración de especie.

Licuadora	Especie cortada	Especie triturada

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2.2.5 Tamizado

En este proceso se usaron los equipos disponibles en el laboratorio de hormigones de la Facultad de Arquitectura. Para ello, se procedió a seleccionar los tamices a usar, certificando que cumplan las normas ASTM E-11. Esta norma cubre los requisitos para la tela de tamiz, así como para el diseño y la construcción de tamices de prueba, que se utilizan para clasificar materiales por tamaño de partícula.

Tabla 12 Caracteristicas de tamices

Nro. De Tamiz	Abertura(mm)	Tamiz
8	2,38	
16	1,19	
30	0,595	
50	0,297	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 13 Proceso de tamizado.

1	Se procedió a pesar la fibra a usar para el tamizado, en este caso se usó una balanza marca Adventurer TM Pro AV8101C, de acorde al tamaño de los tamices se optó por usar 50,2g de fibra	
2	Se procedió a colocar la muestra en la tamizadora mecánica marca Humboldt, durante 5min, esta realizo movimientos verticales-circulares uniformes, lo que hizo que la separación de la fibra sea homogénea y efectiva.	
3	Luego de tamizar se clasifico la fibra obtenida de acorde a cada tamaño, de esta manera se pudo constatar que se obtenía más residuo en comparación con el resto de la fibra.	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Los pesos obtenidos totales para cada tamaño de partícula fueron los siguientes (*Tabla 12*), se pudo constatar que se obtuvo más residuo, en comparación al resto de tamaños de fibra.

Tabla 14 Pesos obtenidos por cada tipo de partículas.

Tamaño de fibra	0,2 – 0,5mm	0,5 – 1mm	1 – 1,5mm	Residuo
Pesos (g)	286,4	286,8	265,5	316

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2.2.6 Elaboración de prototipos

En el siguiente apartado se menciona el proceso que se llevó a cabo para la fabricación de los prototipos con la fibra de lechuguín.

Se realizo una prueba para verificar las cantidades de fibra como de aglutinante a usar, como también el tiempo de armado de cada prototipo y el tiempo de secado de cada uno

2.2.6.1 Antecedentes

Como se mencionó anteriormente se procedió a realizar pruebas de los prototipos, primero se inició con el de tallos enteros, para ello se cortó los peciolos en tamaños de 4 cm aproximadamente.

En este caso la goma a emplear es el cemento de contacto (resina polimérica) marca el africano, las propiedades del mismo se detallan a continuación.

Tabla 15 Características de cemento de contacto.

Africano. Cemento de Contacto. Adheplast	
Materia prima básica	Poli cloropreno
Tipo	Disolución
Sólidos	20.5±0.5% (AF1) 19±0.5% (AF4)
Viscosidad	2.400 ± 300CPS (AF1) 2.200 ± 200CPS (AF4)
Color	Café amarillento
Olor	Solventes aromáticos

Fuente: Pintulac (s.f)
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Al tener una consistencia muy plástica se la tuvo que reducir con disolvente, la relación usada fue 1:1.

Figura 27 Proceso de obtención de aglutinante.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

La cantidad de preparado de aglomerante para este caso (Tallos enteros) se la obtuvo en base a la siguiente fórmula:

A= (*2F)*

Donde:

- A es el peso de aglutinante (g).
- F es el peso de fibra de totora (g).

En el caso de la cantidad de aglutinante para las diferentes partículas se usó la siguiente formula:

A= *2*(2F + 15% (2F))*

Donde:

- A es el peso de aglutinante (g).
- F es el peso de fibra de totora (g).

Para este proceso se usó un peso de 4,8Kg/cm2. Como resultado para el caso de los tallos enteros se obtuvo una probeta de menor altura puesto que al desmontar se la tenía que cortar, por lo que se tuvo que corregir los moldes, para que las medidas sean exactas. En cuanto a las probetas realizadas con las partículas se usó 8g de fibra, al momento de colocar en el molde no se lo compacto por capaz, por lo que al final se obtuvo una probeta con un peso menor y frágiles.

Figura 28 Probetas de tallo entero y partículas.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2.2.6.1 Prototipos finales

Luego de realizar las pruebas, se procedió a realizar las correcciones, en este caso se inició con las probetas de las diferentes partículas, en donde se aumentó la cantidad de fibra a 18g para cada caso, puesto que al compactar aumenta la cantidad de fibra necesaria. Se mantuvo la relación de cemento de contacto con el disolvente y se usaron las fórmulas mencionadas anteriormente.

Proceso

1. Preparación del aglutinante.

Tabla 16 *Ejemplo de cálculo de aglomerante.*

Peso de Fibra(g)	Dosificación de cemento + disolvente (g)	Peso final de aglutinante (g)
18	1:1	82,8

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2. Luego de haber obtenido el aglomerante, se procedió a mezclar con la fibra, de tal manera que todo este cubierto y tenga una consistencia homogénea.

Figura 29 Fibra de lechuguin 1 – 1,5 mm.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

3. Colocación de WD-40 en las paredes de los moldes con la finalidad de que la fibra no se pegue durante su secado.

Figura 30 Colocación de WD-40 EN moldes.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

4. Se coloco la mezcla antes preparada en los moldes, y cada medio centímetro se compacto, dando 8 golpes por lado.

Figura 31 Compactación de fibra en los moldes.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

5. Se procedió a llevar los moldes al horno (serie Humboldt) a una temperatura de 70 °C, en el cual también se colocó los pesos en cada molde (4,8kg).

Figura 32 Horno y moldes con peso.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

6. Debido a los cortes de luz se realizó 4 ciclos de secado 2 con el molde y 2 solo probetas, cada ciclo constaba de 6 horas.

Figura 33 Secado de probetas.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

7. Desencofrado de probetas, haciendo uso de una cuchilla para despegar ciertas partes pegadas al molde.

Figura 34 Desmontaje de probetas.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

8. Codificación de las piezas.

Figura 35 Ejemplo de codificación de piezas.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Para la elaboración de tallo enteros se realizó ajustes a los tallos, el procedimiento es el mismo que en el caso anterior.

1. Reducción del tamaño de los tallos, haciendo uso de una lija y cuchilla.

Figura 36 Lijado de tallos de lechuguín.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2. Al igual que en el caso anterior se debe colocar WD-40 en las paredes y base del molde.

3. Colocación de los tallos y aglutinante en cada capa, vale la pena recalcar que se debe alternar la colocación de los tallos conforme se avanza la probeta, en este caso no se sumergió los tallos en el aglomerante, sino más bien este fue colocado en cada capa conforme avanzaba la probeta.

4. Llevado al horno para su secado y colocación de pesos.

5. Codificación de probetas.

CAP 3_Ensayos de laboratorio.

3. Ensayo de prototipos

En el siguiente apartado se describe los ensayos realizados a los prototipos, con la finalidad de evaluar las propiedades de los mismos y determinar si son viables para, para ser usados como material aislante térmico.

Entre los ensayos se incluyen pruebas de absorción de humedad, comprensión, densidad y conductividad térmica.

La descripción de los diferentes ensayos abarca elementos de la preparación de los prototipos previo a los ensayos, procedimiento empleado y equipo necesario.

Los diferentes ensayos son importantes, ya que, permiten simular las condiciones climáticas y ambientales reales a las que estaría expuestas el material, y los mismos realizar una comparativa con otros materiales disponibles en el mercado.

3.1 Ensayo de Humedad

1. SECADO: Colocación de las probetas en el horno, a una temperatura de 70°C, durante 6 horas, esto debido a los cortes de luz, al realizar esto le damos a las muestras una propiedad anhídrida lo que permite conocer la absorción de humedad desde cero.

2. MEDICIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES: Con ayuda de un anemómetro (Kestrel 5500) se mide la temperatura y humedad relativa del ambiente en la que están expuestas las probetas, en este caso el laboratorio.

3. REGISTRO DE PESO SECO: Retirar las probetas del horno y con ayuda de una balanza (Adventurer Pro) se obtiene el peso seco de las probetas.

4. REGISTRO DE PESO EXTENDIDO: En este caso se registraron los pesos durante tres días (24, 48, Y 72 horas), a la par de cada registro se debe obtener los datos de las condiciones ambientales. Este último se lo realizara los días que sea conveniente a la misma hora.

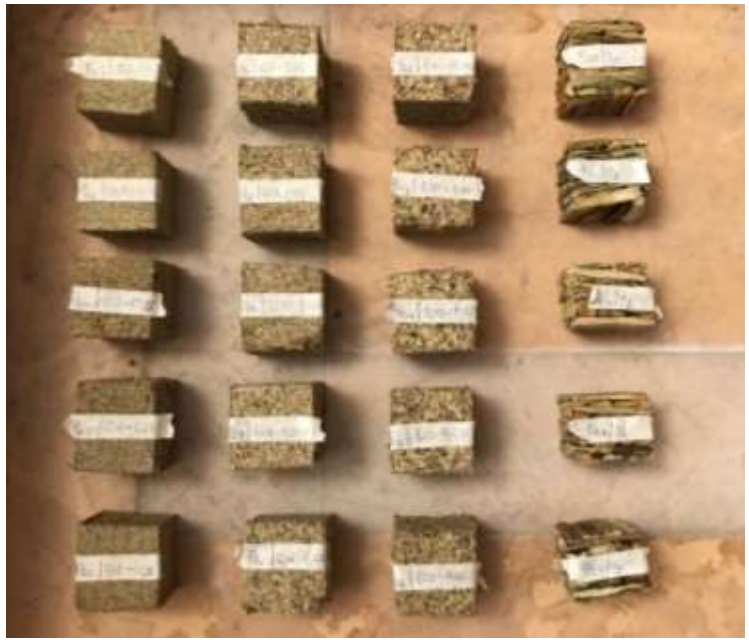
3.2 Ensayo de compresión

3.2.1 Antecedente (Mecanización)

Previo a realizar el ensayo de compresión se tuvo que mecanizar cada probeta, con la finalidad de homogeneizar sus lados y que los mismos queden lisos.

Las probetas fabricadas, poseían irregularidades significantes en sus caras, las cuales para los ensayos posteriores era un impedimento, estos requieren en líneas generales caras prolijas para tener un mayor control sobre la toma de datos.

Figura 37 Probetas sin mecanizar.



Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Herramientas

1. Lijadora de hoja (Black Decker 200W)
2. Lija para madera
3. Marcador
4. Cuchilla
5. Regla

Tabla 17 Herramientas y materiales.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Procedimiento

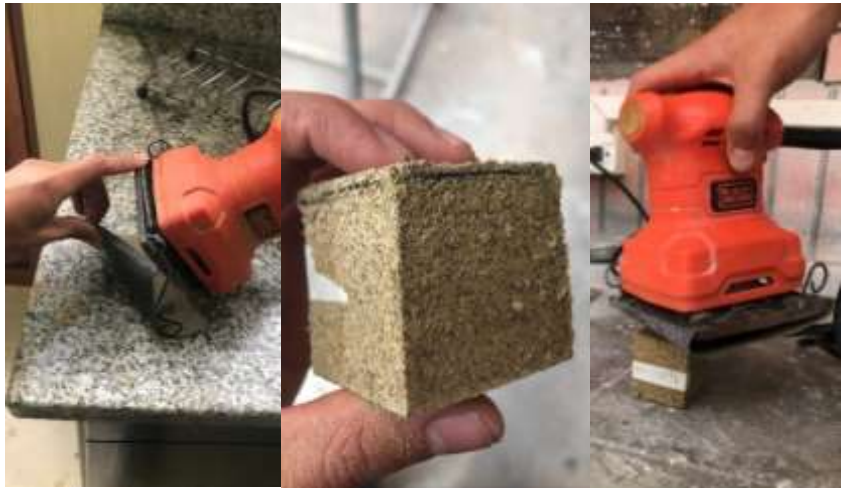
1. Preparación de lijadora: Colocación de la lija en el disco de la misma, tratando de que esta, esté bien asegurada y no se salga.

2. Preparación de la probeta: Con ayuda de una escuadra buscar el lado que se encuentre más recto, de esta manera se obtendrá la referencia para el resto de lados.

3. Referencia: Se procede a realizar los trazados que servirán de guía para el siguiente paso.

4. Nivelación de caras: Se coloco las probetas sobre una mesa estable, y con ayuda de la lijadora manual se procedió a lijar las caras del cubo, tratando de que la presión ejercida no sea mucha, debido a que puede llegar a desprenderse o dañar los filos de las probetas.

Figura 38 Preparacion de probetas para su mecanización.



Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

3.2.2 Verificación de medidas

Es importante luego de realizar la mecanización de las piezas, obtener las medidas finales, ya que, estos datos serán ingresados luego al software de la máquina en donde se realizará el ensayo de compresión.

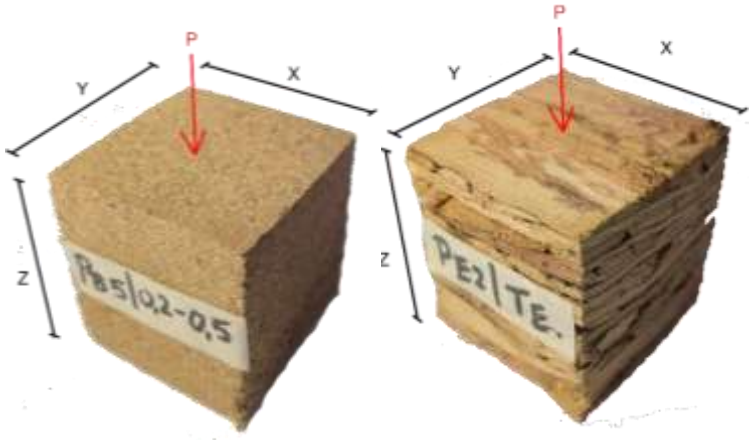
Para ello la maquina pide tres medidas, por nomenclatura universal llevan las siglas X, Y, Z (largo, ancho, alto).

Vale recalcar que se debe tomar como referencia la cara en donde se colocó el peso en el momento de la construcción de la probeta, debido a que el lado Z, debe ser paralelo al eje del peso y perpendicular a la cara.

Materiales

1. Probetas mecanizadas
2. Calibrador vernier

Figura 39 Forma de medición de probetas.



Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Figura 40 Equipo y medición de probeta.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Además de las medidas se verificaron los pesos de cada una en gramos, para tener un registro detallado de las características físicas de las probetas, además de que estos datos son necesarios para el cálculo y el desarrollo de los ensayos posteriores, donde se hacen comparativas con los datos obtenidos ahora y posterior a la mecanización, con los datos tomados una vez se haya desarrollado el ensayo.

Estos datos según serán utilizados según lo que el ensayo demanda

Tabla 18 Datos de probetas mecanizadas.

TABLAS DATOS PROBETAS MECANIZADAS					
Código	**Tamaño fibra**	**Peso**	**Ancho (x)**	**Alto (z)**	**Profundidad (y)**
PB1	0.2-0.5	20,1	3,9	4	4,1
PB2	0.2-0.5	20,9	4	4,05	3,95
PB3	0.2-0.5	19,5	3,95	4	3,9
PB4	0.2-0.5	20,6	4,07	3,95	4,05
PB5	0.2-0.5	19,4	3,9	4,1	4,1
PB6	0.2-0.5	22	4,05	3,89	4
Código	**Tamaño fibra**	**Peso**	**Ancho (x)**	**Alto (z)**	**Profundidad (y)**
PC1	0.5-1.0	20,7	4,05	4,4	4
PC2	0.5-1.0	17,5	3,8	4	4,1
PC3	0.5-1.0	20,1	4,1	4,2	4,2
PC4	0.5-1.0	17,9	3,9	4,25	3,9
PC5	0.5-1.0	20,8	4,05	4,5	4,1
PC6	0.5-1.0	19,8	4	4,1	4
Código	**Tamaño fibra**	**Peso**	**Ancho (x)**	**Alto (z)**	**Profundidad (y)**
PD1	1.0-5.0	20,8	4,15	4,2	4,1
PD2	1.0-5.0	20,1	4,15	4,39	4,1
PD3	1.0-5.0	21	4	4,39	4,15
PD4	1.0-5.0	19,9	4	4,4	4,15
PD5	1.0-5.0	18	3,95	4,1	4
PD6	1.0-5.0	17,6	3,95	4,15	3,75
Código	**Tamaño fibra**	**Peso**	**Ancho (x)**	**Alto (z)**	**Profundidad (y)**
PE1	Tallo entero	8,3	3,9	4	4
PE2	Tallo entero	9,1	3,85	4,1	4
PE3	Tallo entero	5,7	3,9	3,5	3,8
PE4	Tallo entero	5,1	3,85	3,4	3,9
PE5	Tallo entero	5,6	3,7	3,25	3,6
PE6	Tallo entero	4,4	3,8	2,9	3,6

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024. Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

3.2.3 Calibración de maquina

El ensayo se lo realizo en el Bloque C del laboratorio de ingeniería industrial del campus Balzay de la Universidad de Cuenca, la maquina (SHIMADZU AGX-300KNV) es nueva por lo que se requirió realizar algunos ajustes previos a la etapa de pruebas.

1. Cambio de partes.
2. Colocación de bases y eje.
3. Prueba de ajustes de altura.
4. Esperar 10 minutos hasta que la maquina se caliente.
5. Ajustes de software.

Tabla 19 Proceso de calibración de máquina.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

3.2.4 Ensayo de compresión

Para el ensayo de compresión la norma base que se uso fue la UNE 56-535-77, norma que indica como se realiza los ensayos de resistencia a compresión axial de la madera.

Proceso:

1. Colocación de datos de las medidas de las probetas en el software (medidas X, Y, Z), las mismas deben estar en mm, y estos datos se ingresan cada vez que se cambien el tipo de prototipo basándonos en el tamaño de partícula.

2. Colocación de datos específicos sobre el ensayo en el software.
   Velocidad de carga: 0,6mm/min.
   Precarga: 1N.
   Rango de ensayo: Tallo entero 4 mm
   Partículas de hasta 800 um: 2 mm.

3. Colocación de las probetas en la máquina, tratando de coincidir lo antes mencionado, que el eje Z sea paralelo a donde se va aplicar el ensayo, y que la probeta se encuentre en el centro de la base de la máquina.

4. Ajustar la altura de la máquina, de modo que exista un encuentro entre la superficie del cubo y la base del plato.

5. El ensayo se detiene una vez que la gráfica muestre el fallo o punto de fluencia del material, este dato será importante ya que permite calcular el módulo de elasticidad, el tiempo que se demore en ocurrir el mismo dependerá de las características de cada prototipo.

6. Una vez finalizado el ensayo, se procederá a cambiar el prototipo, vale recalcar que estos se colocaran en base a los datos ingresados al inicio en el software de la máquina.

7. Al finalizar los ensayos de todas las probetas, se guara los datos obtenidos en un flash memory, los mismo estarán en formato CSV y pdf donde constan las gráficas.

Figura 41 Orden de ejecución de ensayo de compresión.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

3.3 Ensayo de Densidad

Este ensayo es de importancia debido a que la densidad de un material es una propiedad que está ligada a la conductividad térmica, ya que, a mayor densidad de un elemento menor será la conductividad térmica por el mismo. Para ello se emplearon las siguientes herramientas

1. Calibrador
2. Horno de la marca Humboldt, modelo “40GC Series Lab Ovens”.
3. Balanza de precisión Adventurer Tm pro Av8101C.

Procedimiento

1. SECADO: Colocación de los prototipos mecanizados en el horno durante 24h.
2. CONFIGURACION DE HORNO: Ajustar la temperatura del horno a 70°C, para el secado de los prototipos.
3. REGISTRO DE PESOS: Se registran los pesos de las probetas después de este tiempo con ayuda de una balanza de precisión.
4. REGISTRO DE MEDIDAS: Se midieron las probetas con ayuda de un calibrador, se registraron tres medidas, alto, ancho y largo.
5. CALCULO DE DENSIDAD: Para calcular la densidad se usó la siguiente formula:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

ρ es la densidad (g/cm³).

m es la masa del prototipo (g).

v es el volumen del prototipo (cm³).

3.4 Ensayo de Conductividad Térmica

3.4.1 Antecedentes

Para este ensayo se realizó un aparato de conductividad térmica, basado en una guía y manual del aparato PASCO modelo TD-8561, usado para el mismo fin.

Materiales

1. Estufa Eléctrica Mtx
2. Olla
3. Cámara de vapor
4. Manguera transparente de PVC.

Figura 42 Materiales usados para el aparato de conductividad térmica.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

El uso de la estufa y la olla hacen que se cree una especie de caldero, con la finalidad de calentar el agua hasta que la misma llegue a si punto de ebullición, lo que más importante de esto es poder captar el vapor de agua para ello se colocó una manguera en la tapa de la olla, la cual va a servir de conductor hacia la cámara de vapor, esto se lo hizo porque dentro de la olla cuando el agua este en ebullición, la misma generara presión y como está más la temperatura son constantes, no es posible controlarla en este punto.

En la cámara de vapor por lo tanto se va a generar una mezcla saturada, este punto es importante debido a que en esta cámara si es posible controlar la temperatura, es decir, se llega un punto de estabilización que más adelante se comentara cual es, en cada uno de estos pasos se obtienen datos los cuales son importantes porque sirven para generar la fórmula de la cantidad de energía conducida por el material,

Por lo tanto, a continuación, se hace hincapié en la formula a usar y los datos que intervienen en la misma:

$$\boldsymbol{k} = \frac{\text{Masa de hielo derretido} * 80\frac{\text{cal}}{\text{g}} * \text{h}}{\text{A} * \boldsymbol{\Delta}\text{t} * \boldsymbol{\Delta}\text{T}}$$

$\boldsymbol{k}$= Cantidad de energía térmica conducida.

$\mathbf{A}$= Area del cubo de hielo (usar la que está en contacto con la cámara de vapor).

$\boldsymbol{\Delta}\text{T}$= Diferencia entre la temperatura de las caras del material.

$\boldsymbol{\Delta}\text{t}$= Tiempo en derretir el hielo.

$\boldsymbol{h}$= Espesor del material

Esta fórmula se deriva de una técnica usada para calcular la conductividad térmica directamente, la cual trata de tres pasos

- Tener la cámara de vapor caliente y estabilizada.

- Colocar sobre ella el material a ser estudiado para aislante térmico.
- Colocar sobre este último el cubo de hielo, pero este debe tener un elemento en el cual pueda recogerse el hielo derretido.

Para este ensayo se afirmará que la base del hielo se encuentra a 0 °C y el valor de estabilización de la cámara de vapor deberá ser lo más cercano a los 100 °C, siendo el valor usado el mismo para todas las probetas.

3.4.2 Preparación de probetas

Materiales

1. Regla
2. Esfero
3. Probetas

Figura 43 Materiales para preparación de probetas.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Herramientas

1. Cortadora de cinta
2. Lijadora de mesa
3. Calibrador

Figura 44 Equipo y herramienta usada para la mecanización de probetas.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Previo al ensayo se realizó un proceso más de mecanización.

1. Marcar en las probetas la distancia a la que serán cortadas, en este caso se busca llegar a 3m, por lo tanto, considerando el espesor de la cuchilla de corte, se lo dejo en 5mm la marca. Esto se realizó en cada uno de los tipos de fibras, tratando de obtener 3 muestras por cada tamaño de fibra.

Figura 45 Dibujo de guía de corte en la probeta.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2. Corte de las probetas haciendo uso de la cortadora de cinta marca STETON.

Figura 46 Corte de probeta.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

3. Lijado de las probetas para obtener una superficie más lisa, para esto se usó la lijadora.

Figura 47 Lijado de cara de probeta.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

4. Medición de probetas.

Figura 48 Medición de probeta.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

3.4.3 Ensayo de conductividad térmica

Materiales

1. Probetas mecanizadas.
2. Papel aluminio
3. Plancha de espuma Flex
4. Cinta adhesiva transparente.

Herramientas

1. Cámara de imagen térmica HT-A1. Resolución 220x160. Rango -20°C - 300°C.
2. Termómetro infrarrojo OMEGA OS 425 – LS.
3. Balanza de precisión CENTURY.
4. Computadora

Tabla 20. Materiales y herramientas usados en el ensayo.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Procedimiento

1. Se procede a calentar el agua hasta que este empiece a hervir.

Figura 49 Calentado de agua.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

2. Con el uso del termómetro infrarrojo, se procede a estabilizar la cámara de vapor, tratando que este se encuentre en un valor de 90 °C.

Figura 50 Estabilizacion de cámara de vapor.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024..

3. Al haber llegado a los 90°C la cámara de vapor se coloca la probeta mecanizada sobre la cámara de vapor, y con ayuda de la camara térmica se apunta hacia la probeta, hasta que esta se estabilice, este último puede llegar a variar en cada probeta.

Figura 51 Estabilización de temperatura de la probeta.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024..

4. Pesado del hielo, ese debe ser retirado de la nevera una vez que se haya estabilizado lo antes mencionado.

Figura 52 Pesado de hielo.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

5. A la par se coloca el papel aluminio sobre la probeta, este nos servirá para recepta el agua del hielo derretido, y sobre este a la vez se coloca la cámara aislante de espuma Flex con el hielo dentro, y se ejerce una pequeña presión sobre la superficie.

Figura 53 Hielo sobre la cámara de vapor.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

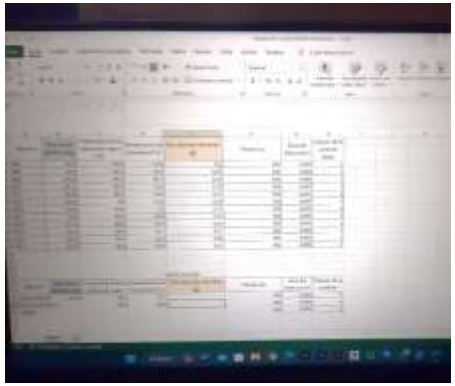
6. Se esperará durante 5min y se procederá a retirar el hielo y a pesar el agua obtenida del proceso anterior.

Figura 54 Pesado del agua de hielo derretido.

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

7. Se registra la cantidad en un Excel junto con los demás datos obtenido en cada paso.

Figura 55 Registro de datos obtenidos.



Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

El tiempo estimado de ensayo por cada probeta es de 10min, se debe tomar en cuenta que la cámara de vapor se debe vaciar el agua cada 4probetas, al igual se debe llenar de agua la olla.

CAP 4_Análisis e Interpretación de resultados.

4. Análisis e interpretación de resultados

En este capítulo serán expuestos los diferentes resultados obtenidos de los ensayos realizados a los prototipos creados con base de fibra de lechuguín, siendo la resina polimérica el aglomerante usado para la conformación de estos.

Los ensayos realizados, son vitales para conocer el comportamiento del material fabricado, ante diversas situaciones a las cuales se puede afrontar en un caso real, donde este prototipo simula unas condiciones a los que los materiales de construcción son expuestos, considerando los casos más desfavorables para mayor seguridad de la información obtenida.

Estos son necesario que se realice en todos los materiales de construcción que están por salir al mercado, ya que sin garantía de que un producto responda a las condiciones requeridas, este será un completo fracaso, esto no solo en tema económico que ya es algo muy significante para la persona o el grupo responsable, sino en un daño ambiental, ya que la fabricación, sobre todo en productos de esta línea siempre tiene un impacto ambiental, por más mínimo que este pueda llegar a ser.

El ensayo de absorción de la humedad es elemental para tener cuanto llega a absorber el material, así podemos determinar la porosidad, resistencia y durabilidad del mismo; además que puede ayudar a prevenir dificultades a futuro como fisuras, manchas u hongos, así también es necesario garantizar el cumplimiento de normas técnicas.

Por otro lado, tenemos el ensayo de densidad que nos ayuda a determinar la masa por unidad de volumen del material en cuestión, así tenemos información sobre su compacidad y resistencia mecánica; la densidad del material permite evaluar la calidad, durabilidad y capacidad del mismo.

En cuanto al ensayo de conductividad térmica, este mide la capacidad del material, en este caso las probetas, para transmitir calor; indispensable para evaluar el aislamiento térmico en materiales de construcción, se llega a determinar su eficiencia para conservar energía y, además, mantener las temperaturas estables en los sitios donde este fuese utilizado.

Por último, pero con el mismo nivel de importancia está el ensayo de compresión, este evalúa la resistencia mecánica del material sometiéndolo a fuerzas de compresión; clave para determinar la capacidad de carga y el comportamiento estructural del material, la carga ejercida es progresiva para evaluar mientras aumente la fuerza y si es que llegase a fallar, en qué momento sería crítico.

4.1 Ensayo de humedad

En este caso se analiza la absorción de la humedad, para este ensayo lo que se procedió es clasificar a las probetas a ensayar en grupos según su tipo de fibra usada para su construcción.

En este caso tenemos 4 tipos:

- Fibra tipo 1 PB (0.2-0.5 mm)
- Fibra tipo 2 PC (0.5-1.0 mm)
- Fibra tipo 3 PD (1.0-5.0 mm)
- Fibra tipo 4 PE (Tallo entero)

Con los grupos identificados, es viable analizar la capacidad de absorción de humedad, comparándolos con probetas con propiedades similares.

La recopilación de datos durante el ensayo fue de manera individual y en condiciones equitativas, con una balanza en gramos para tener una mejoría en la precisión de datos.

Los datos máximos, mínimos y promedio del ambiente en temperatura y humedad son exhibidos. Información que complementa al ensayo.

Estas cualidades de absorción de humedad en condiciones ambientales nos reflejan la capacidad del material, además de su rendimiento como un aislante térmico.

Catalogar él ensayo por tipo de fibra para cada tablero nos ayuda a identificar las cualidades de uno respecto a los demás.

Tabla 21 Resultados de absorción de humedad durante 48 horas de prototipos de fibra 1, 2, 3 y 4

Probeta	Tamaño de la fibra	Día de ingreso al horno	Día de salida del horno		1 hora		24 horas		48 horas	
PB2	0,20-0,50	23.1	22.8	**-1.30%**	22.8	**0.00%**	23.9	**4.82%**	24.2	**6.14%**
PB3	0,20-0,50	20.7	20.7	**0.00%**	20.7	**0.00%**	21.6	**4.35%**	22	**6.28%**
PB4	0,20-0,50	20.8	20.4	**-1.92%**	20.4	**0.00%**	21.7	**6.37%**	22.2	**8.82%**
PB5	0,20-0,50	21.8	21.4	**-1.83%**	21.4	**0.00%**	22.7	**6.07%**	23.2	**8.41%**
PB6	0,20-0,50	22.7	22.1	**-2.64%**	22.1	**0.00%**	23.5	**6.33%**	24	**8.60%**
PC2	0,50-1,00	21.1	20.9	**-0.95%**	20.9	**0.00%**	22.3	**6.70%**	22.7	**8.61%**
PC3	0,50-1,00	21	20.9	**-0.48%**	20.9	**0.00%**	22.2	**6.22%**	22.6	**8.13%**
PC4	0,50-1,00	20.8	20.7	**-0.48%**	20.7	**0.00%**	21.9	**5.80%**	22.3	**7.73%**
PC5	0,50-1,00	21.7	21.7	**0.00%**	21.7	**0.00%**	23	**5.99%**	23.4	**7.83%**
PC6	0,50-1,00	20.6	20.5	**-0.49%**	20.5	**0.00%**	21.8	**6.34%**	22.2	**8.29%**
PD2	1,00-5,00	21.9	21	**-4.11%**	21	**0.00%**	22.4	**6.67%**	22.7	**8.10%**
PD3	1,00-5,00	21.5	20.7	**-3.72%**	20.7	**0.00%**	22.1	**6.76%**	22.4	**8.21%**
PD4	1,00-5,00	22.1	20.7	**-6.33%**	20.7	**0.00%**	22.1	**6.76%**	22.3	**7.73%**
PD5	1,00-5,00	21.8	19.9	**-8.72%**	19.9	**0.00%**	21.5	**8.04%**	21.9	**10.05%**
PD6	1,00-5,00	19.9	18.2	**-8.54%**	18.2	**0.00%**	19.4	**6.59%**	19.7	**8.24%**
PE1	Tallo entero	7.1	6.5	**-8.45%**	6.5	**0.00%**	7	**7.69%**	7.1	**9.23%**
PE2	Tallo entero	7	6.5	**-7.14%**	6.5	**0.00%**	6.9	**6.15%**	7	**7.69%**
PE3	Tallo entero	5.3	5.1	**-3.77%**	5.1	**0.00%**	5.5	**7.84%**	5.4	**5.88%**
PE4	Tallo entero	5.3	5.2	**-1.89%**	5.2	**0.00%**	5.3	**1.92%**	5.5	**5.77%**
PE5	Tallo entero	4.8	4.6	**-4.17%**	4.6	**0.00%**	4.8	**4.35%**	4.9	**6.52%**

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 22 Porcentajes de aumento promedio de todos los prototipos de lechuguín.

PORCENTAJE DE AUMENTO PROMEDIO	Salida - Ingreso del horno	1 hora	24 horas	48 horas
	-3.35%	0.00%	6.09%	7.81%

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 23 Porcentajes de aumento promedio de todos los prototipos de lechuguín.

Temperaturas	Día de ingreso al horno	Día de salida del horno	1 hora	24 horas	48 horas
Temperatura ambiente mínima	20.3	17.7	17.7	24.9	22.2
Temperatura ambiente promedio	22.3	19.7	19.7	26.9	24.2
Temperatura ambiente máxima	24.3	21.7	21.7	28.9	26.2
Humedad relativa mínima	41.2	57.5	57.4	36.4	52.6
Humedad relativa promedio	46.2	62.5	62.4	41.4	57.6
Humedad relativa máxima	51.2	67.5	67.4	46.4	62.6

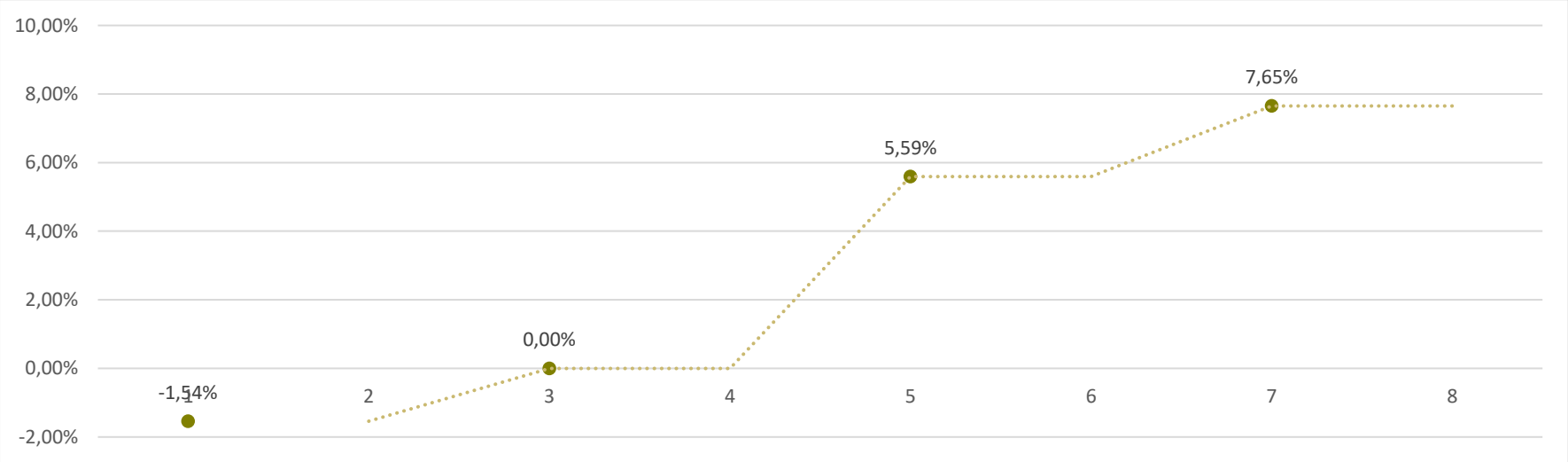
Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 24 Resultados de absorción de humedad Fibra 1

Probeta	Tamaño de la fibra	Día de ingreso al horno	Día de salida del horno		1 hora		24 horas		48 horas	
PB2	0,20-0,50	23.1	22.8	**-1.30%**	22.8	**0.00%**	23.9	**4.82%**	24.2	**6.14%**
PB3	0,20-0,50	20.7	20.7	**0.00%**	20.7	**0.00%**	21.6	**4.35%**	22	**6.28%**
PB4	0,20-0,50	20.8	20.4	**-1.92%**	20.4	**0.00%**	21.7	**6.37%**	22.2	**8.82%**
PB5	0,20-0,50	21.8	21.4	**-1.83%**	21.4	**0.00%**	22.7	**6.07%**	23.2	**8.41%**
PB6	0,20-0,50	22.7	22.1	**-2.64%**	22.1	**0.00%**	23.5	**6.33%**	24	**8.60%**
Porcentaje de aumento promedio			**-1.54%**		**0.00%**		**5.59%**		**7.65%**	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Figura 56 Porcentaje de absorción de humedad Fibra 1.



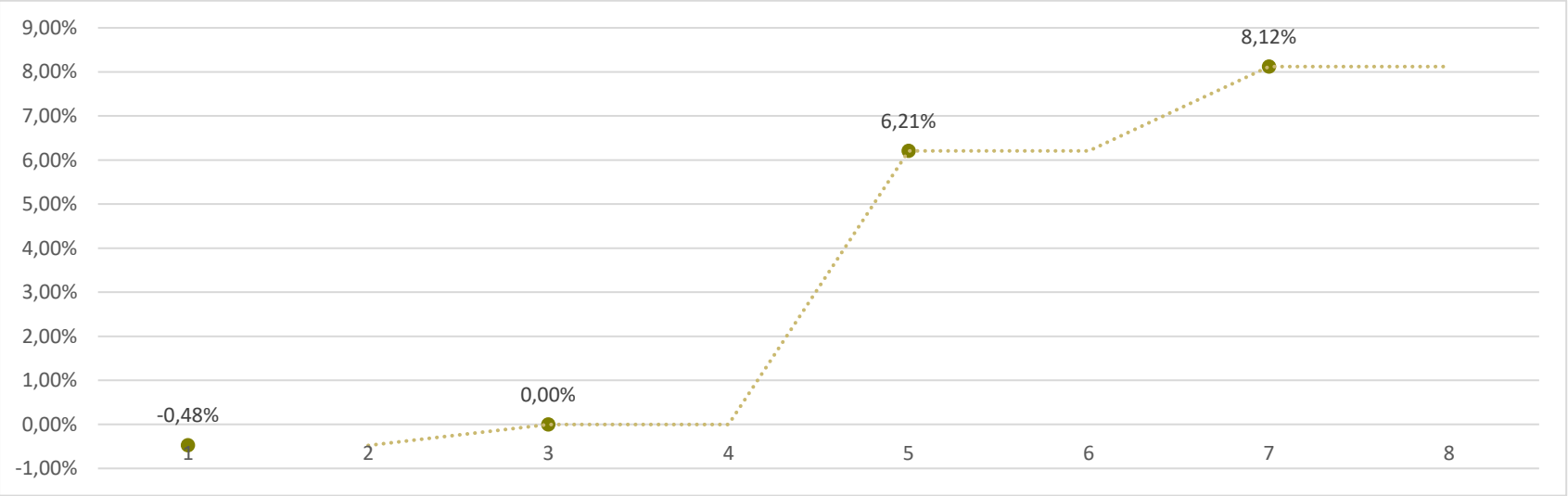
Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 25 Resultados de absorción de humedad Fibra 2

Probeta	Tamaño de la fibra	Día de ingreso al horno	Día de salida del horno		1 hora		24 horas		48 horas	
PC2	0,50-1,00	21.1	20.9	**-0.95%**	20.9	**0.00%**	22.3	**6.70%**	22.7	**8.61%**
PC3	0,50-1,00	21	20.9	**-0.48%**	20.9	**0.00%**	22.2	**6.22%**	22.6	**8.13%**
PC4	0,50-1,00	20.8	20.7	**-0.48%**	20.7	**0.00%**	21.9	**5.80%**	22.3	**7.73%**
PC5	0,50-1,00	21.7	21.7	**0.00%**	21.7	**0.00%**	23	**5.99%**	23.4	**7.83%**
PC6	0,50-1,00	20.6	20.5	**-0.49%**	20.5	**0.00%**	21.8	**6.34%**	22.2	**8.29%**
Porcentaje de aumento promedio			**-0.48%**		**0.00%**		**6.21%**		**8.12%**	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Figura 57 Porcentaje de absorción de humedad Fibra 2.



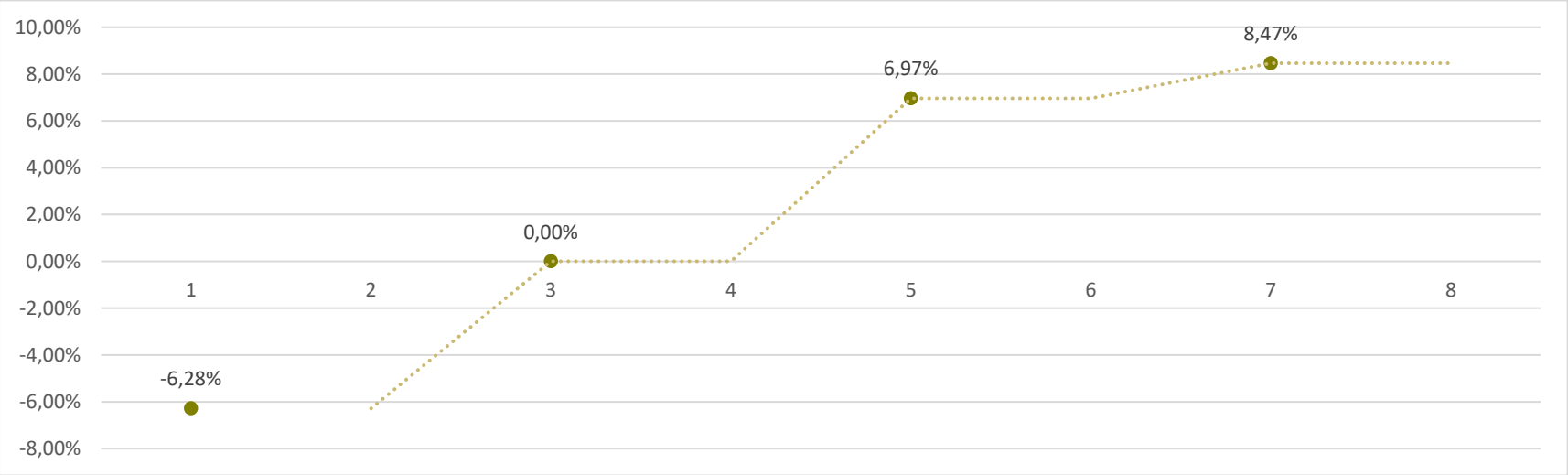
Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 26 Resultados de absorción de humedad Fibra 3

Probeta	Tamaño de la fibra	Día de ingreso al horno	Día de salida del horno		1 hora		24 horas		48 horas	
PD2	1,00-5,00	21.9	21	**-4.11%**	21	**0.00%**	22.4	**6.67%**	22.7	**8.10%**
PD3	1,00-5,00	21.5	20.7	**-3.72%**	20.7	**0.00%**	22.1	**6.76%**	22.4	**8.21%**
PD4	1,00-5,00	22.1	20.7	**-6.33%**	20.7	**0.00%**	22.1	**6.76%**	22.3	**7.73%**
PD5	1,00-5,00	21.8	19.9	**-8.72%**	19.9	**0.00%**	21.5	**8.04%**	21.9	**10.05%**
PD6	1,00-5,00	19.9	18.2	**-8.54%**	18.2	**0.00%**	19.4	**6.59%**	19.7	**8.24%**
Porcentaje de aumento promedio			**-6.28%**		**0.00%**		**6.97%**		**8.47%**	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Figura 58 Porcentaje de absorción de humedad Fibra 3.



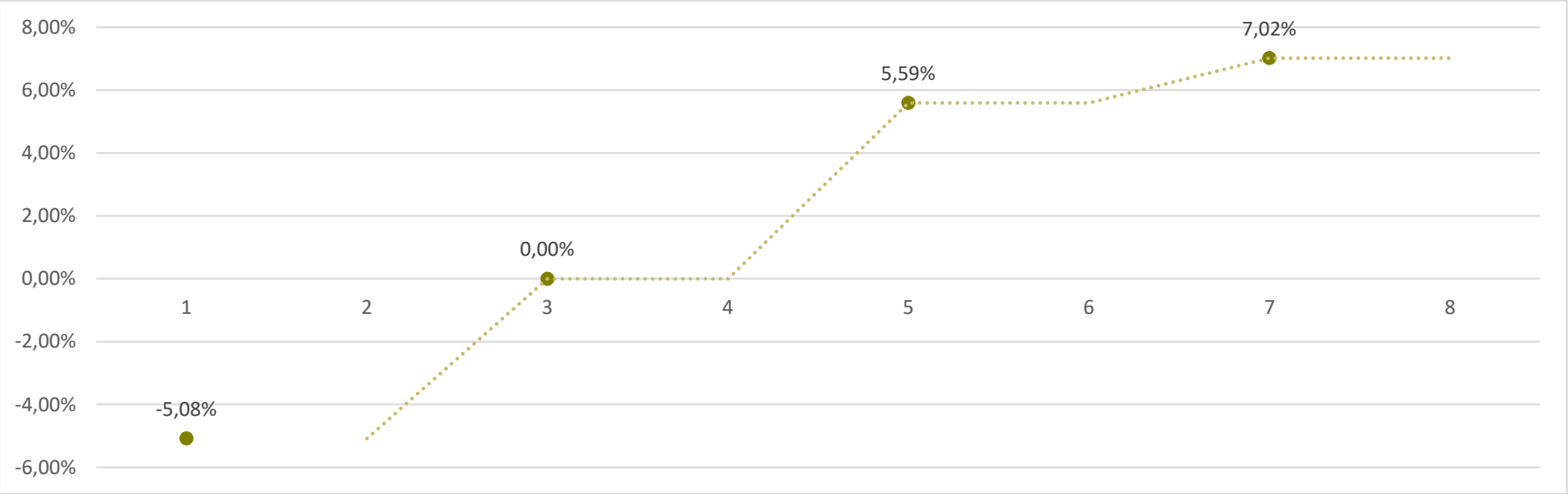
Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 27 Resultados de absorción de humedad Fibra 4

Probeta	Tamaño de la fibra	Día de ingreso al horno	Día de salida del horno		1 hora		24 horas		48 horas	
PE1	Tallo entero	7.1	6.5	**-8.45%**	6.5	**0.00%**	7	**7.69%**	7.1	**9.23%**
PE2	Tallo entero	7	6.5	**-7.14%**	6.5	**0.00%**	6.9	**6.15%**	7	**7.69%**
PE3	Tallo entero	5.3	5.1	**-3.77%**	5.1	**0.00%**	5.5	**7.84%**	5.4	**5.88%**
PE4	Tallo entero	5.3	5.2	**-1.89%**	5.2	**0.00%**	5.3	**1.92%**	5.5	**5.77%**
PE5	Tallo entero	4.8	4.6	**-4.17%**	4.6	**0.00%**	4.8	**4.35%**	4.9	**6.52%**
Porcentaje de aumento promedio			**-5.08%**		**0.00%**		**5.59%**		**7.02%**	

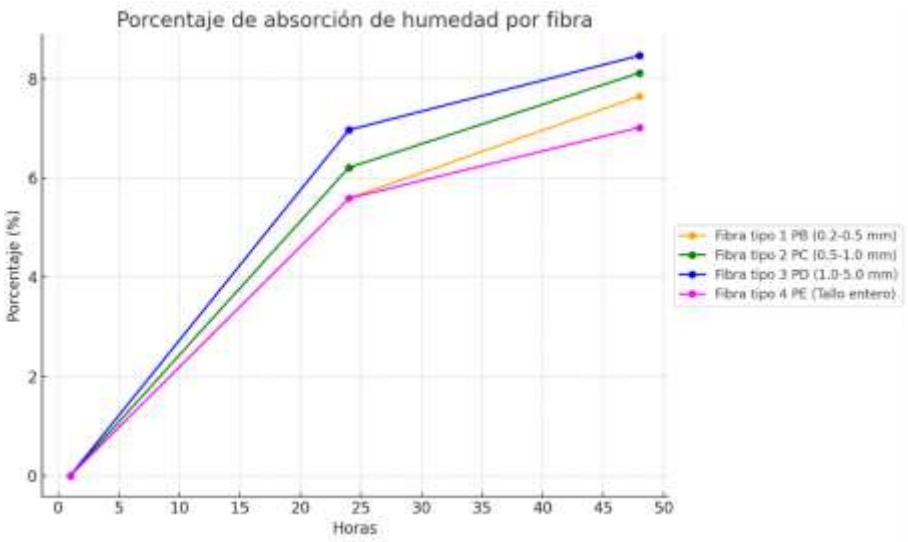
Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Figura 59 Porcentaje de absorción de humedad Fibra 4.



Fuente: Quizhpi, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Figura 60 Porcentaje de absorción de humedad por cada fibra ensayada.



Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

En la gráfica resumen podemos ver como la fibra tipo 3 resalta, al tener un porcentaje de absorción de humedad mayor que las demás fibras ensayadas, especialmente el pico más lejano es a las 24 horas.

Las 4 fibras en sí poseen un porcentaje de absorción alto a las 24 horas, teniendo a las fibras tipo 1 y tipo 4 con el menor aumento respecto a las demás.

Es interesante el comportamiento entre las fibras de tamaño más pequeño y las fibras de tallo entero, que como vemos en la gráfica tienen el mismo porcentaje promedio de absorción de humedad a las primeras 24 horas.

Se tomó el dato de absorción de humedad a la hora de haber salido del horno para verificar si es que alguna de las probetas recién salidas del horno tenía la capacidad de absorber en ese tiempo algún porcentaje de humedad.

Tenemos un porcentaje promedio de absorción de la humedad de 7.81% a las 48 horas de todas las fibras, respecto a un 6.09% de las primeras 24 horas nos indica un cambio relevante en la humedad de las probetas.

Esto es importante tener en cuenta para materiales de construcción, sobre todo para los aislantes, ya que la absorción de humedad ambiental es una característica que puede afectar considerablemente la eficacia y la durabilidad de estos.

4.2 Ensayo de compresión

Estos ensayos fueron desarrollados en los laboratorios de ingeniería industrial de la Universidad de Cuenca, los mismos se ensayaron de manera individual por cada probeta.

Si bien están clasificadas 3 probetas por cada tipo de partícula, al ser una máquina nueva en el laboratorio, sumado a los cortes de energía que el país está afrontando, hizo que se hicieran ensayos individuales.

El problema de la energía fue, que, si había un bajón o un cambio en el voltaje, la maquina se apagaba completamente y no quedaba ningún respaldo de los datos.

Cada prueba tomaba alrededor de 10 a 15 minutos, entonces una vez finalizada se guardaba todos los datos por individual, para luego ser clasificados sus datos según su tipo de fibra.

Los ensayos si bien fueron ejecutados individualmente, previamente se agruparon por tipo de fibra para que la tabla de datos resultante el programa nos dé una sola. Sin embargo, las gráficas si quedaron independientemente.

Los resultados de los ensayos son los siguientes:

4.2.1 Fibra 1 (0.2 - 0.5 mm)

Tabla detallada de los ensayos ejecutados sobre los prototipos PB1, PB2 Y PB3 de fibra tipo 1 (0.2 – 0.5 mm):

Tabla 28 Resultados ensayo de compresión Fibra 1

Product Name	Lechuguin-resina	**Method File Name**	Prueba de Compresión_Lechuguin.vmav
Report Date	4/12/2024	**Testing Machine**	AGX-V
Test Mode	Single	**Test Type**	Compression
Speed	0,6mm/min	**Shape**	Plate
No of Batches:	1	**Qty/Batch:**	3

Name	Elastic	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke_Strain
Parameters	Force 10 - 20 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N/mm2	N	N/mm2	%
PB1	2,85353	478,890	0,29949	9,99200
PB2	7,32538	465,918	0,29488	9,87654
PB3	10,3596	860,538	0,55861	9,99747

Name	Max_Disp.	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Stress
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	0,2 %	0,2 %
Unit	mm	%	N	N/mm2
PB1	3,99680	9,99200	-,-	-,-
PB2	4,00000	9,87654	127,371	0,08061
PB3	3,99899	9,99747	382,239	0,24813

Name	YS1_Disp.	YS1_Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %
Unit	mm	%
PB1	-,-	-,-
PB2	0,52230	1,28963
PB3	1,03169	2,57922

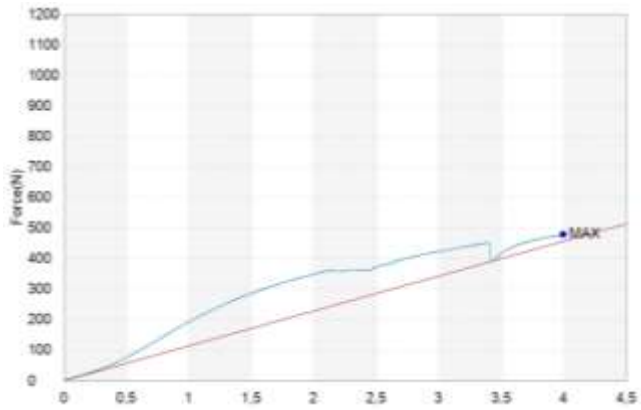
Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

El resultado más significativo es el del módulo de elasticidad de PB3 (10.3596 N/mm^2), esto sugiere que tiene un comportamiento mucho más rígido respecto a las otras probetas, demostrando una capacidad para resistir cargas aplicadas.

Mientras PB1 con un módulo de elasticidad de (2.85353 N/mm^2), dándonos a entender que es más susceptible a deformaciones bajo esfuerzos considerables.

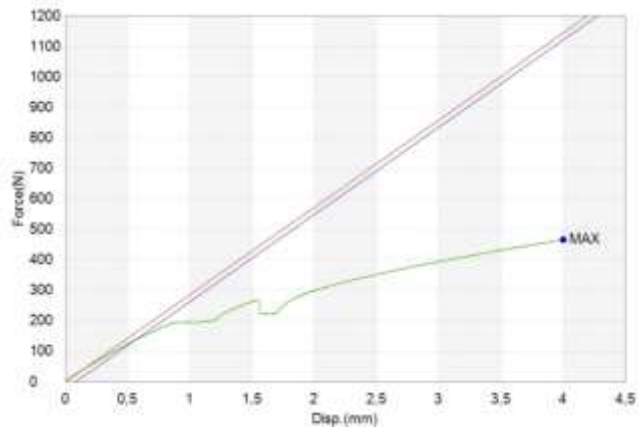
Esta diferencia de PB1 respecto a las demás puede haber sido afectada por las variaciones en la composición del material, o condiciones experimentales.

Figura 61 Fuerza-Desplazamiento Fibra 1 Probeta PB1



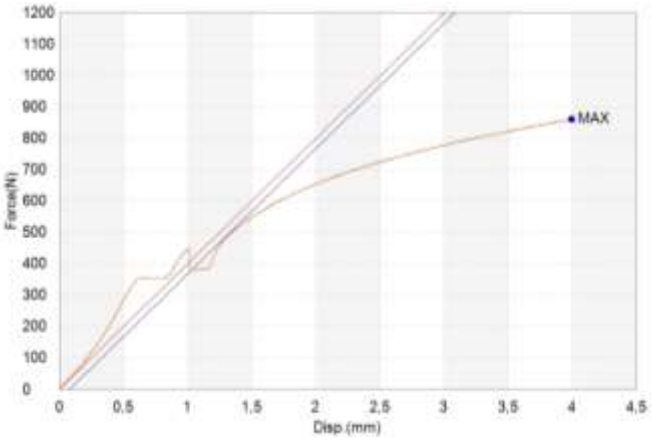
Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Figura 62 *Fuerza-Desplazamiento Fibra 1 Probeta PB2*.



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

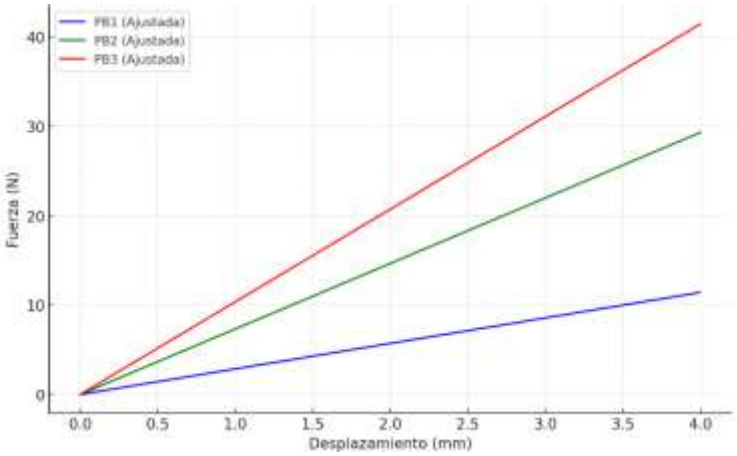
Figura 63 Fuerza-Desplazamiento Fibra 1 Probeta PB3



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Gráfica comparativa ensayos de compresión, fibra 1 (0.2 0.5 mm)

Figura 64 Fuerza-Desplazamiento Comparativa Fibra 1, PB



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

En la gráfica resumen podemos evidenciar los datos de las tablas, la prueba PB2 y PB3 tiene una mejor y considerable capacidad respecto a la fibra PB1.

4.2.2 Fibra 2 (0.5 – 1.0 mm)

Tabla 29 Detalle de los ensayos ejecutados sobre los prototipos PC1, PC2 Y PC3 de fibra tipo 1 (0.5 – 1.0 mm).

Product Name	Lechuguin-resina	**Method File Name**	Prueba de Compresión_Lechuguin.vmav
Report Date	4/12/2024	**Testing Machine**	AGX-V
Test Mode	Single	**Test Type**	Compression
Speed	0,6mm/min	**Shape**	Plate
No of Batches:	1	**Qty/Batch:**	3

Name	Elastic	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke_Strain
Parameters	Force 10 - 20 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N/mm2	N	N/mm2	%
PC1	6,20169	329,766	0,20356	9,09092
PC2	6,22556	292,701	0,18787	9,99351
PC3	4,63637	333,879	0,19389	9,51143

Name	Max_Disp.	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Stress
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	0,2 %	0,2 %
Unit	mm	%	N	N/mm2
PC1	4,00001	9,09092	98,2890	0,06067
PC2	3,99740	9,99351	57,5400	0,03693
PC3	3,99480	9,51143	84,6210	0,04914

Name	YS1_Disp.	YS1_Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %
Unit	mm	%
PC1	0,50110	1,13887
PC2	0,30660	0,76651
PC3	0,51460	1,22523

Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

En este caso el resultado más significativo fue el de la probeta PC2 (6.22556 N/mm^2), la diferencia respecto a las otras sobre todo a PC1 es poca por lo que podemos asumir que estas tienen una capacidad moderada para resistir cargas aplicadas con una menor tendencia a deformación.

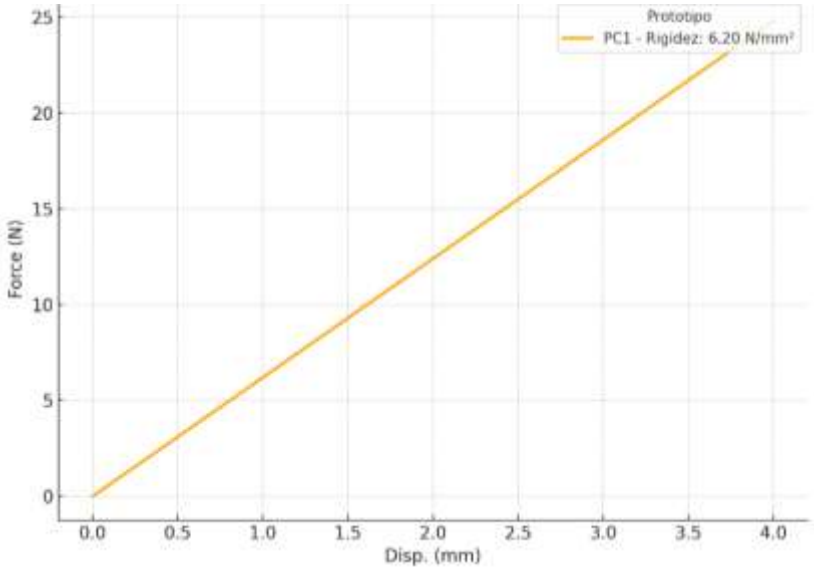
Por el lado más desfavorable PC3 (4.63637 N/mm^2), siendo la más flexible por diferencia de las otras, esto nos demuestra la susceptibilidad a deformaciones estando bajo esfuerzos considerables

Lo que podría estar influenciado por la composición del material o condiciones adversas durante el ensayo.

Sin embargo, en las pruebas de esta fibra podemos ver un comportamiento más equilibrado entre las mismas respecto a los ensayos de la fibra 1 los cuales pudimos evidenciar una reacción a la carga bastante diferente entre sí.

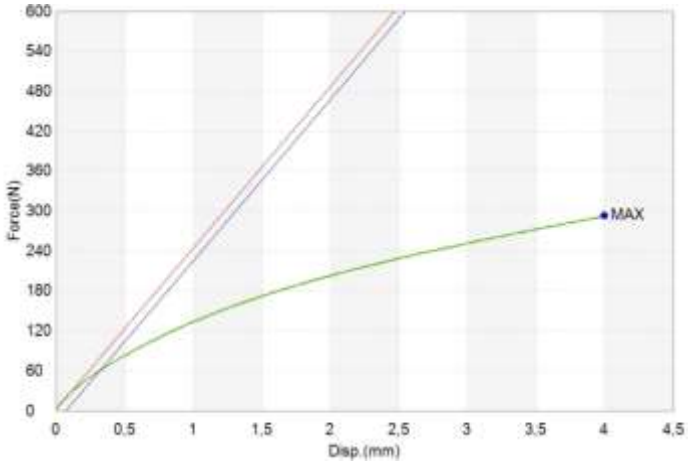
Las gráficas de los resultados de los ensayos en la fibra tipo 2 PC son los siguientes:

Figura 65 Fuerza-Desplazamiento Fibra 2 Probeta PC1



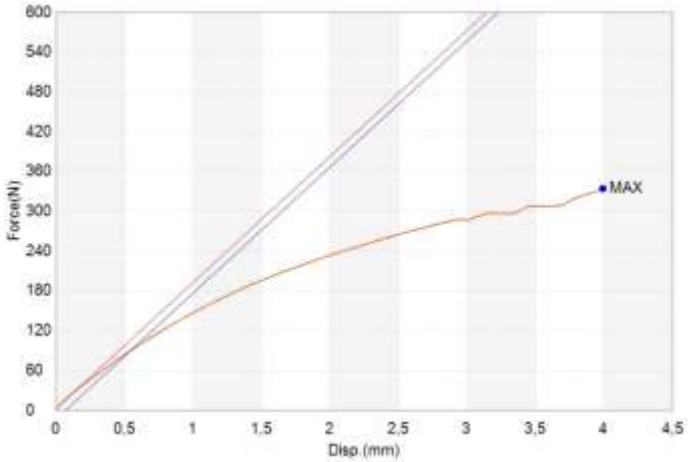
Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Figura 66 Fuerza-Desplazamiento Fibra 2 Probeta PC2



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

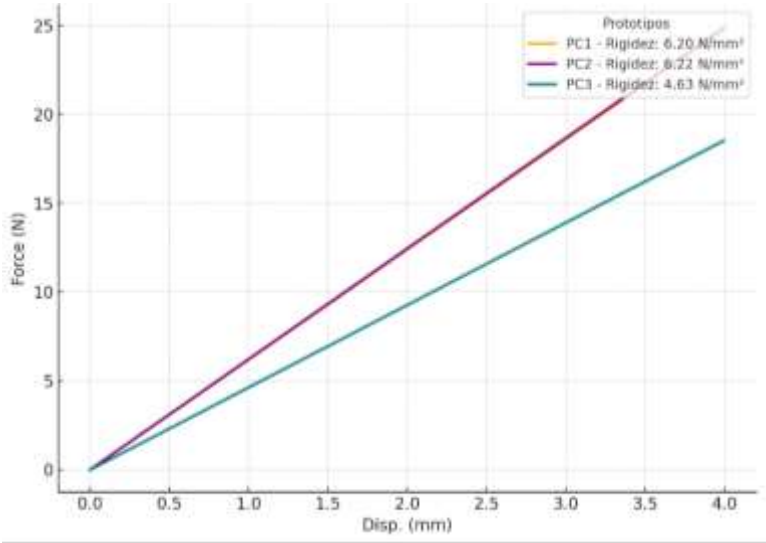
Figura 67 Fuerza-Desplazamiento Fibra 2 Probeta PC3



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Gráfica comparativa ensayos de compresión, fibra 2 (0.5 – 1.0 mm)

Figura 68 Fuerza-Desplazamiento Comparativa Fibra 2, PC



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

En la gráfica comparativa podemos ver un comportamiento muy similar entre las probetas PC1 Y PC2, sin embargo, la fibra PC3, no representa una variación significativa de su comportamiento.

En este ensayo ya el comportamiento balanceado es mucho más evidente que en el primer ensayo realizado a la fibra tipo 1, lo cual no sugiere que diferencias en el proceso de fabricación de las probetas podrían haber sido los responsables de una reacción diferente a la prueba realizada. Y posteriormente para el uso de tableros analizar y escoger el más pertinente.

4.2.3 Fibra 3 (1.0 – 5.0 mm)

Tabla 30 Detalle de los ensayos ejecutados sobre los prototipos PD1, PD2 Y PD3 de fibra tipo 1 (1.0 – 5.0 mm).

Product Name	Lechuguin-resina	**Method File Name**	Prueba de Compresión_Lechuguin.vmav
Report Date	4/12/2024	**Testing Machine**	AGX-V
Test Mode	Single	**Test Type**	Compression
Speed	0.6mm/min	**Shape**	Plate
No of Batches:	1	**Qty/Batch:**	3

Name	Elastic	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke_Strain
Parameters	Force 10 - 20 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N/mm2	N	N/mm2	%
PD1	5,14732	366,006	0,21511	9,49977
PD2	3,78292	253,986	0,14927	9,11163
PD3	2,81098	343,305	0,20681	9,10752

Name	Max_Disp.	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Stress
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	0,2 %	0,2 %
Unit	mm	%	N	N/mm2
PD1	3,98990	9,49977	148,836	0,08747
PD2	4,00000	9,11163	57,7200	0,03392
PD3	3,99820	9,10752	268,233	0,16159

Name	YS1_Disp.	YS1_Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %
Unit	mm	%
PD1	0,78380	1,86619
PD2	0,46080	1,04966
PD3	2,60590	5,93600

Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

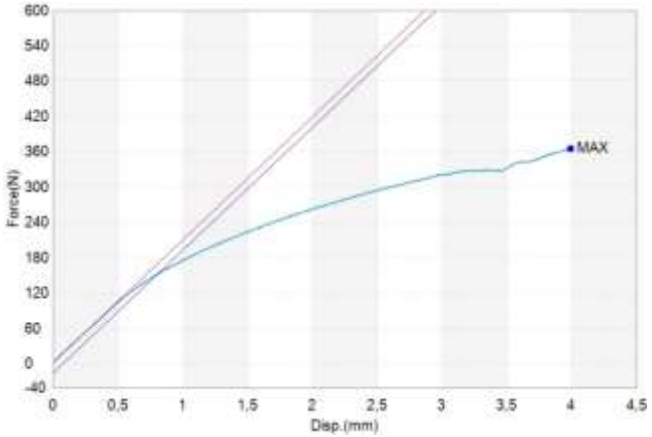
El resultado de estos ensayos el prototipo PD1 (5.14732 N/mm^2) muestra un mejor comportamiento en términos de rigidez, esto nos indica una superioridad en su capacidad para resistir cargas aplicadas, además de una baja tendencia a deformarse respecto a PD2 Y PD3.

Del otro lado, el prototipo PD3 (2.81098 N/mm^2), es el más desfavorable, por ende, es el más flexible de los 3, esto nos da una mayor susceptibilidad a deformarse bajo esfuerzos considerables.

El tener 3 resultados tan dispersos, dándonos un comportamiento que no es uniforme podría deberse a variaciones significativas en los materiales

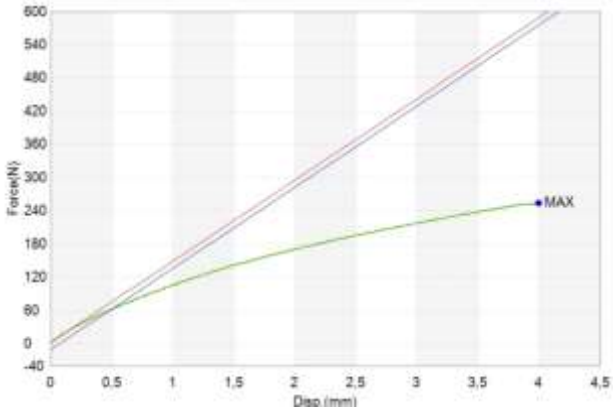
usados para la fabricación, también un factor que puede influir es el mecanizado de las probetas o las condiciones del ensayo.

Figura 69 Fuerza-Desplazamiento Fibra 3 Probeta PD1



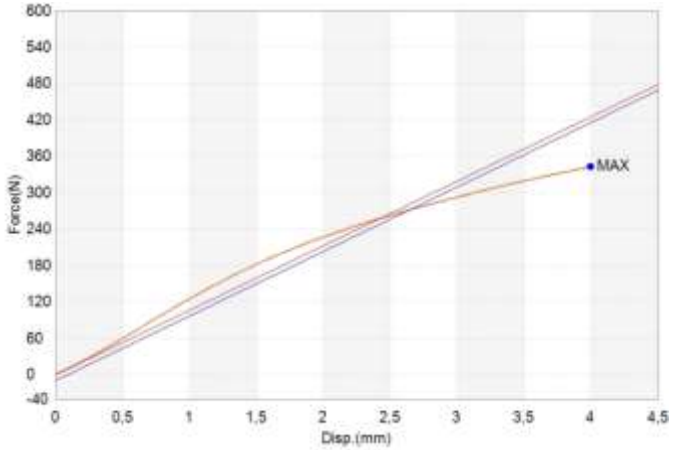
Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Figura 70 Fuerza-Desplazamiento Fibra 3 Probeta PD2



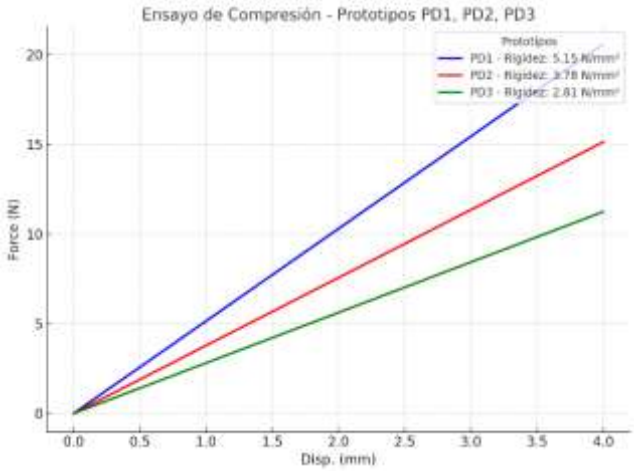
Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Figura 71 Fuerza-Desplazamiento Fibra 3 Probeta PD3



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Figura 72 Fuerza-Desplazamiento Comparativa Fibra 3, PD



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Como era de esperarse en el análisis de los datos, los comportamientos de cada fibra son considerablemente diferentes entre sí destacando el comportamiento del prototipo PD1

4.2.4 Fibra 4 (Tallo Entero)

Tabla 31 Detalle de los ensayos ejecutados sobre los prototipos PD1, PD2 Y PD3 de fibra tipo 1 (1.0 – 5.0 mm).

Product Name	Lechuguin-resina	**Method File Name**	Prueba de Compresión_Lechuguin.vmav
Report Date	4/12/2024	**Testing Machine**	AGX-V
Test Mode	Single	**Test Type**	Compression
Speed	0,6mm/min	**Shape**	Plate
No of Batches:	1	**Qty/Batch:**	3

Name	Elastic	Max_Force	Max_Stress	Max_Stroke_Strain
Parameters	Force 10 - 20 N	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unit	N/mm2	N	N/mm2	%
PE1	0,14353	26,1180	0,01674	9,78950
PE2	0,14216	21,2130	0,01377	9,72562
PE3	-.-	8,47200	0,00572	11,2514

Name	Max_Disp.	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Stress
Parameters	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	0,2 %	0,2 %
Unit	mm	%	N	N/mm2
PE1	3,91580	9,78950	18,5640	0,01190
PE2	3,98750	9,72562	18,2430	0,01185
PE3	3,93800	11,2514	-.-	-.-

Name	YS1_Disp.	YS1_Strain
Parameters	0,2 %	0,2 %
Unit	mm	%
PE1	2,87240	7,18100
PE2	3,81600	9,30733
PE3	-.-	-.-

Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

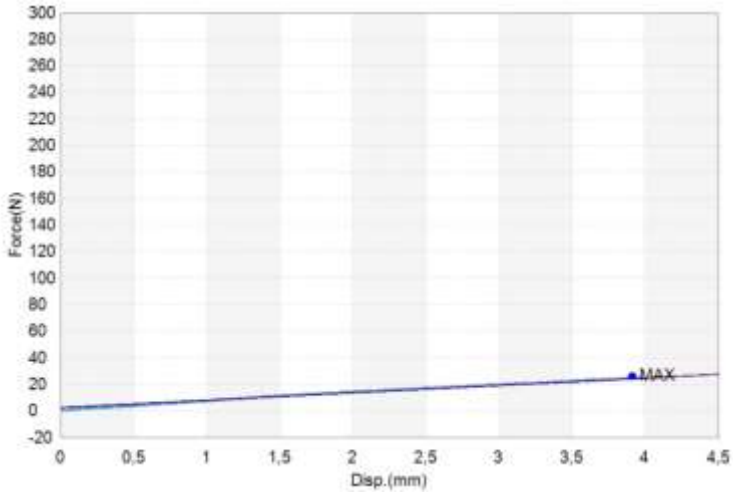
Durante los ensayos realizados a la fibra de tallo entero, hubo una particularidad respecto a las otras tres fibras, ya que las probetas de tallo entero tienen la particularidad de tener un comportamiento altamente flexible y deformable, esto creemos que se debe a la propiedad inicial del material es de tipo poroso, lo cual junto al aglomerante nos deja ese resultado.

Con esta información podemos analizar los datos de estos ensayos, el prototipo PE1 (0.14353 N/mm^2), tiene el comportamiento ligeramente superior, en términos de rigidez, a comparación de PE2 tiene similitud en resistir cargas aplicadas, con tendencia moderada a deformarse.

La probeta PE3 es evidentemente la más desfavorable en la comparativa, con una menor fuerza máxima alcanzada de (8.4720 N), y no hay un comportamiento elástico determinado, esto nos indica que PE3 es considerablemente más flexible.

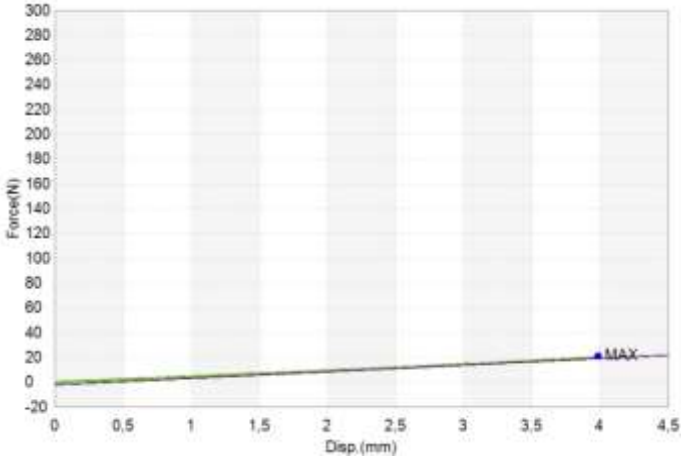
La evidente diferencia de PE3 respecto a los otros puede estar influenciado por las variaciones en la composición del material, al ser tallo entero, todas las fibras usadas poseen propiedades diferentes, dando así mismo propiedades que no son homogéneas, lo que puede limitar su desempeño en aplicaciones donde se requiera rigidez o una resistencia uniforme.

Figura 73 Fuerza-Desplazamiento Fibra 4 Probeta PE1



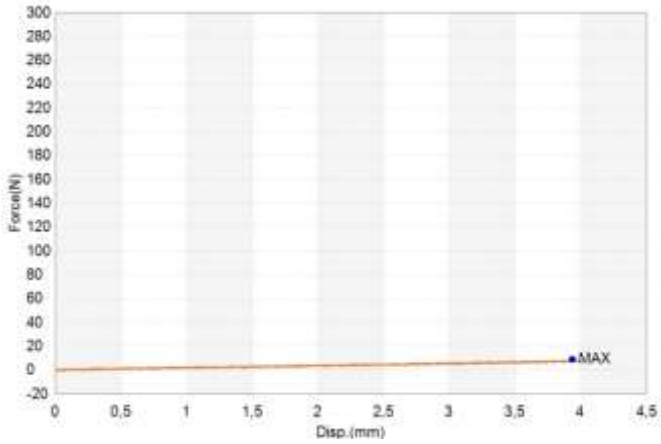
Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Figura 74 Fuerza-Desplazamiento Fibra 4 Probeta PE2



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

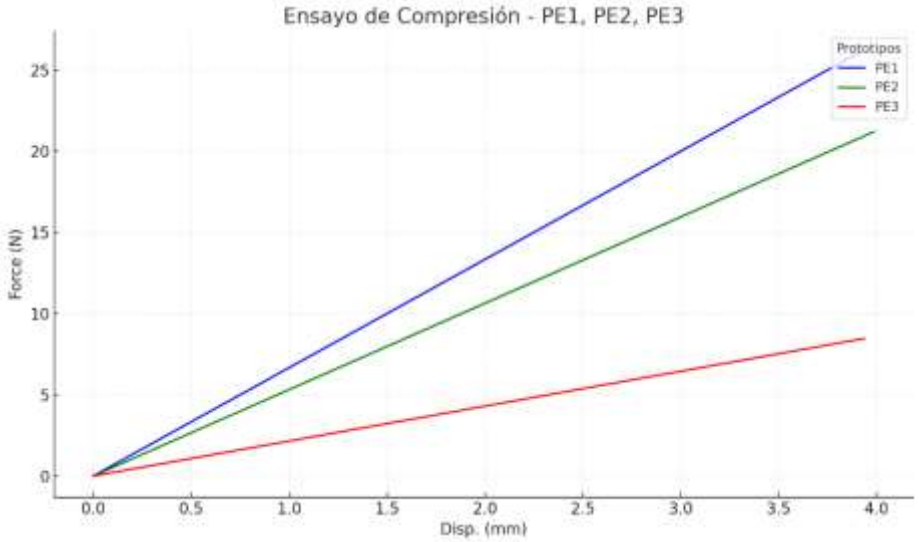
Figura 75 Fuerza-Desplazamiento Fibra 4 Probeta PE1



Fuente: Equipo SHIMADZU AGX-300KNV, 2024.

Gráfica comparativa ensayos de compresión, fibra 4 (Tallo entero)

Figura 76 Fuerza-Desplazamiento Comparativa Fibra 4, PE



Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

En la gráfica se evidencia la similitud del comportamiento de las fibras PE1 y PE2, difiriendo bastante de la fibra PE3, que es la más desfavorecida tanto en esta comparativa de las probetas de tipo tallo entero, como con las otras pruebas de otros tipos de fibra.

Es importante mencionar que, aunque la mayoría de las probetas ensayadas no alcanzaron la rotura, los valores que nos da el módulo de elasticidad proporcionaron información valiosa sobre las propiedades mecánicas de estos prototipos de tablero con fibra de lechuguín, una característica común de tableros con aislamiento térmico.

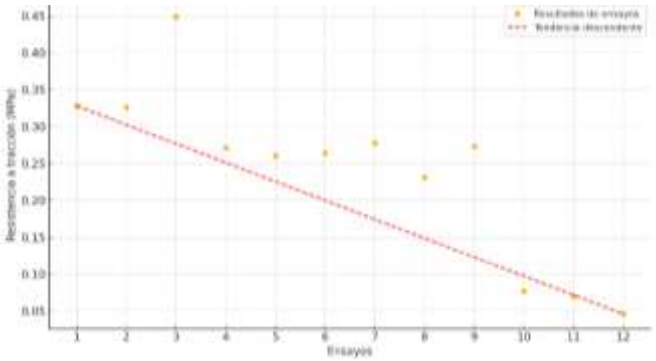
Analizamos su comportamiento frente a cargas, esto nos indica que posee una capacidad considerable a la deformación plástica sin llegar al fallo.

Tabla 32 Resistencia a tracción de resultantes de ensayo de compresión.

Probetas	Tipo de probeta (mm)	Resistencia a tracción (MPa)	Promedio tamaño (MPa)	Promedio prototipos lechuguín (MPa)
PB1	0,20 - 0,50	0.328		
PB2	0,20 - 0,50	0.326	0.368	
PB3	0,20 - 0,50	0.449		
PC1	0,50 - 1,00	0.271		
PC2	0,50 - 1,00	0.260	0.265	
PC3	0,50 - 1,00	0.264		0.239
PD1	1,00 - 5,00	0.278		
PD2	1,00 - 5,00	0.231	0.261	
PD3	1,00 - 5,00	0.273		
PE1	Tallo Entero	0.077		
PE2	Tallo Entero	0.070	0.064	
PE3	Tallo Entero	0.046		

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Figura 77 Resultados de resistencia a tracción de los prototipos de fibra de lechuguín.



Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024..

Los datos obtenidos de la resistencia a tracción del ensayo de compresión de las probetas de fibra de lechuguín, catalogadas según su tipo de fibra, son evidenciadas las diferencias, sobre todo en la fibra 1 la probeta PB3 es la que mayor resistencia presenta con 0.449 MPa, aunque la diferencia con las otras probetas es considerable, el promedio de esta fibra destaca respecto a las demás, con 0.368 MPa.

Las probetas del tipo 2 y 3 son las que evidencian una relación muy semejante entre sí, siendo así que si analizamos los promedios de cada fibra la diferencia es poco evidente, teniendo un 0.265 MPa para la fibra de tipo 2 y 0.261 para la fibra de tipo 3. Cabe recalar que la diferencia con la fibra tipo 1 es importante, sin embargo, la diferencia con la fibra tipo tallo entero es más que evidente.

La fibra del tipo tallo entero es por lejos la que menos resistencia a la tracción tiene.

La conclusión que nos deja este ensayo es que la resistencia a la tracción disminuye según el tamaño de la fibra aumenta, teniendo a la fibra de tipo 1 (0.2-0.5 mm), la que destaca por la mayor resistencia a tracción, y del lado contrario, las probetas de tallo entero. El valor promedio de todas las fibras es muy similar a las fibras de tipo 2 y 3, con un 0.239 MPa.

Información que tomar en cuenta para seleccionar el tamaño de fibra adecuado para optimizar la resistencia a la tracción de los paneles aislantes térmicos.

4.3 Ensayo de densidad

La densidad para ser analizado de manera correcta es vital que la mecanización haya sido realizada de manera correcta, esto para que el registro de medidas sea la correcta. Las medidas al tomarse de las caras necesitan ser lo más prolijas posibles.

Se tabuló los datos de medidas y peso, para con ellos calcular el volumen y así calcular el valor de la densidad por cada probeta.

Tabla 33 Datos de probetas mecanizadas y secadas.

TABLAS DATOS PROBETAS MECANIZADAS						
Código	**Tamaño fibra**	**Peso**	**Ancho (x)**	**Alto (z)**	**Profundidad (y)**	**Peso fibra seca (g)**
PB1	0.2-0.5	20,1	3,9	4	4,1	20.1
PB2	0.2-0.5	20,9	4	4,05	3,95	20.9
PB3	0.2-0.5	19,5	3,95	4	3,9	19.5
PB4	0.2-0.5	20,6	4,07	3,95	4,05	20.6
PB5	0.2-0.5	19,4	3,9	4,1	4,1	19.4
PB6	0.2-0.5	22	4,05	3,89	4	22.0
PC1	0.5-1.0	20,7	4,05	4,4	4	20.7
PC2	0.5-1.0	17,5	3,8	4	4,1	17.5
PC3	0.5-1.0	20,1	4,1	4,2	4,2	20.1
PC4	0.5-1.0	17,9	3,9	4,25	3,9	17.9
PC5	0.5-1.0	20,8	4,05	4,5	4,1	20.8
PC6	0.5-1.0	19,8	4	4,1	4	19.8
PD1	1.0-5.0	20,8	4,15	4,2	4,1	20.8
PD2	1.0-5.0	20,1	4,15	4,39	4,1	20.1
PD3	1.0-5.0	21	4	4,39	4,15	21.0
PD4	1.0-5.0	19,9	4	4,4	4,15	19.9
PD5	1.0-5.0	18	3,95	4,1	4	18.0
PD6	1.0-5.0	17,6	3,95	4,15	3,75	17.6
PE1	Tallo entero	8,3	3,9	4	4	8.3
PE2	Tallo entero	9,1	3,85	4,1	4	9.1
PE3	Tallo entero	5,7	3,9	3,5	3,8	5.7
PE4	Tallo entero	5,1	3,85	3,4	3,9	5.1
PE5	Tallo entero	5,6	3,7	3,25	3,6	5.6
PE6	Tallo entero	4,4	3,8	2,9	3,6	4.4

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024. Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 34 Datos ensayo densidad fibra tipo 1.

Código	Tamaño fibra	Peso fibra seca (g)	X (cm)	Z (cm)	Y (cm)	Volumen (mm3)	Volumen (cm3)	Densidad anhidra (g/cm3)	Densidad promedio de la fibra (g/cm3)
PB1	0.2-0.5	20,1	3,9	4	4,1	63960,0	63,960	0,3143	0,3198
PB2	0.2-0.5	20,9	4	4,05	3,95	63990,0	63,990	0,3266	
PB3	0.2-0.5	19,5	3,95	4	3,9	61620,0	61,620	0,3165	
PB4	0.2-0.5	20,6	4,07	3,95	4,05	65109,8	65,110	0,3164	
PB5	0.2-0.5	19,4	3,9	4,1	4,1	65559,0	65,559	0,2959	
PB6	0.2-0.5	22	4,05	3,89	4	63018,0	63,018	0,3491	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 35 Datos ensayo densidad fibra tipo 2

Código	Tamaño fibra	Peso fibra seca (g)	X (cm)	Z (cm)	Y (cm)	Volumen (mm3)	Volumen (cm3)	Densidad anhidra (g/cm3)	Densidad promedio de la fibra (g/cm3)
PC1	0.5-1.0	20,7	4,05	4,4	4	71280,0	71,280	0,2904	0,2844
PC2	0.5-1.0	17,5	3,8	4	4,1	62320,0	62,320	0,2808	
PC3	0.5-1.0	20,1	4,1	4,2	4,2	72324,0	72,324	0,2779	
PC4	0.5-1.0	17,9	3,9	4,25	3,9	64642,5	64,643	0,2769	
PC5	0.5-1.0	20,8	4,05	4,5	4,1	74722,5	74,723	0,2784	
PC6	0.5-1.0	19,8	4	4,1	4	65600,0	65,600	0,3018	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 36 Datos ensayo densidad fibra tipo 3.

Código	Tamaño fibra	Peso fibra seca (g)	X (cm)	Z (cm)	Y (cm)	Volumen (mm3)	Volumen (cm3)	Densidad anhidra (g/cm3)	Densidad promedio de la fibra (g/cm3)
PD1	1.0-5.0	20,8	4,15	4,2	4,1	71463,0	71,463	0,2911	
PD2	1.0-5.0	20,1	4,15	4,39	4,1	74695,9	74,696	0,2691	
PD3	1.0-5.0	21	4	4,39	4,15	72874,0	72,874	0,2882	0,2808
PD4	1.0-5.0	19,9	4	4,4	4,15	73040,0	73,040	0,2725	
PD5	1.0-5.0	18	3,95	4,1	4	64780,0	64,780	0,2779	
PD6	1.0-5.0	17,6	3,95	4,15	3,75	61471,9	61,472	0,2863	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Tabla 37 Datos ensayo densidad fibra tipo 4

Código	Tamaño fibra	Peso fibra seca (g)	X (cm)	Z (cm)	Y (cm)	Volumen (mm3)	Volumen (cm3)	Densidad anhidra (g/cm3)	Densidad promedio de la fibra (g/cm3)
PE1	Tallo entero	8,3	3,9	4	4	62.400,0	62,400	0,1330	
PE2	Tallo entero	9,1	3,85	4,1	4	63.140,0	63,140	0,1441	
PE3	Tallo entero	5,7	3,9	3,5	3,8	51.870,0	51,870	0,1099	0,1212
PE4	Tallo entero	5,1	3,85	3,4	3,9	51.051,0	51,051	0,0999	
PE5	Tallo entero	5,6	3,7	3,25	3,6	43.290,0	43,290	0,1294	
PE6	Tallo entero	4,4	3,8	2,9	3,6	39.672,0	39,672	0,1109	

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024. Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Analizando los resultados de los cálculos de densidad de todas las probetas se ve claramente la relación con tamaño de partícula, si vemos las densidades promedio de cada tipo de fibra va disminuyendo a medida que el tamaño de la fibra va aumentando.

En el caso de la fibra más pequeña el tipo 1, posee una densidad de 0.3198 g/cm3. Y la más grande, en este caso la de tallo entero contrata con una densidad de 0.1212 g/cm3.

La densidad es en base a las medidas y el peso, en esta relación la fibra con menor tamaño es más compacta, y esto a su vez aumente su relación respecto al peso.

Por otro lado, la fibra de mayor tamaño tiene mayor porosidad y por ende pesa menos, esto se ve reflejado en la densidad final.

En un material tener una densidad óptima influye en las capacidades térmicas, tener valores correctos ayuda a que la estructura del tablero retenga aire, y mejora el aislamiento térmico, reduciendo la conducción de calor.

Tener valores muy elevados por otro lado, afectaría la manipulación del material, y tener valores muy bajos, reflejaría una pobre capacidad aislante y débil resistencia mecánica.

En base a este análisis las probetas de fibras trituradas reflejan una densidad válida para un correcto funcionamiento en la aplicación como material de construcción.

Las probetas de tallo entero por otro lado distan bastante de una densidad aceptable para lo requerido en esta investigación.

4.4 Ensayo de conductividad térmica

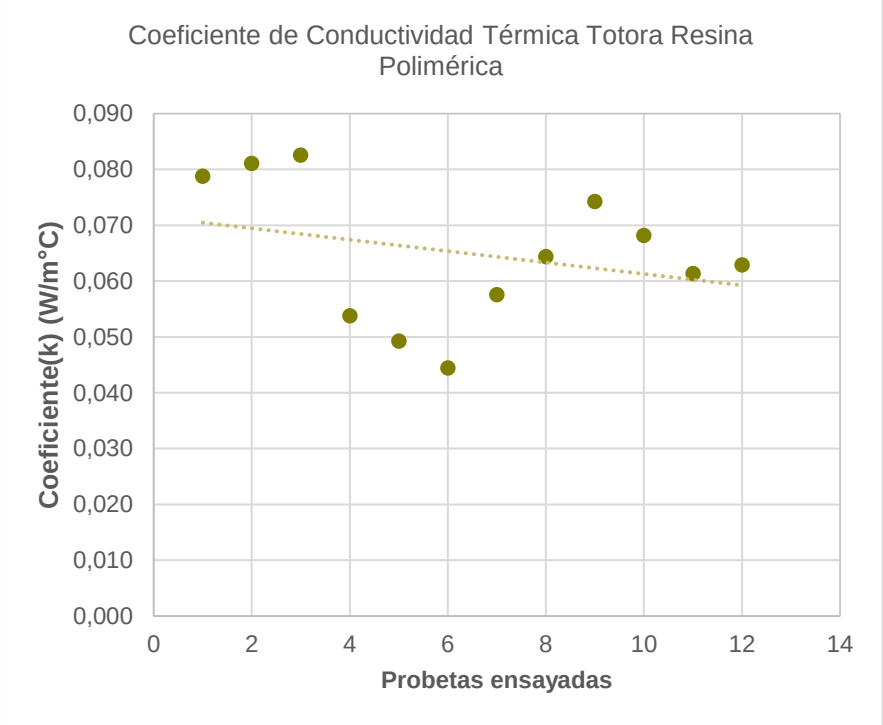
En este apartado se detallan los resultados del ensayo de conductividad térmica.

Tabla 38 Resumen de coeficiente de conductividad térmica de prototipos de fibra de lechuguín con resina polimérica.

Tamaño de fibra	Código	Desviación estándar	ΔT	Coeficiente(k) (W/m°C)	Promedio (W/m°C)
0,2 - 0,5	PB1	0,0019	90,1	0,079	0,081
	PB2		90,1	0,081	
	PB3		90,1	0,083	
0,5 - 1,00	PC1	0,0047	90,1	0,054	0,049
	PC2		90,1	0,049	
	PC3		90,1	0,044	
1,00 - 5.00	PD1	0,0084	90,1	0,058	0,0654
	PD2		90,1	0,064	
	PD3		90,1	0,074	
Tallo entero	PE1	0,0036	90,1	0,068	0,064
	PE2		90,1	0,061	
	PE3		90,1	0,063	
				Promedio Lechuguín	0,065

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Figura 78 Gráfico de dispersión de coeficiente de conductividad térmica de prototipos



Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Fibra 1 (0.2 - 0.5 mm)
Para los prototipos de la fibra mencionada se puede observar que los valores varían de 0,079 a 0,083 W/m°C, con una desviación estándar de 0,0019, este valor es bajo, lo que hace notar que los prototipos ensayados presentan una consistencia y el material en uniforme térmicamente.

Fibra 2 (0.5 - 1.00 mm)
Los valores presentados para los prototipos con este tamaño de fibra presentan una variación en cuanto a **k** de 0,044 a 0,054 W/m°C, con una desviación estándar de 0,0047, en comparación con el prototipo anterior se tiene un ligero aumento, pero se puede decir que es aceptable, sugiriendo que mantiene una buena consistencia.

Fibra 3 (1.00 - 1.5 mm)
Para los presentes prototipos los valores de **k** presentan una variación de 0,058 a 0,074, con una variación estándar de 0,0084, siendo este el valor más alto en comparación a las demás, este resultado no es alarmante pues en términos generales en un valor aceptable. La causa de este incremento puede deberse a una variabilidad en su composición y uniformidad del mismo.

Fibra 4 (Tallo entero)
Finalmente se tienen los prototipos de tallo entero, el mismo presenta una variación de k de 0,061 a 0,068 con una desviación estándar de 0,036, un valor bajo que presenta una media con respecto a las dos primeras fibras.

De manera general los prototipos presentan resultados prometedores en cuanto a conductividad térmica presentando valores de desviación estándar no muy dispersos y valores de **k** que comparados con otros materiales del mercado usados como aislantes térmicos en la construcción no muy altos.

Con la finalidad de tener una comparativa más detalla entre la fibra estudiada y los materiales actualmente usados en la construcción como aislantes térmicos, se creó una tabla en donde se describe las características de los mismos. Vale la pena recalcar que existen tres clasificaciones de estos elementos los cuales son

- Material de origen sintético orgánico
- Material de origen inorgánico
- Material de origen natural orgánico.

Tabla 39 Coeficiente de conductividad térmica de otros aislantes

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD W/mK
ORIGEN SINTETICO ORGÁNICO	
Poliestireno expandido	0,039 – 0,029
Poliestireno extruido con $C0_2$	0,039 - 0,033
Poliestireno extruido con HFC	0,039 - 0,029
Poliuretano	0,028
Espuma de Polietileno reticular	0,072 – 0.038
Espuma de Polietileno no reticular	0,042 – 0,035
ORIGEN INORGÁNICO	
Lana de vidrio	0,034
Lana de Roca	0,036
Vidrio celular	0,050
Hormigón celular	0,090
ORIGEN NATURAL ORGÁNICO	
Corcho negro	0,040
Corcho natural	0,045
Fibra de madera	0,036
Fibra de cáñamo	0,039
Fibra de lino	0,039
Pasta de celulosa	0,038

Fuente: CATÁLOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE; Martha Palomo,2017.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

Como podemos apreciar los resultados obtenidos del ensayo de conductividad térmica del lechuguín los valores obtenidos se encuentran cerca de los valores de otros materiales usados para el mismo fin, lo que es favorable para nuestro estudio.
A continuación, se resumen los resultados de los ensayos con la finalidad de tener una visión general de las propiedades de los prototipos, estos valores son los promedios de las probetas ensayadas.

Tabla 40 Promedio de resultados obtenidos de los diferentes ensayos.

ENSAYO	PB (0,2-0,5) mm	PC (0,5-1.00)mm	PD (1,00-5,00)mm	PE Tallo entero
Absorción de humedad (%)	7,65	8,118	8,466	7,018
Densidad (g/cm3)	0,319	0,284	0,28	0,121
Módulo de elasticidad (N/mm2)	6,845	5,687	3,913	0,14
Conductividad (W/mK)	0,081	0,049	0,0654	0,064

Fuente: Quizhpi, Vásquez, 2024.
Elaboración: Quizhpi, Vásquez, 2024.

De acuerdo a la tabla 40 se puede apreciar a rasgos generales que los prototipos PC obtuvieron una mejor puntuación en cuanto a conductividad térmica (valor bajo), pero presentan el segundo valor más alto de absorción de humedad, es decir, que los prototipos con este tamaño de fibra son susceptibles a la humedad y son buenos aislantes en condiciones ambientales secas.

En cuanto a los prototipos de tallo entero, se puede decir que presenta menor densidad que las demás, al igual, denota que es un material altamente flexible o deformable y en cuanto a la absorción de humedad presenta el segundo valor mas bajo entre las demás, pero un ligero aumento en cuanto a conductividad térmica, lo que implica que, en su estructura al ser un material fibroso, ciertas cámaras de aire fueron reemplazadas por humedad, lo que causo este incremento en cuanto a la conductividad.

CAP 5_Conclusiones y recomendaciones.

5. Conclusiones y recomendaciones

En la presente investigación se ha buscado responder a la pregunta ¿Cuáles son las características que tiene la fibra de lechuguín para ser usada como material aislante térmico en la construcción?, pues bien, en este estudio se a logrado evidenciar importantes hallazgos, para ellos se ha dividido las conclusiones en dos aspectos importantes los cuales son:

5.1 Características

Mediante la creación de los prototipos de con diferentes partículas de esta especie se a podido evidenciar que esta fibra presenta buenas características para ser aislante térmico, ya que, presenta un valor general bajo de conductividad térmica 0,065 W/m°C**,** siendo los prototipos construidos con el tamaño de fibra de 0,5-1,00 mm, los que obtuvieron mejor comportamiento. De acuerdo a otras investigaciones con fibras naturales con el mismo fin, como son la Totora y cabuya que presentan unos valores de conductividad térmica de 0,037 y 0,073 W/m°K respectivamente, se puede notar que el lechuguín se encuentra dentro del rango de estos.

En cuanto a la absorción de humedad, la fibra al provenir de una especie acuática presenta una propiedad higroscópica, lo que hace que sea susceptible a la absorción de humedad presentando un porcentaje de absorción de humedad por hora del 0,65% de acorde al estudio, y esto se debe al contenido de celulosa y hemicelulosa en su interior. Este valor puede llegar a ser alto, pero mucho dependerá de las condiciones ambientales. En este estudio la variación en la humedad relativa del entorno pudo haber sido un factor importante en la variación de estos datos. Pero a grandes rasgos esto puede ser controlado con algún tipo de impermeabilizante.

Finalmente, en cuanto a la densidad estas presentan valores bajos, los cuales influye de manera positiva cuando se requiera construir paneles, ya que el peso de estos no será mucho, y en cuanto a la compresión según se observó las que presentar resistencia a la deformación fueron las probetas construidas con la fibra triturada, esto se debe a que son más compactas, mientras que las probetas de tallo entero presentan mayor flexibilidad por lo que su valor de resistencia a la compresión es bajo.

5.2 Potencialidades

Como parte del objetivo principal es determinar las potencialidades de esta especie se ha podido determinar lo siguiente:

- Es un material ligero ya sea en un estado seco o con humedad absorbida por lo que es viable si se requiere construir paneles, ya que los mismos no serán pesados, y tendrán una fácil manipulación.
- De acorde al estudio presentan buenas características para ser un material de aislación térmica, el que se quiera construir con la fibra triturada o en tallos enteros dependerá en cómo será su aplicación en la construcción, ya que los unos serán más resistentes a cierta carga mientras que otros serán más flexibles.
- El ensayo de tallos enteros abre la posibilidad a que se puedan construir paneles que, si bien no son para aislación térmica, pueden ser usados en entornos en donde se requiera controlar la humedad, ya que sus características físicas como químicas permiten ello, o tambien si se requieren como paneles decorativos.
- Dado que es una planta acuática invasora, puede ser una opción sostenible para su aplicación en el ámbito de la construcción, como tambien, esto permite su control en el medio ambiente, y a la mejora de los cuerpos de agua y biodiversidad de los ecosistemas afectados.
- La extracción de esta planta a grandes escalas puede significar la generación de empleo, para los habitantes cercanos a los cuerpos de agua en donde se encuentra esta planta.
- Los resultados obtenidos y la metodología usada para la experimentación de esta planta, pueden servir de guía para futuras investigaciones, y asi obtener alternativas sostenibles en el campo de la construcción.

En cuanto a las recomendaciones se incentiva a realizar más experimentaciones con esta fibra que como se pudo apreciar, presenta buenas características para su aplicación en la construcción, pero estas pueden potenciarse con el uso de diferentes aglutinantes, resinas naturales, variaciones en la dosificación, o procesos de fabricación, etc. Todo ello conlleva a que se pueda generar una base de estandarización de esta fibra y asi tener datos que permitan optimizar el uso de la misma.

En cuanto a los ensayos es preferible poder realizarlos en un mismo ambiente en donde las condiciones ambientales sean las mismas, para evitar la dispersión de datos, específicamente para ensayos de absorción de humedad, como de conductividad térmica.

Para la elaboración de los prototipos, en especial los de tallo entero se recomienda sumergirlos en el aglutinante, ya que esto hará que se compacten de mejor manera. Tambien al momento de mecanizar las probetas es preferible usar una lijadora de mesa como la usada en el apartado 2.1.1, ya que esta permite pulir las caras de las probetas de manera más uniforme y rápido en comparación a la lijadora manual, la cual es un poco mas tardado y es ligeramente difícil poder manipular la probeta en especial las de tallo entero.

Finalmente, para el control de la especie en cuanto a su forma de secado al aire libre, es conveniente colocarlo sobre una lata o sobre una toalla o tela, ya que, cuando la planta cosechada está expuesta al sol, esta transpira y este es absorbido por la toalla o evaporado por la lata.

Referencias

Anudechakul, C., Vangnai, A. S., & Ariyakanon, N. (2015). Removal of Chlorpyrifos by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and the Role of a Plant-Associated Bacterium. *International Journal of Phytoremediation*, *17*(7), 678–685. https://doi.org/10.1080/15226514.2014.964838

B. Anabel Rial. (2013). Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos Resumen. In *Biota ColomBiana* (Vol. 14, Issue 2).

Barrena Raquel. (2006). *Fundació Privada Estudis del Medi Ambient de Mollet del Vallès DEPARTAMENT D'ENGINYERIA QUÍMICA*.

Bhattacharya, A., Haldar, S., & Chatterjee, P. K. (2014). Geographical distribution and physiology of water hyacinth (Eichhornia crassipses)-the invasive hydrophyte and a biomass for producing xylitol. In *International Journal of ChemTech Research CODEN* (Vol. 7, Issue 4).

Charudattan, R. (n.d.). *Biological Control of Water Hyacinth by Using Pathogens: Opportunities, Challenges, and Recent Developments*. https://www.researchgate.net/publication/237443557

Ciencias De La Vida, R. DE, Fernanda Guevara Granja, M., & Javier Ramírez Cando, L. (2015). *Reseña bibliográfica / Review FITORREMEDIACIÓN LA GRANJA*. *22*(2), 5–11. https://doi.org/10.17163/lgr.n22.2015.01

Coetzee, B. W. T., Gaston, K. J., & Chown, S. L. (2014). Local scale comparisons of biodiversity as a test for global protected area ecological performance: A meta-analysis. *PLoS ONE*, *9*(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105824

Curt Fernández de la Mora. (2001). *Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*.

Eid, E. M. (2018). Determination of carbohydrate allocation patterns in water hyacinth to discover the potential physiological weak points in its life cycle. *Journal of Freshwater Ecology*, *33*(1), 381–394. https://doi.org/10.1080/02705060.2018.1478328

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2014). Progress report on natural fiber reinforced composites. In *Macromolecular Materials and Engineering* (Vol. 299, Issue 1, pp. 9–26). Wiley-VCH Verlag. https://doi.org/10.1002/mame.201300008

Fleming, J. P., & Dibble, E. D. (2015). Ecological mechanisms of invasion success in aquatic macrophytes. In *Hydrobiologia* (Vol. 746, Issue 1, pp. 23–37). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/s10750-014-2026-y

Freire, S. E., & Urtubey, E. (2019). *Sistemática de Embryophyta*.

Gaertner, M., Larson, B. M. H., Irlich, U. M., Holmes, P. M., Stafford, L., van Wilgen, B. W., & Richardson, D. M. (2016). Managing invasive species in cities: A framework from Cape Town, South Africa? *Landscape and Urban Planning*, *151*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.010

Ganguly, A., Chatterjee, P. K., & Dey, A. (2012). Studies on ethanol production from water hyacinth - A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 1, pp. 966–972). https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.018

Gopalakrishnan, R., Jayaraman, M., Bala, G., & Ravindranath, N. H. (2011). Climate change and Indian forests.

Gowthaman, S., Nakashima, K., & Kawasaki, S. (2018). A state-of-the-art review on soil reinforcement technology using natural plant fiber materials: Past findings, present trends and future directions. In *Materials* (Vol. 11, Issue 4). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/ma11040553

Greenfield, B. K., Siemering, G. S., Andrews, J. C., Rajan, M., Andrews, S. P., & Spencer, D. F. (2007). *Mechanical Shredding of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes): Effects on Water Quality in the Sacramento-San Joaquin River Delta, California*.

Haller, W. T., Sutton, ; D L, & Barlowe, ; W C. (1974). Effects of Salinity on Growth of Several Aquatic Macrophytes. In *Ecology* (Vol. 55, Issue 4, pp. 891–894).

Ilo, O. P., Simatele, M. D., Nkomo, S. L., Mkhize, N. M., & Prabhu, N. G. (2020). The benefits of water hyacinth (Eichhornia crassipes) for Southern Africa: A review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 21, pp. 1–20). MDPI. https://doi.org/10.3390/su12219222

Joaquin Azcon Bieto, & Manuel Talon. (2013). *Fundamentos_de_Fisiologia_Vegetal_Azcon*.

Labrada. (n.d.). *Manejo de malezas para países en desarrollo*.

Lung'Ayia, H. B., Tackx, M., & Gichuki, J. (2000). Phytoplankton community structure and environment in the Kenyan waters of Lake Victoria. *Freshwater Biology*, *43*(4), 529–543. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.t01-1-00525.x

Machuca Tania, R. C. (2022). *Uso de Bacterias para la Remoción de Metales Pesados en Aguas Ácidas Mineras. Revisión Sistemática 2022*.

Mahmood Qaisar, Zheng Ping, Yousaf Hayat, & Islam Ejazul. (2005). Anatomical studies on water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) under the influence of textile wastewater. *Journal of Zhejiang University: Science*. https://doi.org/10.1631/jzus.2005.B0991

Malik Anushree. (2007). *Malik Anushree_Environmental challenge vis a vis opportunity The case of water hyacinth*.

March Mifsut, I. J., Martínez Jiménez, M., & Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Morelos). (2008). *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad : prioridades en México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Maribeth V. Gibbons, Harry L. Gibbons, Jr., & Mark D. Sytsma. (1994). *A Citizen's Manual for Developing Integrated Aquatic Vegetation Management Plans First Edition*.

Mayo, A. W., & Hanai, E. E. (2017). *Modeling phytoremediation of nitrogen-polluted water using water hyacinth (Eichhornia crassipes)*. https://doi.org/./j.pce...

Methacanon, P., Weerawatsophon, U., Sumransin, N., Prahsarn, C., & Bergado, D. T. (2010). Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. *Carbohydrate Polymers*, *82*(4), 1090–1096. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.036

Obando J. (2006). *Aspectos teóricos de Eichhornia crassipes.* .

Perez Andrea, Melara Andrea, & Perez Mayra. (2021). *Propuesta para el control y manejo del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en el lago Suchitlan, El Salvador*.

Pintor-Ibarra, L. F., Jesús Rivera-Prado, J., Ngangyo-Heya, M., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2018). Evaluation of the chemical components of Eichhornia crassipes as an alternative raw material for pulp and paper. *BioResources*, *13*(2), 2800–2813. https://doi.org/10.15376/biores.13.2.2800-2813

Ramesh, M., Palanikumar, K., & Reddy, K. H. (2017). *Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.094

R.J Sekomo, B. C. N. I. G. (2012). *ZINC AND CHROMIUM REMOVAL MECHANISMS FROM*.

Saha, M. (2011). *MECHANICAL CHARACTERIZATION OF WATER HYACINTH REINFORCED POLYPROPYLENE COMPOSITES*.

Salamanca, E. , R.-G. A. , M.-P. C. , R. D. , & A.-W. C. (2015). Lichens as an alternative biosorbent: A review. In *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 2* (pp. 233–241). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10969-5_20

Salas, A. (2019). *El Jacinto de agua como material de construcción en África Subsahariana*.

Singh, S. P., & Kumari, B. (2017). Impact Factor: RJIF 5.12 www.botanyjournals.com Volume 2; Issue 6. In *International Journal of Botany Studies*. www.botanyjournals.com

Sooknah Reeta D, & Wilkie Ann C. (2004). *Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater*. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.01.004

Téllez R, López E, Granado G, Pérez E, López R, & Guzmán J. (2008). *The water hyacinth, Eichhornia crassipes: An invasive plant in the Guadiana River Basin (Spain)*. *3*. https://doi.org/10.3391/ai.2008.3.1.8

Thiripura Sundari, M., & Ramesh, A. (2012). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from the aquatic weed water hyacinth (Eichhornia crassipes). *Carbohydrate Polymers*, *2*. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.076

Trujillo Zarela. (2012). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA INGENIERO SANITARIO PRESENTADO POR*.

Uday, U. S. P., Choudhury, P., Bandyopadhyay, T. K., & Bhunia, B. (2016). *Classification, mode of action and production strategy of xylanase and its application for biofuel production from water hyacinth*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.086

Villamagna, A. M., & Murphy, B. R. (2010). *Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (Eichhornia crassipes): A review*. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x

Yan L, Kasal B, & Huang L. (2016). *A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering*. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.02.002