

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. TIPO DE ENFOQUE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

#### **Enfoque Mixto**

El enfoque mixto se refiere a que en la investigación se utilizan los enfoques cualitativo y cuantitativo.

El método de este enfoque mixto busca responder a un problema de investigación desde un diseño concurrente, secuencial, de conversión o de integración según sea los logros planteados. (T., 1979)

#### **Enfoque Cualitativo**

El enfoque cualitativo estudia la realidad en su contexto natural y tal como sucede, sacando e interpretando fenómenos de acuerdo con los objetos implicados. (Blasco y Pérez, 2007)

También es un proceso que requiere de la recolección de datos sin medición numérica. (Hernández, 2010)

La investigación cualitativa permite desarrollar encuestas, entrevistas, descripciones, características, análisis y puntos de vista de los investigadores. El enfoque cualitativo, por lo común, se utiliza primero para descubrir y refinar preguntas de investigación. A veces, pero no necesariamente, se prueban hipótesis. (Grinnell, 1997)

#### **Enfoque Cuantitativo**

Su proceso de investigación se concentra en las mediciones numéricas. Utiliza la observación del proceso en forma de recolección de datos y los analiza para llegar a responder sus preguntas de investigación. Este enfoque utiliza los análisis estadísticos. Se da a partir de la recolección, la medición de parámetros, la obtención de frecuencias, estadígrafos de población, cuadros estadísticos y manipulación de variables. Plantea un problema de estudio delimitado y concreto. Sus preguntas de investigación versan sobre cuestiones específicas. (Hernández, 2010)

En este proyecto de investigación se utilizará una combinación de enfoques para obtener, dar sentido y explicar los datos necesarios para su estudio. Este enfoque se basa en hechos, evidencia y análisis, pero también tiene en cuenta opiniones y experiencias de manera crítica. Con el enfoque cualitativo se investigará y recolectará datos del contexto real sobre la problemática, realizando encuestas, entrevistas, describiendo características y desarrollando análisis. Con el enfoque cuantitativo se analizará los datos de manera numérica, como es el caso de las pruebas de laboratorio y desarrollando cuadros de comparación.

## **1.2. INTRODUCCIÓN**

La ciudad de Tarija, conocida por su clima templado y su biodiversidad, no es ajena a las repercusiones del cambio climático. La ciudad ha experimentado variaciones significativas en sus patrones climáticos habituales, enfrentando olas de calor más intensas y periodos de frío extremo, (*Anexo Datos Clima*) fenómenos que ponen a prueba la resiliencia de su infraestructura y la salud de su población. Estos cambios han revelado la vulnerabilidad de los materiales de construcción convencionales utilizados en la región, tales como el ladrillo, la calamina y las tejas, que ofrecen una eficiencia energética limitada y un bajo rendimiento en términos de aislamiento térmico y acústico. Además, la producción y manejo de estos materiales contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero, exacerbando el problema que se busca mitigar.

Ante esta situación, surge la imperiosa necesidad de reevaluar las técnicas de construcción en Tarija, buscando alternativas que no solo se adapten mejor a las condiciones climáticas cambiantes, sino que también contribuyan a la reducción de la huella de carbono. La implementación de biomateriales aislantes, derivados de recursos naturales y sostenibles, se perfila como una solución prometedora. Estos materiales, por sus características intrínsecas, ofrecen una mayor eficiencia energética y un mejor desempeño en cuanto a aislamiento térmico y

acústico, lo que puede significar una mejora considerable en la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Tarija.

Además de evaluar el rendimiento técnico de estos materiales, se investigará su disponibilidad en la región y su viabilidad económica en comparación con las opciones convencionales. Se considerarán también aspectos relacionados con la sostenibilidad y el impacto ambiental, destacando el potencial del zuro para reducir la huella de carbono de las construcciones y promover prácticas más respetuosas con el medio ambiente. Se logrará mediante este proyecto de investigación la Elaboración de un Biomaterial Aislante en base de Zuro para la Aplicación en Revestimiento de Muros en Viviendas Unifamiliares para la Ciudad de Tarija.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la ciudad de Tarija en la última década y en la actualidad se ha evidenciado los efectos por el cambio climático, ha puesto de manifiesto la necesidad de reevaluar las prácticas constructivas o implementar electrodomésticos que regulen las temperaturas.

Los materiales convencionales utilizados para aislantes térmicos y acústicos, como el poliestireno expandido (EPS) o la lana de vidrio, presentan problemas ambientales significativos. Su composición incluye sustancias nocivas y contaminantes que elevan la huella de carbono, siendo difíciles de reciclar o reutilizar. Además, su producción y manipulación impactan negativamente en el ambiente, en la salud y seguridad de los trabajadores, mediante la manipulación de los materiales y la generación de residuos peligrosos.

La población de la ciudad de Tarija, también han estado utilizando electrodomésticos como el aire acondicionado y estufa para mitigar las altas y bajas temperaturas en los hogares. Estos materiales y electrodomésticos afectan en el gasto de energía eléctrica lo cual también produce contaminación y resultan costosos de adquirir y mantener, lo que limita su accesibilidad para

ciertos segmentos de la población y aumenta la desigualdad en el acceso a viviendas confortables y seguras. (*Anexo Encuesta Pregunta 2*)(*Anexo Encuesta Pregunta 3*).

En el contexto específico de la ciudad de Tarija, se ha observado un aumento en la frecuencia de fenómenos climáticos, como olas de calor dentro y fuera de las viviendas y temperaturas bajas con sensación térmica bajo cero a lo largo del año, dejando solo en un recuerdo el característico clima templado que ofrecía la ciudad de Tarija; fenómenos que pueden tener consecuencias devastadoras para la salud de la población y la infraestructura arquitectónica. (*Anexo Encuesta Pregunta 1*).

Además, el crecimiento urbano y la expansión de la infraestructura vial dejó como resultado un mayor flujo de vehículos motorizados e incluyendo la ubicación del aeropuerto dentro de la ciudad, han generado un aumento en la contaminación auditiva y del aire, afectando la calidad de vida de los residentes y contribuyendo a problemas de salud pública principalmente a los que residen en viviendas precarias. (*Anexo Contaminación Auditiva*)

En cuanto a los materiales de construcción convencionales en Tarija, como el ladrillo de seis huecos, no ofrecen aislamiento térmico o acústico por si solos, lo que resulta en un mayor consumo de energía para calefacción y refrigeración de las viviendas o requerimiento de materiales para revestimiento complicados de conseguir o costosos.

En el mercado de materiales aislantes y electrodomésticos que regulan la temperatura en Tarija, estos se caracterizan por costos elevados y baja disponibilidad, y recurrir a materiales de otras zonas, aumenta el costo y afecta al medio ambiente por el transporte. (*Anexo Encuesta Pregunta 4*)

Ante estas complicaciones, surge la necesidad de buscar alternativas más sostenibles y eficientes en términos energéticos para los materiales de aislamiento utilizados en la construcción de viviendas en Tarija.

En este contexto, las fibras naturales como el zuro que es un material que se desecha sin darle un uso, lo cual es un desperdicio y aumenta la contaminación injustificada se presenta como una opción. Sin embargo, a pesar de su potencial, la implementación de fibras naturales del zuro como material aislantes térmicos y acústicos en Tarija enfrenta varios desafíos, incluida la falta de investigación y la aceptación por parte de la industria de la construcción y los usuarios.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se justifica por la creciente necesidad de abordar los desafíos ambientales y de sostenibilidad en el sector de la construcción, particularmente en la ciudad de Tarija. El cambio climático global ha generado condiciones climáticas más intensas de lo habitual en la región, y a esto se suma la contaminación auditiva asociada por el aumento de vehículos motorizados y con la ubicación del aeropuerto dentro de la ciudad. Estos factores han creado una demanda urgente de soluciones que mejoren la calidad de vida de los residentes y reduzcan el impacto ambiental en la construcción.

En este contexto, la investigación se acredita por su enfoque en las fibras naturales del zuro dentro de lo que es el biomaterial como una solución potencial a estos problemas, explorando su viabilidad como material de construcción para aislantes en un contexto específico que combina desafíos climáticos y de desarrollo arquitectónico. La investigación sobre el uso de fibras naturales del zuro representa una oportunidad para reducir la dependencia de materiales sintéticos y contaminantes, alineándose con estrategias globales para la reducción de la huella de carbono y la promoción de la sostenibilidad en la industria de la construcción, utilizando este material que se desecha y se desperdicia.

La viabilidad económica de este enfoque se examinará detalladamente, teniendo en cuenta no solo los costos de producción y mantenimiento, sino también el impacto en la economía local a través del uso de recursos disponibles regionalmente. Esto podría ofrecer una alternativa costo-

efectiva a los materiales convencionales y, de la misma forma, potenciar la economía local, generando nuevos mercados y oportunidades de empleo en torno a la producción de fibras naturales y su procesamiento.

Además, la evaluación del rendimiento técnico y el impacto ambiental del biomaterial aislante mostrara la eficacia y beneficios, con este proyecto podría facilitar un cambio significativo hacia prácticas de construcción más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, aportando el confort térmico y habitacional de los usuarios en sus viviendas.

La importancia de esta investigación radica en su potencial para proporcionar datos empíricos y recomendaciones prácticas que puedan ser utilizados por profesionales de la construcción, para promover prácticas más sostenibles en el sector de la construcción en Tarija. Además, la investigación contribuirá al conocimiento científico y técnico sobre el uso de aislantes como materiales de construcción, lo que podría tener implicaciones más amplias en la promoción de la sostenibilidad arquitectónica y la mitigación del cambio climático en otras regiones.

En resumen, esta investigación busca proporcionar una base sólida para la implementación de soluciones innovadoras y eco-amigables que mejoren la calidad de vida de los habitantes de Tarija y contribuyan a la construcción de comunidades más resilientes y sostenibles a largo plazo, aportando calidad de vida y el confort habitacional con su enfoque integral y aplicado.

## **1.5. PLANTEAMIENTOS DE OBJETIVOS**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Elaborar y aplicar un nuevo biomaterial aislante en base de zuro en revestimientos de muros de viviendas unifamiliares para la ciudad de Tarija logrando un confort térmico y calidad de vida al alcance de la población, determinando el impacto potencial en el rendimiento, viabilidad económica y minimizando la huella de carbono.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener un biomaterial aislante en base de zuro, en caracterización física de panel, para mejorar el aislamiento térmico acústico de las viviendas unifamiliares y que esto ayude con la calidad de vida de las personas.
- Realizar pruebas para evaluar el rendimiento térmico y acústico del biomaterial aislante de zuro en condiciones controladas de temperatura y humedad.
- Analizar los costos asociados con la producción del biomaterial (panel) aislante por metro cuadrado en comparación con los materiales convencionales.
- Realizar el análisis de impacto ambiental de la producción del biomaterial (panel) aislante en base de zuro, utilizando herramientas de evaluación de ciclo de vida con datos existentes de materiales.
- Generar estrategias y recomendaciones para promover la adopción de paneles aislantes de fibras naturales en la construcción en Tarija, basadas en los resultados de la investigación y las pruebas realizadas.

### **1.5. PREGUNTA CIENTÍFICA GENERADORA**

¿Cuál es el efecto de la aplicación de un biomaterial aislante en base de zuro dentro de viviendas unifamiliares en la ciudad de Tarija?

### **1.6. HIPÓTESIS**

El biomaterial aislante en base de zuro elaborado y aplicado en el revestimiento de muros interiores para viviendas unifamiliares en la ciudad de Tarija, es una alternativa confiable en cuanto a su rendimiento, modifica el comportamiento térmico, además, tiene un menor impacto ambiental en la producción, apostando por la sostenibilidad, un menor costo económico y mayor disponibilidad de la materia prima.

## 2.MARCO CONCEPTUAL

### 2.1. CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

**Biomaterial:** Biomaterial es cualquier sustancia o combinación de sustancias de origen natural o artificial, que puede ser usada durante cierto tiempo como un todo o como parte de un sistema que permite tratar, aumentar o reemplazar algún tejido, órgano o función del cuerpo humano. (Duffo, 2011)



Ilustración 1 Biomaterial. Fuente: Huellas de Arquitectura

**Aislante:** Un aislante es un material que ofrece una alta resistencia a la transmisión de energía. Esto significa que, cuando la energía intenta pasar a través de un aislante, se encuentra con una considerable resistencia que impide o limita su travesía. Este fenómeno es fundamental en diversas aplicaciones de la ciencia y la ingeniería, incluyendo la electricidad, el calor y el sonido.



Ilustración 2 Aislante Térmico. Fuente: PLAREMESA.

**Aislante Térmico:** Es la capacidad de control de la transmisión de calor cuando se desea que no exceda ciertos límites. Un producto aislante térmico es un producto que reduce la transmisión de calor a través de la estructura sobre la que, o en la que se instala.

**Aislante Acústico:** Es un conjunto de técnicas, materiales y tecnologías capaces de aislar -o al menos evitar- el menor ruido posible en las estancias de la casa. Aislar significa que no entre ningún ruido en el espacio, pero que tampoco salga de él.

**Fibras Naturales:** Las fibras naturales son materiales filamentosos de origen biológico, cuyas características químicas, físicas y mecánicas, les confieren cualidades en su aspecto, textura, longitud, resistencia y flexibilidad, que las hacen susceptibles de uso. En el caso de las fibras de origen animal se trata de secreciones de glándulas especializadas, como es la seda, o bien de productos de folículos pilosos como es la lana, la alpaca, entre otros. Las fibras de origen vegetal son conjuntos de células de gran resistencia mecánica, cuyo contenido es esencialmente lignina y celulosa por lo que están asociadas principalmente a funciones de sostén de las plantas.



Ilustración 3 Fibras Naturales. Fuente: arkiALBURA.

**Zuro:** Corazón o raspa de la mazorca del maíz después de desgranada. También llamado marlo, olote, tucó. (RAE R. A., Zuro, 2001)



Ilustración 4 Zuro. Fuente: Recetario Mexicano del Maíz.

**Arquitectura sostenible:** Es aquella que tiene en cuenta el impacto que va a tener el edificio durante todo su Ciclo de Vida, desde su construcción, pasando por su uso y su derribo final. Considera los recursos que va a utilizar, los consumos de agua y energía de los propios usuarios y finalmente, qué sucederá con los residuos que generará el edificio en el momento que se derribe. (AEC, 2017)



Ilustración 5 Arquitectura Sostenible. Fuente: Arquitectura Sostenible.

**Material ecológico:** Es aquel que ha sido desarrollado por medio de materias primas naturales de la zona. Por último, los materiales ecológicos también han de ser reciclables. Es decir, que son duraderos y reutilizables, que minimizan el impacto ambiental respecto de su alternativa convencional. Son materiales cuyas características físico-químicas y de proceso productivo los convierten en una mejora a nivel técnico en cuanto a su desempeño.



Ilustración 6 Materiales Ecológicos. Fuente: EVALCRIS.

**Cradle to Cradle:** De la "cuna a la cuna" presenta una integración de diseño y ciencia que proporciona beneficios duraderos para la sociedad a partir de materiales, agua y energía seguros en economías circulares y elimina el concepto de desperdicio.

Propone un marco de diseño caracterizado por tres principios derivados de la naturaleza:

Todo es un recurso para algo más.

Utiliza energía limpia y renovable.

Celebra la diversidad.

En lugar de buscar minimizar el daño que infligimos, Cradle to Cradle replantea el diseño como una fuerza positiva y regenerativa, y crea huellas para deleitarnos, no para lamentarnos. Este cambio de paradigma revela oportunidades para mejorar la calidad, aumentar el valor y estimular la innovación. Nos inspira a buscar constantemente mejoras en nuestros diseños y a compartir nuestros descubrimientos con otros. (William McDonough, 2002)

**Resiliencia:** 1. f. Capacidad de adaptación de un ser vivo frente a un agente perturbador o un estado o situación adversos.

2. f. Capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido. (RAE R. A., Resiliencia, 2014)

**Eficiencia:** 1. f. Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.

2. f. Capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos. (RAE, 2014)

**Eco-Eficiencia:** La ecoeficiencia es el proceso mediante el cual desarrollamos una determinada actividad económica, tratando de que este genere el menor impacto ambiental

posible. Esto, durante toda la cadena de producción, es decir, desde la adquisición de los insumos hasta la entrega al cliente o consumidor final. (Westreicher, 2021)

**Economía Azul:** La economía azul se relaciona con el uso, la gestión y la conservación sostenible de los recursos marinos a través de actividades que propician el desarrollo económico y la mejora de los medios de vida, a la vez que preservan la riqueza de la biodiversidad de las zonas afectadas. La División de Cambio Climático del Grupo BID define lo siguiente: una Economía Azul (circular) sostenible está intencionalmente diseñada para crear y mantener una armonización restauradora, regenerativa y resistente al clima en términos económicos, ambientales y sociales que utiliza de manera segura y eficiente los recursos de la tierra y el agua circundante. (IDBG, 2019)

**Supracyclaje:** El “supracyclaje” o también conocido como “upcycling” va más allá de un simple proceso de transformación, se convierte en una filosofía que busca encontrar valor en lo que ya no se usa. Se trata de dar una segunda vida a objetos que normalmente serían desechados, transformándolos en productos de mayor calidad, utilidad e incluso valor artístico. (ecoembes, 2024)

**Biomasa:** 1. f. Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

2. f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. (R.A.E., Biomasa, 2014)

**Huella Ecológica:** Ecol. Indicador de sostenibilidad ambiental que mide el consumo de los recursos naturales con respecto a su capacidad de regenerarse. (R.A.E., Biomasa, 2014)

**Huella de Carbono:** La huella de carbono se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO2 equivalentes, y sirve como una útil herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones, cómo podemos mejorarlas y realizar un uso más eficiente de los recursos. (MMA.gob)

**Entropía:** 1. f. Fís. Magnitud termodinámica que mide la parte de la energía no utilizable para realizar trabajo y que se expresa como el cociente entre el calor cedido por un cuerpo y su temperatura absoluta.

2. f. Fís. Medida del desorden de un sistema. Una masa de una sustancia con sus moléculas regularmente ordenadas, formando un cristal, tiene entropía mucho menor que la misma sustancia en forma de gas con sus moléculas libres y en pleno desorden. (R.A.E., Entropía , 2014)

**Innovación:** 1. f. Acción y efecto de innovar.

2. f. Creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado. (R.A.E., Innovación, 2014)

**G.I.R.S.:** Gestión Integral de Residuos Sólidos, se constituye en una estrategia que en el contexto del desarrollo local moviliza a todos los actores en torno al logro de objetivos comunes, relacionados con el fortalecimiento de la capacidad de gestión, ya sea comunitaria o municipal.

Se refiere a aquellas actividades asociadas al control: 1.- durante la generación, 2.- separación, 3.- almacenamiento, 4.- prestación, 5.- recolección pública, 6.- barrido, 7.- transporte, 8.- tratamiento y 9.- disposición final, de forma que armonice con los principios de la Salud Pública.

### **3. MARCO HISTÓRICO**

#### **3.1. ANTECEDENTES.**

Los materiales siempre han estado presentes en la vida del hombre, el uso de los primeros materiales aislantes fue durante la época de 2.5 millones a 7000 AC., cuando el estilo de vida del hombre era nómada y cuando lo primero que utilizó fueron las cuevas para defenderse del frío y con el paso del tiempo fue descubriendo las propiedades de muchos materiales que se encontraban en la naturaleza. Hasta entonces era la única fuente de obtención de herramientas y objetos de usos cotidiano, por ejemplo las pieles de algunos animales eran utilizadas como abrigo y las cortezas de algunas plantas para construir sus chozas. (García, 2009) (Bozsaky, 2011)

#### **3.2. HISTORIA.**

Durante el periodo 7000 AC. a 1870 DC., el hombre comenzó a utilizar materiales durables y las fibras de los vegetales; el barro, la piedra, ladrillos, madera y paja. Por la necesidad de cobijo con respecto a los cambios de climas estacionales. Más tarde en el periodo de la Revolución Industrial (1870-1950) la madera, la lana y la celulosa se utilizaron con mayor fuerza, posteriormente aparecieron los primeros ladrillos huecos; sin embargo, por último, aparece el uso del término de “aislamiento térmico” y los primeros materiales aislantes artificiales tales como asbesto, perlita, lana de roca, fibra de vidrio, espuma de vidrio, arcilla expandida y escoria. (Bozsaky, 2011)

Tiempo después, las propiedades que ofrecían estos materiales no satisfacían todas las demandas existentes, así que el hombre comenzó a aplicar sustancias que suplieran estas carencias; como ejemplo de ello comenzaron a manipular polímeros naturales: el ámbar, la goma laca y la gutapercha, que son los precursores de los polímeros actuales (García, Sergio 2009); y así durante el periodo de 1950 al 2000, surgieron las primeras espumas de plástico (poliestireno, poliuretano, poli éster, polietileno, resinas fenólicas y formaldehidos) los cuales son

contaminantes desde su producción hasta su uso, además de costos y poco accesibles con baja disponibilidad en el mercado y dejando fuera en lo tradicional este tipo de implementación en el ámbito constructivo, y desaparece casi por completo el uso de los materiales naturales. (Bozsaky, 2011)

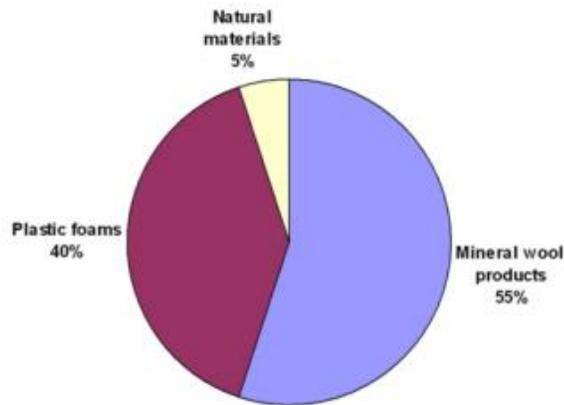


Ilustración 7 Mercado de materiales aislantes térmicos. Fuente: Bozsaky Dávid, 2011.

A partir del año 2000 surgió la idea de volver al uso de los materiales menos contaminantes debido a las grandes emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por los polímeros. Actualmente, se investiga en el desarrollo de nuevos materiales aislantes tales como aislantes nano celulares, paneles al vacío y aislantes térmicos transparentes. (Bozsaky, 2011)

Actualmente, hay más necesidad de incursionar a la utilización de materiales ecológicos, para intentar reducir el impacto contaminante que actualmente presenta el planeta y aún más en el ámbito de la construcción, ofreciendo una mejor calidad de vida y accesibilidad.

### **3.3. EXPONENTES ARQUITECTÓNICOS**

#### **Casa Pasiva Bunyesc Arboretum**

Arquitecto: Josep Bunyesc

Esta vivienda que se encuentra en Cataluña, no está certificada, pero en la Plataforma Edificatoria Passivhaus se garantiza que tiene un coste anual de 250 € en calefacción y no tiene ninguna demanda ni carga de refrigeración.

El precio de esta casa pasiva de 190 m2 es de 650.000 €.

La estructura es de madera conseguida en los pirineos y el aislante natural utilizado es de fibra de madera y la lana de oveja, producida y obtenida en Lleida.

Se trata de una estructura hecha en fábrica, o sea es prefabricada, su tiempo de construcción fue de 6 meses.



Ilustración 8 Casa Pasiva Bunyesc Arboretum. Fuente: inarquia.es

### **Casa Pasiva Larixhaus**

Arquitectos: Nacho Martí, Maria Molins y Oriol Martí

En las casas pasivas el aislamiento térmico es crucial para reducir la demanda de energía en climatización al máximo, por eso en estas edificaciones se llega hasta duplicar el aislamiento térmico.



Ilustración 9 Casa Pasiva Larixhaus. Fuente: inarquia.es

La casa de Larixhaus, situada en Barcelona utilizó aislamiento de paja en su construcción. Como se trata de una vivienda con certificación passivhaus queda probado que su demanda de calefacción y refrigeración es menor a 15 kWh por m<sup>2</sup>.

### Casa Pasiva Entre Encinas



Ilustración 10 Casa Pasiva Entre Encinas. Fuente: Construcción21.org

Arquitectos: Alicia Zamora e Iván Duque del estudio "DUQUEYZAMORA arquitectos"

La vivienda pasiva Entre Encinas construida en Llanes (Asturias) por los arquitectos Alicia Zamora e Iván Duque del estudio "DUQUEYZAMORA arquitectos" según criterios de bioconstrucción, es resultado de la búsqueda de una vivienda autosuficiente en cuyo diseño se integren, por un lado, los conceptos de eficiencia energética del estándar Passivhaus y por el otro, la arquitectura bioclimática.

Se garantiza, por tanto, un edificio de consumo de energía casi nulo siguiendo los principios de bio-construcción, que exigen el uso de materiales y sistemas constructivos de bajo impacto ambiental.

Es una vivienda unifamiliar en dos plantas con una terraza que se conecta con el terreno de forma natural.

Algunas de las estrategias utilizadas para diseñar una vivienda según los criterios de bioconstrucción: Madera prefabricada, pared externa de corcho como aislamiento, aislamiento de vidrio celular, tubos de polipropileno y cableado eléctrico con una instalación eléctrica biocompatible, cubierta verde, enlucido de cal, energía solar, reutilización de las aguas pluviales, tratamiento de aguas residuales.

Además, toda la envolvente se ha hecho siguiendo las pautas del estándar Passivhaus y todos los materiales son de madera o bien derivados de madera (menos la solera, que está hecha en hormigón armado con un aislamiento de XPS).

## **4. MARCO LEGAL**

### **4.1. NORMAS INTERNACIONALES**

ISO 7726 Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas. (ISO, [iso.org/es/normas](http://iso.org/es/normas), 1998)

ISO 7730 Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. (ISO, 2005)

ISO 13732-1 Ergonomía del ambiente térmico. Métodos para la evaluación de la respuesta humana al contacto con superficies. Parte 1: Superficies calientes. (ISO, 2006)

ISO 717 Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (ISO, [iso.org/es/normas](http://iso.org/es/normas), 2013)

ISO 12354 Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. (ISO, 2017)

UNE-EN 15251: 2007 (Europa): Requisitos para el diseño interior del ambiente térmico de los edificios. Comité Europeo de Normalización (CEN). (UNE, 2007)

Norma IRAM 11603 (Argentina): Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioclimática de la República Argentina. (IRAM I. A., 1996)

Norma IRAM 11604 (Argentina): Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. El Periódico Martes 13 de mayo de 2014. Método de energía en

calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límite. (IRAM I. A., 2001)

Norma IRAM 11625 (Argentina): Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general. (Certificación, 2000)

Norma NCh 853-2007 (Chile): Acondicionamiento térmico – Envolverte térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Mayo 2007 (INN, 2007)

## **4.2. NORMAS NACIONALES**

NB/ISO 9251 Aislamiento térmico. – Condiciones de transmisión térmica y propiedades de los materiales. – Vocabulario. (IBNORCA, ibnorca.org, 2010)

NB/ISO 13731 Ergonomía del ambiente térmico. – Vocabulario y símbolos. (IBNORCA, 2001)

NB/ISO 80000-8 Magnitudes y unidades – Parte 8: Acústica. (IBNORCA, 2022)

NB/NM 303 Análisis de la emisión acústica de estructuras durante la estimulación controlada (NM 303:2019, IDT). (IBNORCA, 2019)

NB/ISO 9229 Aislamiento térmico. Materiales y productos aislantes térmicos. Vocabulario. (IBNORCA, 2010)

NB/ISO 7345 Aislante térmico. Magnitudes físicas y definiciones. (IBNORCA, 2010)

## 5. MARCO TEÓRICO INVESTIGATIVO.

### 5.1. SUSTENTO TEÓRICO INVESTIGATIVO.

#### 5.1.1 CONCEPTOS DEL TEMA

**Biomaterial:** Biomaterial es cualquier sustancia o combinación de sustancias de origen natural o artificial, que puede ser usada durante cierto tiempo como un todo o como parte de un sistema que permite tratar, aumentar o reemplazar algún tejido, órgano o función del cuerpo humano. (Duffo, 2011)



Ilustración 11 Biomaterial. Fuente: Huellas de Arquitectura

Los biomateriales pueden ser de **origen artificial**, (metales, cerámicas, polímeros) o **biológico** (colágeno, quitina, etc.). Según la naturaleza del material artificial con el que se fabrica un implante, se puede establecer una clasificación en materiales cerámicos, metálicos, poliméricos o materiales compuestos.

A continuación, se citan algunas formas de clasificación de los biomateriales, teniendo presente la cantidad de posibles clasificaciones que existen:

Según su origen:

Natural, por ejemplo, seda, lana, colágeno.

Sintético, comúnmente denominados materiales biomédicos.

Dentro de los sintéticos y según su naturaleza:

Metales. Poseen buenas propiedades mecánicas. Usados, por ejemplo, en prótesis ortopédicas, implantes dentales.

Polímeros. Tienen propiedades cercanas a los tejidos vivos. Son los biomateriales más usados en implantes e ingeniería de tejidos.

Cerámicos. Son químicamente inertes y estables. Usados, por ejemplo, en prótesis óseas, válvulas de corazón.

Compuestos. Sus propiedades son muy variadas según los elementos que los constituyan. Usados en todos los campos de la bioingeniería.

En función de la respuesta del propio organismo:

Inertes

Bioactivos

Reimplantados

Biodegradables

No degradables

Como se dijo al principio el mundo de los biomateriales es muy extenso y en continuo desarrollo, por lo que estas propiedades y clasificaciones pueden quedar obsoletas o inadecuadas en poco tiempo.

**Aislante:** Un aislante es un material que ofrece una alta resistencia a la transmisión de energía. Esto significa que, cuando la energía intenta pasar a través de un aislante, se encuentra con una considerable resistencia que impide o limita su travesía. Este fenómeno es fundamental en diversas aplicaciones de la ciencia y la ingeniería, incluyendo la electricidad, el calor y el sonido.

### **Clasificación**

– **Aislante Térmico:** Es la capacidad de control de la transmisión de calor cuando se desea que no exceda ciertos límites. Un producto aislante térmico es un producto que reduce la transmisión de calor a través de la estructura sobre la que, o en la que se instala.

– **Aislante Acústico:** Es un conjunto de técnicas, materiales y tecnologías capaces de aislar -o al menos evitar- el menor ruido posible en las estancias de la casa. Aislar significa que no entre ningún ruido en el espacio, pero que tampoco salga de él.

### **Tipos según su origen.**

**Aislantes Sintéticos:** Son aquellos compuestos por materiales sintéticos como el plástico, los polímeros procedentes del petróleo y otros materiales sintéticos. Son muy efectivos térmicamente. Los más comunes son:

- **Poliestireno expandido (EPS).** Es uno de los aislantes más utilizados por su densidad y baja conductividad térmica.
- **Poliestireno extruido (XPS).** Muy similar al anterior, pero con la ventaja de que se puede mojar sin problema ya que es muy absorbente. Se utiliza con frecuencia por sus múltiples aplicaciones.
- **Poliuretano.** Tiene un mayor rendimiento térmico que los anteriores, pero se usa generalmente proyectado como espuma.
- **Rollos reflexivos.** Son rollos formados por una o varias capas, de grosor variable, de burbujas de polietileno entre varias finas láminas de aluminio utilizados especialmente en zonas climáticas suaves. (solerpalau.com, 2018)



Ilustración 12. Aislante Térmico. Fuente: PLAREMESA

**Aislantes Inorgánicos (Minerales):** Es el material aislante más empleado. Son productos aislantes constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forman un

fieltro que mantiene entre ellos aire en estado inmóvil. Resultan muy versátiles y eficaces ya que además de proporcionar un buen nivel de aislamiento térmico también actúan como aislamiento acústico y ofrecen un elevado nivel de protección contra el fuego. Dentro de las lanas minerales se distinguen fundamentalmente dos tipos:

- **Lana de roca o lana mineral (SW).** Se fabrica a partir de roca volcánica y se presenta en forma de manta, panel no rígido o rollo. Se utiliza en cubiertas, forjados, fachadas, suelos, falsos techos, buhardillas o tabiques interiores.
- **Lana de vidrio (GW).** Se fabrica fundiendo arena a altas temperaturas y su estructura está formada por finas fibras de vidrio unidas por un aglomerante o resina. Se considera mejor aislante acústico que la lana de roca y resiste mejor a la humedad. Al ser más liviana que otros aislantes y de muy baja conductividad térmica, consigue una mayor eficiencia con el mismo espesor.

**Aislantes Orgánicos - Ecológicos:** Este tipo de aislantes, además, son reciclables y biodegradables. Su uso está cada vez más extendido porque no contienen sustancias ni aditivos y por tanto son más respetuosos con el medio ambiente. Los aislantes naturales más comunes son:

- **Corcho.** Es el de mayor aceptación porque además de sus buenas propiedades como aislante es reciclable y renovable. Se presenta en diferentes formatos; en forma de virutas para rellenar cavidades, en forma de paneles de corcho prensado o incluso proyectado para cubiertas o revestimiento de superficies.
- **Lino.** Procede de una planta de fácil cultivo de la que se obtienen fibras reciclables que se utilizan como aislante.
- **Celulosa.** Formada por residuos de papel que se reciclan en forma de aislante para su aplicación por insuflado en cámaras, trasdosados o sobre forjados.

- **Lana de oveja.** Aislante de procedencia animal que cuando se humedece mejora su capacidad de aislamiento.
- **Arlita, perlita y vermiculita.** Son aislantes minerales muy frecuentes en la construcción tradicional y de gran capacidad ignífuga.
- **Fibra de coco y el algodón.** También se utilizan como aislantes naturales en forma de mantas.

**Fibras Naturales:** Las fibras naturales son materiales filamentosos de origen biológico, cuyas características químicas, físicas y mecánicas, les confieren cualidades en su aspecto, textura, longitud, resistencia y flexibilidad, que las hacen susceptibles de uso. En el caso de las fibras de origen animal se trata de secreciones de glándulas especializadas, como es la seda, o bien de productos de folículos pilosos como es la lana, la alpaca, entre otros. Las fibras de origen vegetal son conjuntos de células de gran resistencia mecánica, cuyo contenido es esencialmente lignina y celulosa por lo que están asociadas principalmente a funciones de sostén de las plantas.



Ilustración 13 Fibras Naturales. Fuente: arkiALBURA

### **Propiedades.**

1. Resistencia a las fuerzas de tracción, compresión y absorción de golpes. Con aplicación en una amplia selección de productos y campos de tipo técnico como aplicaciones construcción, arquitectura, automoción, etc.

2. Mejor comportamiento ante la llama y a la exposición a elevadas temperaturas. Especialmente pensados para equipos de protección, tejidos para el hogar en lugares públicos, aplicaciones militares y transporte público.

3. Buena resistencia ante bacterias y microorganismos. Artículos para hospitales, quirófanos e higiénicos.

4. Con mayor conductividad eléctrica. Materiales industriales y prendas de protección, también se aplican en automoción.

5. Alta resistencia a productos químicos. Equipos militares y de protección, en trajes de bombero y en pesca y agricultura.

6. Fibras con gran capacidad de aislamiento térmico. Material de protección y deporte.

7. La incorporación de micro y nano cápsulas en el proceso de producción de las fibras químicas ha dado como resultado la obtención de materiales con mejor comportamiento.

### **Clasificación**

Fibras naturales vegetales: Algodón, Lino, cáñamo, yute, ramio, esparto, etc.

Fibras naturales animales: Lana, seda y pelos de diferentes animales

Fibras naturales minerales: Vidrio, carbono o grafito, vidrio, cerámicas, metales, etc.

**Zuro:** Corazón o raspa de la mazorca del maíz después de desgranada. También llamado marlo, olote, tucó. (RAE R. A., Zuro, 2001)



Ilustración 14 Zuro. Fuente: Recetario Mexicano del Maíz.

**Arquitectura sostenible:** Es aquella que tiene en cuenta el impacto que va a tener el edificio durante todo su Ciclo de Vida, desde su construcción, pasando por su uso y su derribo final. Considera los recursos que va a utilizar, los consumos de agua y energía de los propios usuarios y finalmente, qué sucederá con los residuos que generará el edificio en el momento que se derribe. (AEC, 2017)



Ilustración 15 Arquitectura Sostenible. Fuente: Arquitectura Sostenible

**Material ecológico:** Es aquel que ha sido desarrollado por medio de materias primas naturales de la zona. Por último, los materiales ecológicos también han de ser reciclables. Es decir, que son duraderos y reutilizables, que minimizan el impacto ambiental respecto de su alternativa convencional. Son materiales cuyas características físico-químicas y de proceso productivo los convierten en una mejora a nivel técnico en cuanto a su desempeño.



Ilustración 16 Materiales Ecológicos. Fuente: EVALCRIS.

**Cradle to Cradle:** De la "cuna a la cuna" presenta una integración de diseño y ciencia que proporciona beneficios duraderos para la sociedad a partir de materiales, agua y energía seguros en economías circulares y elimina el concepto de desperdicio.

Propone un marco de diseño caracterizado por tres principios derivados de la naturaleza:

Todo es un recurso para algo más. En la naturaleza, los "residuos" de un sistema se convierten en alimento para otro. Todo puede diseñarse para ser desmontado y devuelto de forma segura al suelo como nutrientes biológicos, o reutilizado como materiales de alta calidad para nuevos productos como nutrientes técnicos sin contaminación.

Utiliza energía limpia y renovable. Los seres vivos prosperan gracias a la energía de los ingresos solares actuales. De manera similar, las construcciones humanas pueden utilizar energía limpia y renovable en muchas formas, como la solar, eólica, geotérmica, gravitacional y otros sistemas energéticos que se están desarrollando hoy en día, capitalizando así estos abundantes recursos y al mismo tiempo apoyando la salud humana y ambiental.

Celebra la diversidad. En todo el mundo, la geología, la hidrología, la fotosíntesis y el ciclo de nutrientes, adaptadas a la ubicación, producen una asombrosa diversidad de vida natural y cultural. Diseños que responden a los desafíos y oportunidades que ofrece cada lugar encajan de manera elegante y efectiva en sus propios nichos.

En lugar de buscar minimizar el daño que infligimos, Cradle to Cradle replantea el diseño como una fuerza positiva y regenerativa, una que crea huellas para deleitarnos, no para lamentarnos. Este cambio de paradigma revela oportunidades para mejorar la calidad, aumentar el valor y estimular la innovación. Nos inspira a buscar constantemente mejoras en nuestros diseños y a compartir nuestros descubrimientos con otros. (William McDonough, 2002)

**Resiliencia:** 1. f. Capacidad de adaptación de un ser vivo frente a un agente perturbador o un estado o situación adversos.

1. f. Capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido. (RAE R. A., Resiliencia, 2014)

**Eficiencia:** 1. f. Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.

2. f. Capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos. (RAE, 2014)

**Eco-Eficiencia:** La ecoeficiencia es el proceso mediante el cual desarrollamos una determinada actividad económica, tratando de que este genere el menor impacto ambiental posible. Esto, durante toda la cadena de producción, es decir, desde la adquisición de los insumos hasta la entrega al cliente o consumidor final. (Westreicher, 2021)

**Economía Azul:** La economía azul se relaciona con el uso, la gestión y la conservación sostenible de los recursos marinos a través de actividades que propician el desarrollo económico y la mejora de los medios de vida, a la vez que preservan la riqueza de la biodiversidad de las zonas afectadas. La División de Cambio Climático del Grupo BID define lo siguiente: una Economía Azul (circular) sostenible "está intencionalmente diseñada para crear y mantener una armonización restauradora, regenerativa y resistente al clima en términos económicos, ambientales y sociales que utiliza de manera segura y eficiente los recursos de la tierra y el agua circundante". (IDBG, 2019)

**Suprreciclaje:** El "suprreciclaje" o también conocido como "upcycling" va más allá de un simple proceso de transformación, se convierte en una filosofía que busca encontrar valor en lo que ya no se usa. Se trata de dar una segunda vida a objetos que normalmente serían desechados,

transformándolos en productos de mayor calidad, utilidad e incluso valor artístico. (ecoembes, 2024)

**Biomasa:** 1. f. Biol. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

2. f. Biol. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. (R.A.E., Biomasa, 2014)

**Huella Ecológica:** Ecol. Indicador de sostenibilidad ambiental que mide el consumo de los recursos naturales con respecto a su capacidad de regenerarse. (R.A.E., Biomasa, 2014)

**Huella de Carbono:** La huella de carbono se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO<sub>2</sub> equivalentes, y sirve como una útil herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones, cómo podemos mejorarlas y realizar un uso más eficiente de los recursos. (MMA.gob)

**Entropía:** 1. f. Fís. Magnitud termodinámica que mide la parte de la energía no utilizable para realizar trabajo y que se expresa como el cociente entre el calor cedido por un cuerpo y su temperatura absoluta.

2. f. Fís. Medida del desorden de un sistema. Una masa de una sustancia con sus moléculas regularmente ordenadas, formando un cristal, tiene entropía mucho menor que la misma sustancia en forma de gas con sus moléculas libres y en pleno desorden. (R.A.E., Entropía , 2014)

**Innovación:** 1. f. Acción y efecto de innovar.

2. f. Creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado. (R.A.E., Innovación, 2014)

**G.I.R.S.:** Gestión Integral de Residuos Sólidos, se constituye en una estrategia que en el contexto del desarrollo local moviliza a todos los actores en torno al logro de objetivos comunes, relacionados con el fortalecimiento de la capacidad de gestión, ya sea comunitaria o municipal.

Se refiere a aquellas actividades asociadas al control: 1.- durante la generación, 2.- separación, 3.- almacenamiento, 4.- prestación, 5.- recolección pública, 6.- barrido, 7.- transporte, 8.- tratamiento y 9.- disposición final, de forma que armonice con los principios de la Salud Pública.

### **5.1.2. CONCEPTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

**Investigación:** La investigación se asume como un proceso social que busca dar respuestas a problemas del conocimiento, los cuales pueden surgir de la actitud reflexiva y crítica de los sujetos con relación a la praxis o a la teoría existente, es considerada proceso. En cuanto ésta se realiza en forma continua y coherente en los diferentes pasos o momentos y apropia o crea un método para la producción de conocimiento. Es social y está determinada por las características del contexto y es orientada por sujetos sociales que en acciones individuales o colectivas intentan dar respuestas a interrogantes planteados en el campo del saber y del hacer.

**Tipos de investigación:** La forma más común de clasificar las investigaciones es aquella que pretende ubicarse en el tiempo (según dimensión cronológica) y distingue entre la investigación de las cosas pasadas (Histórica), de las cosas del presente (Descriptiva) y de lo que puede suceder (Experimental)

Según Zorrilla (1993), la investigación se clasifica en cuatro tipos: básica, aplicada, documental, de campo o mixta.

**Investigación Explicativo Causal:** Mediante este tipo de investigación que se requiere la combinación de los métodos analítico y sintético, en conjugación con el deductivo y el inductivo, trata de responder el porqué del objeto que se investiga, mediante la recolección de información de fuentes. (Daen, 2011)

**Investigación Descriptiva:** Este tipo de estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se ha sometido a análisis. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, de forma tal de describir los que se investiga. Este tipo de estudio puede ofrecer la posibilidad de llevar a cabo algún nivel de predicción (aunque sea elemental).

Como aproximación a un aspecto de la realidad social, tenemos en primer lugar (en el sentido de más elemental) las investigaciones de tipo descriptivo. Buena parte de lo que se escribe y estudia sobre lo social no va mucho más allá de este nivel. Consiste fundamentalmente en caracterizar un fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores. La descripción consiste en poder responder las siguientes cuestiones al final de la investigación. (Cauas, 2015)

**Investigación Experimental:** Se basa en manipulación de la realidad o del estado natural del objeto. La tarea del investigador es manejar de manera deliberada la variable experimental y luego observar lo que ocurre en condiciones controladas. (Daen, 2011)

**Investigación Proyectiva:** También conocida como “proyecto factible”, consiste en la elaboración de una propuesta o modelo para solucionar un problema que se plantea, intenta responder preguntas hipotéticas sobre el futuro o pasado a partir de datos actuales. (Daen, 2011)

**Enfoque Metodológico:** La definición del enfoque metodológico es el primer paso a la definición de la manera que se recogerán los datos, como serán analizados e interpretados. El enfoque incluye el diseño mismo del instrumento. A grandes rasgos, en la dinámica del quehacer

investigativo de las Ciencias Sociales se puede distinguir dos enfoques metodológicos: el cuantitativo y el cualitativo. Ambos se diferencian por su lógica interna: diseño de investigación, técnicas e instrumentos que utilizan para recoger la información, tipo de información recolectada, el proceso de análisis, entre otras características. (Cauas, 2015)

– **Método Hipotético Deductivo:** Es un método científico inferencial contrapuesto al verificacionismo, que comprende un patrón cíclico con los pasos siguientes: identificación de problema, planteamiento del problema, formulación de una hipótesis aislada falsable, medición, recopilación y análisis de datos e interpretación de los resultados; todo, con el fin de poner a prueba una teoría. (Salmon., 2017)

– **Método Empírico.** Se basan en la experiencia en el contacto con la realidad; es decir, se fundamentan en la experimentación y la lógica que, junto a la observación de fenómenos y su análisis estadístico, son los más utilizados en el campo de las ciencias sociales y en las ciencias naturales. (Bernal, 2010)

### **Variable**

El término está tomado de las matemáticas, utilizándose de forma bastante elástica en el ámbito de las ciencias sociales. Por lo general, se utiliza como sinónimo de «aspecto», «propiedad» o «dimensión». Propiedad o característica de un objeto o fenómeno que presenta variaciones en sucesivas mediciones temporales. De otra forma, se trata de una característica observable o un aspecto discernible en un objeto de estudio que puede adoptar diferentes valores o expresarse en varias categorías.

En general bajo esta definición, todas las cosas, todos los fenómenos y todas las propiedades y características que pueden cambiar cualitativa o cuantitativamente se denominan variables. (Cauas, 2015)

**Variables Dependientes:** Reciben este nombre las variables a explicar, o sea, el objeto de la investigación, que se trata de explicar en función de otros elementos. (Cauas, 2015)

**Variables Independientes:** Son las variables explicativas, o sea, los factores o elementos susceptibles de explicar las variables dependientes (en un experimento son las variables que se manipulan). (Cauas, 2015)

### **5.1.3. BIBLIOGRAFIA DE TRABAJOS CONSULTADOS.**

– **Comportamiento acústico y térmico de materiales basados en fibras naturales para la eficiencia energética en edificación.**

El uso de materiales aislantes es el primer paso para reducir la energía requerida para mantener una buena temperatura en el interior de un edificio y alcanzar la eficiencia energética. El objetivo es diseñar materiales para aislamiento acústico y térmico baratos, biodegradables y reciclables como los basados en fibras naturales. En este trabajo se estudian las propiedades térmicas y acústicas de no tejidos basados en fibras de fique, de coco y de algodón reciclado a partir de tejido denim. Se proponen posibles usos para los materiales fabricados basados en las exigencias del Código Técnico. (Navacerrada, y otros, 2021)

– **Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico.**

El objetivo de esta investigación fue la fabricación de ladrillos de forma económica y sustentable, a través del uso de papel y aserrín de desecho. La mezcla para la obtención de los ladrillos contenía cemento, papel reciclado, aserrín y cal. Los ladrillos obtenidos mostraron altas cualidades mecánicas y propiedades muy adecuadas como materiales de construcción. Fueron resistentes al fuego, de baja densidad (0.79 g/cm<sup>3</sup>), soportaron una

carga puntual de 6.8 kg. /cm<sup>2</sup>, la absorción de agua fue mínima 0.08 g. (8.5 x 10<sup>-3</sup>% del peso original) además fueron resistentes al ataque de insectos y microorganismos. (Saldaña-Acosta, 2016)

– **Caracterización acústica y térmica de no tejidos basados en fibras naturales.**

Un material absorbente acústico colocado en la cámara de un sistema constructivo de separación vertical de dos hojas mejora el aislamiento acústico a ruido aéreo del sistema sin material absorbente. Los materiales sintéticos porosos, tales como la lana de roca o lana de vidrio, son soluciones habituales. Sin embargo, son caros de producir y se basan generalmente en productos petroquímicos. Una alternativa pueden ser los materiales absorbentes elaborados a partir de las fibras naturales. Los hilos obtenidos con las fibras, pueden tejerse para producir un tejido o apelmazarse para producir un no tejido. El desarrollo de materiales no tejidos a partir de fibras naturales, puede ser una opción prometedora y ecológica. A fin de poder emplear este tipo de materiales como materiales absorbentes, se han caracterizado las propiedades acústicas y térmicas de no-tejidos elaborados a partir de fibras de coco, de fique-coco y de fique. Los métodos empleados para la elaboración de los no-tejidos han sido dos: el método manual que requiere el uso de un ligante y una prensa y mediante el uso de una punzonadora que a través de un mecanismo de agujas permite enlazar las fibras entre sí. En este trabajo, para los no-tejidos se muestran los resultados de las medidas del coeficiente de absorción sonora a incidencia normal, de la resistencia al flujo de aire, de la conductividad térmica y de la rigidez dinámica. (Navacerrada M. A.-L.-O., 2016)

– **Eco-panel en base a lana de oveja como aislante térmico para el mejoramiento del confort de la vivienda en el altiplano boliviano. Caso de estudio: Ciudad de El Alto.**

La presente investigación plantea la creación de un Eco-Panel novedoso en base a lana de oveja, insumo abundante en la región del altiplano, asimismo, el producto generado tiene como materiales básicos que son sostenibles, renovables y reciclados. Es así que se tiene como objetivo “crear un Eco-Panel como aislamiento térmico en base a lana de oveja con bases teóricas y técnicas para mejorar el confort térmico de las viviendas unifamiliares de la población vulnerable de la ciudad de El Alto, desde un enfoque integral entre sistema constructivo, arquitectónico y tecnológico”. En consecuencia, mejorar la calidad de vida de la población. (Siñani, 2021)

– **Caracterización de las propiedades de absorción acústica de la fibra de caña de azúcar.**

El objetivo principal de este proyecto es obtener los coeficientes de absorción acústica de la fibra de caña de azúcar sin aglutinantes por medio de la medición con tubo de impedancias estipulada en la norma ISO 10534-2 que hace referencia al método de función de transferencia y haciendo uso de un algoritmo de automatización desarrollado en LABVIEW del cual se obtiene información que permite correlacionar datos de acuerdo a las variables establecidas para concluir si el material presenta coeficientes de absorción funcionales. (Sánchez, 2017)

– **Caracterización de un biomaterial compuesto de residuos agrícolas para su aplicación como aislante térmico.**

Este trabajo de investigación está enfocado a la caracterización y evaluación de un nuevo material desarrollado a partir de materias primas renovables, para ser utilizado como material de aislamiento en distintos sistemas energéticos renovables. Es un material elaborado a partir de residuos agrícolas específicamente de bagazo de maíz, dicho material se elabora en forma de bloques o paneles que con ayuda de un aglutinante natural es posible que el material tome forma, el aglutinante natural utilizado es el micelio de hongos micronicemos (*trametes elegans*) endémicos del estado de Chiapas, México. Se realizaron estudios de las propiedades térmicas e higroscópicas, que son las características principales en un material aislante, algunas características químicas, y también biológicas puesto que se propone este material alternativo con la ventaja de ser ecológico. De acuerdo a los resultados obtenidos, este nuevo material tiene conductividad térmica de 0.043 W/mK, lo cual demuestra su potencial para ser utilizado como material de aislamiento que lo hace competitivo con otros materiales convencionales no biodegradables; sin embargo, su susceptibilidad a la higroscopicidad y a la ignición es una desventaja que presenta pero que podría disminuirse buscando alternativas que mejoren el desempeño higroscópico, tales como tratamientos hidrófobos. (Trujillo, 2017)

– **Aplicación de la caña guadua en cielos falsos con aislamientos termo acústico.**

En este proyecto investigativo lo que se busca es reactivar en el mercado nacional la utilización de la caña guadua, para la fabricación de paneles de caña guadua con aislamiento termo acústico para la aplicación en cielos falsos de ciertas edificaciones las

mismas que puedan garantizar durabilidad considerando: los niveles de humedad, factores físicos, factores químicos, regiones y ambientes dentro de una edificación. (Minga, 2018)

– **Elaboración de un panel aislante térmico a base de cartón y tapones de corcho reciclado para viviendas de interés social en la parroquia el salto ciudad de Babahoyo, Ecuador.**

El artículo presenta una propuesta de elaboración de un panel aislante térmico a base de cartón y tapones de corcho reciclado para viviendas de interés social en la parroquia el Salto, Babahoyo. El objetivo es comprobar que se puede utilizar materiales de desechos inorgánicos para elaborar elementos de construcción a un bajo costo, un corto proceso de transformación para que la población lo pueda obtener. Al reutilizar materiales como cartón y tapones de corcho contribuye al cuidado del medio ambiente, al reciclar el cartón se disminuye la tala de árboles y el procedimiento industrial. Cuando un producto se desarrolla en las grandes industrias origina contaminación en su período de fabricación puesto que por lo general la materia prima proviene de derivados de petróleo. (Ninfa Cristina Castillo Moya, 2019)

– **Materiales aislantes sostenibles.**

Este trabajo describe la importancia de la sostenibilidad en la edificación, detallando consideraciones por las que tomar medidas para reducir el consumo energético y el uso racional de los recursos.

Se detallan algunos tipos de aislamientos térmicos y me concentro en los más convenientes desde el punto de vista social, económico y medio ambiental para mantener el confort climático tomando como modelo recursos que nos ofrece la naturaleza con la función de proteger, aislar y renovarse por sí solos. (Maria Velázquez Rodríguez, 2016)

– **Estudio preliminar de la obtención de un aislante térmico basado en raíces vegetales.**

Este estudio se encarga de realizar un análisis comparativo de las propiedades térmicas, viabilidad de generación de un aislante basado en raíces y la reacción al fuego entre dos categorías de materiales: por un lado, materiales comerciales de origen natural; y por otro lado, un innovador aislante de tipo "Colchón Radicular" (CR).

Las propiedades térmicas, que determinan la capacidad de un material para resistir la transferencia de calor, serán objeto de un minucioso examen en ambas categorías. Se evaluarán características como la conductividad térmica, la capacidad de almacenamiento de calor y la transmisión de calor a través del material. Estas propiedades son fundamentales para comprender cómo cada material maneja el flujo de energía térmica y su eficiencia en la conservación de temperatura. (Solís, 2023)

– **Elaboración de un tumbado aislante térmico de yeso reforzados con fibra de coco.**

En la actualidad, la creciente preocupación por el agotamiento de recursos y la necesidad de reducir el impacto ambiental ha impulsado la búsqueda de nuevos materiales sostenibles en la construcción. Este interés surge como respuesta a las amenazas del cambio climático y a los efectos adversos asociados con el uso indiscriminado de recursos naturales en entornos urbanos y rurales. En este contexto, la iniciativa de desarrollar un tumbado elaborado con yeso y fibra de coco que busca mejorar las propiedades aislantes y sostenibles de los materiales de construcción. El objetivo principal de este proyecto es contribuir a la disminución del consumo energético en edificaciones, fomentando prácticas constructivas más amigables con el medio ambiente. Los resultados de la

caracterización del material indican un desempeño positivo en ensayos mecánicos y de transmitancia térmica. Estos resultados sugieren que el material resultante no solo actúa como un aislante efectivo, sino que también exhibe buenas propiedades mecánicas. En resumen, la creación de este tumbado con yeso y fibra de coco se alinea con la necesidad actual de desarrollar soluciones constructivas más sostenibles, destacando por su capacidad aislante y sus propiedades mecánicas favorables. (Veliz, 2024)

– **Uso del residuo agrícola de la caña de azúcar como material alternativo para la elaboración de paneles prefabricados ecológicos de yeso.**

El objetivo de la siguiente investigación es comprobar la aplicabilidad del residuo agrícola de la caña como material alternativo para la elaboración de Paneles Prefabricados ecológicos de yeso. Con el fin de poder demostrar que es posible elaborar un panel prefabricado a base de bagazo de la caña de azúcar como principal insumo más el yeso natural junto a otros materiales, pero para ello se le debe dar un adecuado tratamiento a esta fibra para obtener los mejores resultados. (Tinoco Padilla, 2018)

– **Determinación de la influencia del bagazo de caña de azúcar como agregado orgánico en la resistencia a la compresión de bloques para mampostería liviana.**

El propósito de usar fibras de bagazo de caña como agregado orgánico en la elaboración de mampostería liviana, responde a la necesidad de fomentar el uso de materiales alternativos, además de mejorar las características físicas y mecánicas de los bloques tradicionales. Para este trabajo experimental se preparó una mezcla de fibras de bagazo y una dosificación elaborada para bloques de mampostería liviana que cumplan con los requisitos establecidos en las normas INEN 316 [1], 639 [2] y 643 [3]: Bloques Tipo E de dimensiones nominales 40cm x 20cm x 15cm. Las fibras fueron tratadas

mediante flujo de agua continuo para la eliminación de los azúcares propios de la caña, luego fueron cortadas para obtener longitudes de fibra de 1" y 2", las cuales se distribuyeron dentro de la mezcla de forma homogénea en porcentajes entre 0.5% y 2.0% en función del peso del cemento. (Alberto, 2017)

— **Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del adobe con incorporación de la fibra de molle.**

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo general, evaluar las propiedades físicas y mecánicas del adobe, con la incorporación de la fibra de molle, su diseño de investigación es experimental, cuasi experimental, el tipo de investigación es aplicada, el enfoque de la investigación es cuantitativo, nivel de la investigación es correlacional, en este proyecto se utilizó una población de 72 unidades, de 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de alto, estas muestras fueron dosificadas con 0.0%, 3.0% y 6.0% de fibra, los trabajos se realizan bajo las recomendaciones de la Norma E 0.80, donde indica que la resistencia última a la compresión es de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>. En este proyecto se concluye que la incorporación de la fibra de molle tiene un efecto positivo en las propiedades física y mecánicas del adobe. Sin embargo, tenemos un efecto negativo en la resistencia a la flexión, pero se obtiene mejores resultados comparado con otros experimentos. Se logró demostrar que la fibra de molle, tiene un efecto positivo, ya que disminuye la absorción de agua, cuando se adiciona 6% de fibra tenemos 13.80%, siendo inferior a las muestras de 3% y las muestras patrón, por otro lado, se dice que la fibra de molle, tiene un efecto positivo, ya que disminuye la succión de agua, cuando se adiciona 6% de fibra, tenemos 8.36 g/min/200cm<sup>2</sup>, siendo inferior a las muestras de 3% y las muestras patrón. Se lo tuvo que la fibra de molle, tiene un efecto positivo, ya que

incrementa la resistencia a la compresión, cuando se adiciona 6% de fibra, tenemos 35.42 kg/cm<sup>2</sup>, siendo superior a las muestras de 3% y las muestras patrón, por otro lado, se demostró que la fibra de molle, tiene un efecto positivo, ya que incrementa la resistencia a la flexión, cuando se adiciona 3% de fibra, tenemos 3.14 kg/cm<sup>2</sup>, siendo superior a las muestras de 6%, sin embargo, es inferior las muestras patrón. (Araujo Baylon, 2023)

## **5.2. DEFINICIÓN DEL MÉTODO CIENTÍFICO DE ESTUDIO.**

**Método Hipotético Deductivo:** Es un método científico inferencial contrapuesto al verificacionismo, que comprende un patrón cíclico con los pasos siguientes: identificación de problema, planteamiento del problema, formulación de una hipótesis aislada falsable, medición, recopilación y análisis de datos e interpretación de los resultados; todo, con el fin de poner a prueba una teoría. (Salmon., 2017)

Utilizaré este método para formular la hipótesis inicial basada en teorías existentes sobre biomateriales y su comportamiento. A partir de estas hipótesis, deduciré posibles resultados y verificaré su validez mediante experimentación controlada

**Método Empírico:** Se basan en la experiencia en el contacto con la realidad; es decir, se fundamentan en la experimentación y la lógica que, junto a la observación de fenómenos y su análisis estadístico, son los más utilizados en el campo de las ciencias sociales y en las ciencias naturales. (Bernal, 2010)

Aplicaré este método para recolectar datos mediante observación directa y experimentación con el biomaterial. El análisis estadístico de los datos recogidos me permitirá establecer correlaciones y validar las hipótesis planteadas. Este método asegura que la investigación esté firmemente anclada en la realidad observable y medible.

### **5.3. DEFINICIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN**

**Investigación Experimental Exploratoria:** Se basa en la manipulación de la realidad o del estado natural del objeto. La tarea del investigador es manejar de manera deliberada la variable experimental y luego observar lo que ocurre en condiciones controladas. (Daen, 2011)

Realizaré experimentos manipulando las variables relacionadas con la composición y aplicación del biomaterial para observar los cambios en sus propiedades y efectividad. Esta manipulación dirigida es esencial para entender cómo las modificaciones en la formulación afectan las características finales del material.

**Investigación Descriptiva:** Este tipo de estudio busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se sometido a análisis. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, de forma tal de describir los que se investiga. Este tipo de estudio puede ofrecer la posibilidad de llevar a cabo algún nivel de predicción (aunque sea elemental).

Como aproximación a un aspecto de la realidad social, tenemos en primer lugar (en el sentido de más elemental) las investigaciones de tipo descriptivo. Buena parte de lo que se escribe y estudia sobre lo social no va mucho más allá de este nivel. Consiste fundamentalmente en caracterizar un fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores. La descripción consiste en poder responder las siguientes cuestiones al final de la investigación. (Cauas, 2015)

Describiré detalladamente el proceso del proyecto y las propiedades físicas, químicas y biológicas del biomaterial. Esto incluirá la documentación de su comportamiento en diferentes condiciones ambientales y su interacción con otros materiales y sustancias.

**Investigación Explicativo Causal:** Mediante este tipo de investigación que se requiere la combinación de los métodos analítico y sintético, en conjugación con el deductivo y el inductivo,

trata de responder el porqué del objeto que se investiga, mediante la recolección de información de fuentes. (Daen, 2011)

Combinaré métodos analíticos y sintéticos para explorar las causas subyacentes de los resultados observados en las pruebas del biomaterial. Este tipo de investigación ayudará a comprender por qué ciertas características del biomaterial funcionan de manera efectiva bajo ciertas condiciones.

**Investigación Proyectiva:** También conocida como “proyecto factible”, consiste en la elaboración de una propuesta o modelo para solucionar un problema que se plantea, intenta responder preguntas hipotéticas sobre el futuro o pasado a partir de datos actuales. (Daen, 2011)

Desarrollaré un modelo o prototipo del biomaterial basado en los hallazgos de la investigación, proponiendo soluciones concretas a problemas específicos, como la mejora de la eficiencia energética en edificaciones mediante un mejor aislamiento térmico y acústico.

El tipo de investigación de este proyecto se desenlaza en estos tipos de investigación, donde se analizará los datos reales recolectados, se elaborará una propuesta (biomaterial), se observará su comportamiento y describirá de inicio a fin todo lo que se vaya documentando.

## **5.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

### **5.4.1. VARIABLES DEPENDIENTES**

Reciben este nombre las variables a explicar, o sea, el objeto de la investigación, que se trata de explicar en función de otros elementos. (Cauas, 2015)

La variable dependiente de este proyecto abarca las temperaturas en las viviendas y la sensación térmica proporcionada, así como el rendimiento del biomaterial en términos de aislamiento térmico y acústico, su referencia a la humedad. Estas propiedades serán evaluadas para determinar la eficacia del material desarrollado.

#### **5.4.2. VARIABLES INDEPENDIENTES**

Son las variables explicativas, o sea, los factores o elementos susceptibles de explicar las variables dependientes (en un experimento son las variables que se manipulan). (Cauas, 2015)

Entre las variables independientes existen diversas causas entre las principales, selección de materiales, materiales no aptos para las necesidades actuales, cambio climático, costos elevados de aislantes convencionales, tradiciones constructivas, contaminación del medio ambiente y la exposición de los materiales al clima.

El material elaborado se considera como una de las causas en la variable independiente. En este proyecto de investigación sobre la elaboración y aplicación de un biomaterial, se emplearán diferentes métodos y tipos de investigación de la siguiente manera: Las variables independientes comprenderán los componentes del biomaterial, como los tipos de polímeros biodegradables, aditivos naturales y tecnologías de procesamiento. La manipulación de estas variables permitirá observar cómo cada una influye en las propiedades del biomaterial final.

#### **5.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

La operacionalización de variables es un proceso lógico de desagregación de los elementos más abstractos hasta llegar al nivel más concreto, los hechos producidos en la realidad y que representan indicios del concepto, pero que podemos observar, recoger, valorar, es decir, sus indicadores. (Latorre, 2005)

De acuerdo con las definiciones se entiende por variables independientes a las causas que producen un comportamiento o reacción, donde las variables dependientes son el efecto, se introduce un concepto más que es la interviniente en este proceso.

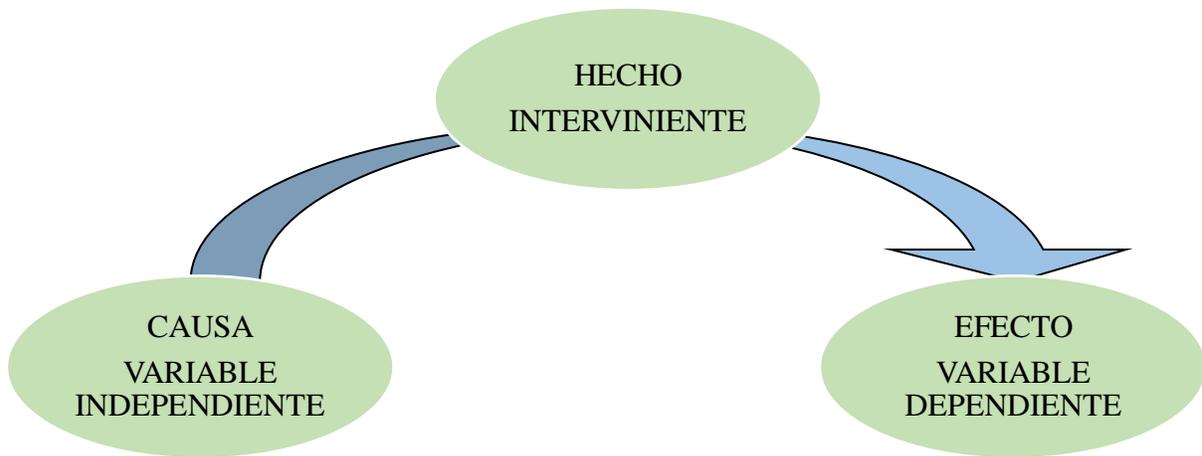


Gráfico 1 Manejo de Variables. Fuente: Elaboración propia

CAUSA VARIABLE INDEPENDIENTE	HECHO INTERVINIENTE	EFECTO VARIABLE DEPENDIENTE
Cambio climático	Uso de alternativas para la mitigación de temperaturas extremas	Temperaturas en las viviendas
Contaminación del medio ambiente	Concientización sobre la demanda de eficiencia energética sostenible	Preferencia por biomateriales
Selección de materiales, materiales no aptos para las necesidades actuales	Deterioro en la eficiencia habitacional en las viviendas	Reducción en el confort térmico y acústico.
Tradiciones constructivas	Resistencia a la implementación de nuevos materiales	Aumento de consumo energético.
Costos elevados de aislantes convencionales	Búsqueda de alternativas económicas y eficientes	Necesidad en la investigación de materiales aislantes
Elaboración del biomaterial aislante	Aplicación y uso del biomaterial	Rendimiento de la aislación térmico y acústica

Tabla 1 Operacionalización de Variables. Fuente: Elaboración propia

Según la definición se realiza la siguiente tabla de operacionalización de las variables teniendo en cuenta el concepto, dimensión, las variables, definición conceptual e instrumento de medición. Se enfatiza las variables dependientes en la siguiente tabla:

CONCEPTO	DIMENSIÓN	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Eficiencia aislamiento térmico	Comportamiento térmico interno	Temperatura interna	Capacidad de un material para retener el calor	Someter al material a fuentes de frío y calor extremo.	Termómetro
Eficiencia Aislamiento acústico	Capacidad de reducción del ruido	Reducción del sonido en el interior	Capacidad de un material para reducir la transmisión de sonido	Exposición del biomaterial al ruido controlado	Sonómetro
Características del biomaterial	Propiedades físicas	Humedad	Cantidad de agua presente en un material	Medición del contenido de humedad mediante el higrómetro	Higrómetro
		Densidad	Masa del material por la unidad de volumen	Medición de la masa en una balanza y cálculo de sus dimensiones	Balanza y flexómetro.
Seguridad del material	Resistencia al fuego	Tiempo de resistencia al fuego	Capacidad del material para resistir y retardar la propagación del fuego	Medición del tiempo que el material puede resistir en exposición al fuego.	Cronómetro.

Tabla 2 Operacionalización de Variables Dependiente. Fuente: Elaboración propia

## **6. MARCO TÉCNICO Y PROCESO INVESTIGATIVO**

### **6.1. DISEÑO PRÁCTICO DE LA INVESTIGACIÓN**

Un diseño de investigación puede ser definido como una estructura u organización esquematizada que adopta el investigador para relacionar y controlar las variables de estudio. El objetivo de cualquier diseño es imponer restricciones controladas a las observaciones de los fenómenos. (Carlessi, 2015)

Según la clasificación de diseños de investigación, por defecto de las variables, esta investigación tiende a ser multivariada, por defecto del método empleado tiende a ser descriptivo comparativo. Por lo cual se manejará de la siguiente manera teniendo en cuenta que la investigación tiene un enfoque mixto.

#### **6.1.1. DISEÑO EXPERIMENTAL COMPLETAMENTE ALEATORIZADO**

**Prototipos:** Se elabora tres prototipos diferentes de Biomaterial (A, B y C) serán sometidos a pruebas para verificar su eficacia.

**Pruebas:** Cada prototipo será sometido a pruebas para determinar la mejor opción para su aplicación en viviendas.

#### **6.1.2. DESARROLLO DE PROTOTIPOS**

El proceso comenzará con la fabricación de pequeñas muestras y prototipos preliminares, cada uno diseñado para probar diferentes combinaciones de materiales, estructuras y técnicas de elaboración. Estas elaboraciones iniciales permitirán una evaluación detallada de cómo cada variación en el diseño impacta la estructura del biomaterial. A través de una serie de observaciones, se analizarán las propiedades de cada prototipo. Este enfoque progresivo asegura que se identifiquen las configuraciones óptimas antes de desarrollar el prototipo final. Solo una vez que los resultados sean satisfactorios y consistentes se avanzará hacia la producción del

prototipo ideal, que será sometido a pruebas de la eficiencia como aislante térmico acústico, para confirmar su rendimiento bajo condiciones reales de uso en una vivienda, asegurando que cumpla con los estándares deseados de confort térmico y acústico.

### **6.1.3. ANÁLISIS COMPARATIVO**

Se realizará un análisis comparativo entre los prototipos que evaluados.

**Análisis de Resultados:** Los datos serán analizados para determinar cuál prototipo ofrece mejor aislamiento térmico y eficiencia energética.

**Comparación de Resultados:** Se compararán los niveles de confort reportados con las mediciones objetivas (temperatura, humedad) para validar la efectividad de biomaterial aislante.

### **6.1.4. PROCESO ITERATIVO**

**Primer Ciclo:** Los resultados iniciales mostrarán cuál prototipo es más efectivo en términos de aislamiento térmico y confort.

**Ajustes:** Se realizarán mejoras basadas en estos resultados, como cambiar la composición de materiales o el espesor de los paneles.

**Segundo Ciclo:** Se probará la versión ajustada del prototipo en un nuevo ciclo de experimentación y aplicación.

## **6.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO**

### **6.2.1. OBJETIVO DE ESTUDIO**

Seleccionar y caracterizar una muestra representativa de zero que permita evaluar de manera precisa y confiable las propiedades físicas, térmicas y acústicas del biomaterial, asegurando la validez y generalización de los resultados obtenidos en el estudio.

### **6.2.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN**

- Criterios de inclusión: Biomaterial aislante firme para su manipulación y con las dimensiones correctas. Zuros de maíz que estén secos y en buen estado físico.
- Criterios de exclusión: Biomaterial aislante que no esté firme para su manipulación. Zuros de maíz que presenten humedad excesiva, signos de moho o deterioro físico significativo.

### **6.2.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA**

El tamaño de la muestra debe ser suficiente para asegurar la fiabilidad y validez de los resultados.

Se elaborará 10 paneles de biomaterial aislante por prototipo; 10 paneles prototipo A, 10 paneles prototipo B y 10 paneles prototipo C. Se emplearán 200 unidades de zuros de maíz para obtener una muestra representativa para realizar la investigación.

### **6.2.4. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO**

Se maneja el muestreo intencionado o por juicio en los paneles de biomaterial aislante en base de zuro y el muestreo aleatorio simple en la selección de zuros.

Muestreo intencionado o por juicio: Se selecciona deliberadamente los paneles de biomaterial aislante que se consideren aptos para ser sometidos a pruebas y su aplicación, basado en el conocimiento del proceso y los resultados de las pruebas.

Muestreo aleatorio simple: Seleccionar al azar zuros de maíz de diferentes lotes disponibles para asegurar que la muestra sea representativa de la población.

### **6.2.5. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE MUESTRA**

El biomaterial aislante basado en zuro de maíz surge como resultado de un proceso de investigación exhaustivo que ha involucrado la aplicación de diversos métodos investigativos.

Este enfoque mixto es esencial para asegurar una comprensión integral y detallada de las propiedades y el comportamiento del biomaterial en diferentes condiciones y aplicaciones.

Esta justificación de muestreo resalta la importancia de un enfoque metodológico combinado para desarrollar y validar el biomaterial, asegurando su eficacia y relevancia en el contexto de uso real.

La selección de muestra se ha realizado utilizando un muestreo aleatorio simple para garantizar que cada zuro de maíz tenga la misma probabilidad de ser seleccionado. Esto reduce sesgos y asegura que los resultados obtenidos sean generalizables a la población de estudio. El tamaño de la muestra de 200 zuros se ha determinado en base a estudios previos y criterios de fiabilidad estadística. (*Anexo Entrevista*)

#### 6.2.6. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA SELECCIONADA

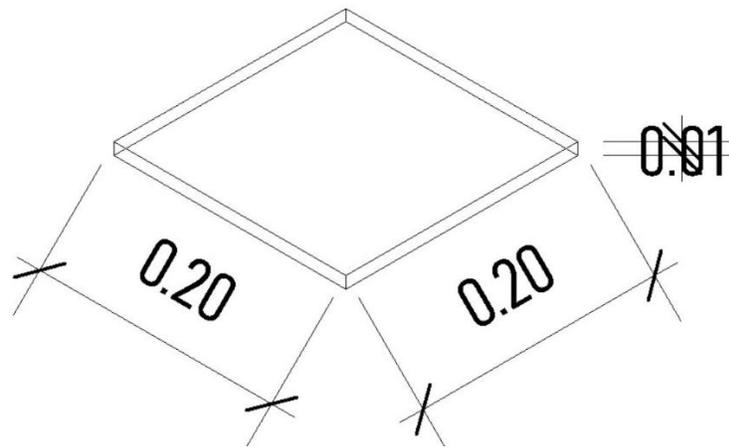


Ilustración 17 Dimensiones del panel. Fuente: Elaboración propia

La muestra del biomaterial aislante consiste en paneles con dimensiones de 20cm x 20cm con el grosor de 1cm.

La muestra seleccionada consistirá en 200 zuros de maíz secos, libres de contaminantes y en buen estado físico, obtenidos de diferentes lotes para asegurar la representatividad. Se realizarán pruebas de humedad y análisis visual para confirmar que cumplen con los criterios de inclusión.

### **6.3. RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **6.3.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**Termómetros:** Se utilizarán termómetros en distintas áreas de las viviendas o estructuras donde se aplique el biomaterial. Estos dispositivos medirán las variaciones de temperatura en el interior y exterior para evaluar la eficiencia térmica del biomaterial.



Ilustración 18 Termohigrómetro digital. Fuente: Elaboración propia

**Sonómetro:** Este se utilizará para medir la eficacia del biomaterial en el aislamiento acústico. Se llevarán a cabo pruebas en ambientes controlados, exponiendo el material a niveles de ruido y midiendo la reducción de sonido dentro de la estructura.



Ilustración 19 Sonómetro digital. Fuente: Elaboración propia

**Higrómetros:** Para evaluar cómo el biomaterial maneja la humedad, se utilizarán higrómetros que medirán el contenido de humedad en el material.



Ilustración 20 Higrómetro digital. Fuente: Elaboración propia

**Balanza:** Permite evaluar la densidad de los materiales individuales o del biomaterial final, un dato clave.



Ilustración 21 Balanza. Fuente: Elaboración propia

**Cronómetro:** utilizado cuando el biomaterial debe probarse bajo estrés continuo, el cronómetro permite evaluar su resistencia en intervalos definidos.



Ilustración 22 Cronómetro de teléfono celular. Fuente: Elaboración propia

**Encuestas:** Ayuda a medir el grado de aceptación del producto en la comunidad o mercado objetivo.

**Entrevistas:** Se aplicarán cuestionarios o entrevistas a los usuarios que brinden el material base (zuro).

### **6.3.2. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **Investigación Teórica:**

- **Revisión Bibliográfica Sistemática:** Se realizará un análisis exhaustivo de la literatura científica existente sobre biomateriales aislantes, enfocándose en estudios previos que hayan investigado las propiedades térmicas y acústicas de materiales similares al zuró.
- **Estudio de Teorías y Modelos:** Se incluirán análisis de teorías y modelos relacionados con el aislamiento térmico y acústico, evaluando su aplicabilidad al biomaterial a base de zuró. Este enfoque teórico ayudará a enmarcar los resultados empíricos dentro de un contexto científico más amplio.
- **Análisis Comparativo:** Compararás los datos obtenidos de la investigación empírica con resultados y conclusiones de estudios teóricos previos, lo que permitirá identificar consistencias o discrepancias y ajustar las hipótesis de la investigación.

**Observación Directa:** Se hará un seguimiento continuo al proceso de elaboración y del desempeño del biomaterial en condiciones reales de uso, registrando datos periódicamente. Esto incluirá la medición de temperaturas, niveles de ruido y humedad a lo largo del tiempo y bajo diversas condiciones climáticas.

**Experimentos Controlados:** Además de la observación directa, se realizarán experimentos en condiciones controladas para comparar el rendimiento de diferentes formulaciones del biomaterial, observando cómo cada una responde a condiciones idénticas.

### **6.3.3. CODIFICACIÓN DE DATOS**

**Codificación Cuantitativa:** Los datos de los instrumentos de medición (temperatura, nivel de ruido, humedad) se registrarán de manera numérica en bases de datos estructuradas, permitiendo una fácil identificación y análisis posterior.

**Codificación Cualitativa:** Los hallazgos teóricos se organizarán en temas clave que reflejen conceptos fundamentales, teorías relevantes y modelos aplicables al estudio del biomaterial. Estos temas se integrarán con los datos empíricos para proporcionar una comprensión más completa del fenómeno creando categorías temáticas que reflejen la percepción de la investigación sobre el confort térmico y acústico.

### **6.3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

**Análisis Descriptivo:** Este análisis resumirá los datos obtenidos, proporcionando promedios, rangos y distribuciones de temperatura, niveles de ruido y humedad en las muestras del biomaterial.

**Comparación de grupos:** Se compara prototipos con distintas proporciones de materiales (por ejemplo, más o menos zero), para evaluar si las diferencias en las propiedades son estadísticamente significativas.

## **6.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS CIENTÍFICOS**

### **6.4.1. EXPLORACIÓN**

En la fase de exploración se dispone a conocer las composiciones y propiedades químicas de cada material que compondrá el biomaterial mediante la revisión bibliográfica exhaustiva.

## Zuro de maíz

Celulosa (40-50%): Es el principal componente estructural del zuro, un polímero natural compuesto por unidades de glucosa unidas por enlaces  $\beta$ -1,4. La celulosa es resistente a la degradación química y proporciona estabilidad estructural al material.

Hemicelulosa (25-30%): Es un grupo heterogéneo de polisacáridos que incluye xilanos y glucomananos. A diferencia de la celulosa, la hemicelulosa es más amorfa y soluble en soluciones alcalinas. Proporciona flexibilidad y contribuye a la capacidad de absorción de agua del zuro.

Lignina (10-15%): Es un polímero aromático complejo que confiere rigidez y resistencia a la degradación biológica. La lignina actúa como un agente de refuerzo natural y también contribuye a la resistencia al fuego del zuro.

Extractivos (6-8%): Incluyen compuestos fenólicos, ácidos grasos y ceras. Estos componentes menores influyen en la resistencia del marlo a los ataques de microorganismos y su estabilidad frente a la humedad. (Sun, 2004)

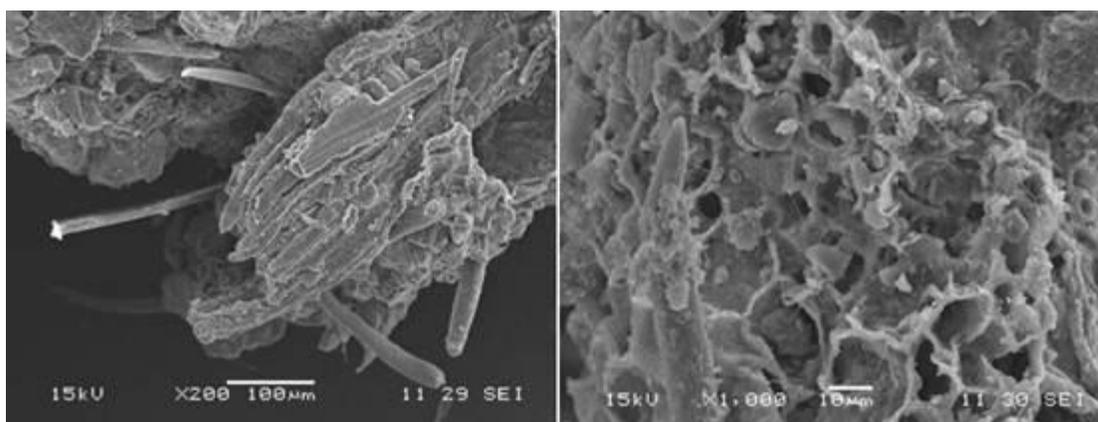


Ilustración 23 Micrografía del zuro. Fuente: Quaranta, N., Varoli, R., Caligaris, M., & Cristóbal, A. (2023).

## **Celulosa de Cartón**

Celulosa (>95%): Como en el zuro de maíz, la celulosa en el cartón es un polímero de glucosa, lo que le otorga propiedades similares de estabilidad estructural y resistencia química. La celulosa en el cartón suele estar más refinada, lo que puede aumentar su pureza y capacidad de formar enlaces hidrógeno, contribuyendo a la cohesión del material.

Hemicelulosa (variable, generalmente <5%): Presente en menor proporción que en el marlo de maíz, la hemicelulosa en el cartón sigue contribuyendo a la flexibilidad y la absorción de humedad.

Lignina (trazas): A diferencia del zuro de maíz, el cartón generalmente contiene muy poca lignina, lo que lo hace más susceptible a la degradación por microorganismos y menos resistente al fuego si no se trata con aditivos. (Poletto, 2013)

## **Ácido Bórico**

Boro (B): El ácido bórico contiene aproximadamente 17% de boro en su composición. El boro es un metaloide que tiene propiedades únicas, como la capacidad de fortalecer las estructuras moleculares y mejorar la resistencia al fuego.

Grupos Hidroxilo (OH): El ácido bórico posee tres grupos hidroxilo que están unidos al átomo de boro. Estos grupos son responsables de su comportamiento ácido débil y su capacidad para formar enlaces de hidrógeno con otras moléculas, lo que contribuye a la cohesión y estabilidad del biomaterial.

Propiedades Antisépticas y Fungicidas: El ácido bórico es conocido por sus propiedades antisépticas y fungicidas, lo que lo convierte en un excelente aditivo para prevenir el crecimiento

de moho y otros microorganismos en el biomaterial aislante. Esto mejora la durabilidad y la vida útil del material en condiciones ambientales adversas.

**Resistencia al Fuego:** El ácido bórico, cuando se calienta, libera vapor de agua y forma un residuo de óxido de boro, que actúa como una barrera protectora contra el fuego. Esto contribuye a las propiedades ignífugas del biomaterial. (Dyer, 1973)

### **Almidón de Maíz**

**Amilosa (20-30%):** Es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4. La amilosa tiene una alta tendencia a retrogradarse y formar una estructura cristalina, lo que influye en la firmeza y la cohesión del biomaterial.

**Amilopectina (70-80%):** Es un polímero ramificado de glucosa con enlaces  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6. La amilopectina es menos propensa a la retrogradación y proporciona propiedades de gelificación, que son esenciales para la cohesión y la estabilidad del biomaterial.

**Propiedades Reológicas:** El almidón de maíz, al ser hidratado y calentado, gelatiniza, es decir, las moléculas de almidón se hinchan y forman una red tridimensional que proporciona viscosidad y cohesión al material. (Tester, 2004)

### **Bicarbonato de Sodio**

**Sodio (Na<sup>+</sup>):** Contribuye a la alcalinidad del bicarbonato de sodio y puede actuar como un agente estabilizador en reacciones químicas dentro del biomaterial.

**Ión Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>):** Es responsable de la capacidad del bicarbonato de sodio para neutralizar ácidos, lo que es útil en la regulación del pH del biomaterial. Además, el bicarbonato

de sodio puede descomponerse a temperaturas elevadas para formar dióxido de carbono y agua, lo que puede proporcionar propiedades adicionales de resistencia al fuego.

Reactividad: El bicarbonato de sodio reacciona con ácidos para liberar CO<sub>2</sub>, que en un entorno controlado puede contribuir a la formación de una estructura porosa dentro del biomaterial, mejorando así sus propiedades de aislamiento térmico y acústico. (Chiou, 2005)

### **Lana de Oveja**

Proteína (queratina 94-97%): Es el componente predominante, formada principalmente por aminoácidos como cisteína, glicina, alanina y serina. La alta proporción de cisteína (con enlaces disulfuro) es responsable de la elasticidad y resistencia de la fibra.

La queratina, como componente principal, tiene la siguiente distribución de elementos en su estructura molecular:

- \*Carbono (C)\*: ~50-52%
- \*Oxígeno (O)\*: ~21-25%
- \*Nitrógeno (N)\*: ~16-17%
- \*Hidrógeno (H)\*: ~6-7%
- \*Azufre (S)\*: ~3-5%

Agua (1-2%): Incluso en condiciones secas, la lana retiene un pequeño porcentaje de agua debido a su naturaleza higroscópica.

Lípidos (grasas naturales 0.5-1%): Los lípidos presentes son restos de las grasas naturales de la fibra que no han sido completamente eliminados durante el proceso de limpieza. Estos ayudan a la suavidad y flexibilidad de la lana.

Minerales y cenizas (0.5-1%): Incluyen trazas de elementos como calcio, magnesio, potasio y fósforo, que son intrínsecos a la fibra proteica. (Banasaz, 2024)

### **Cal Viva**

Óxido de Calcio (CaO): La cal viva es un compuesto altamente reactivo, producido mediante la calcinación de piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) para eliminar el dióxido de carbono. El óxido de calcio tiene una alta capacidad para reaccionar con el agua, transformándose en hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), lo que es crucial en la estabilización y endurecimiento del biomaterial.

Reactividad con el Agua: Al reaccionar con agua, la cal viva se hidrata y forma hidróxido de calcio, una reacción exotérmica que libera una cantidad significativa de calor. Este proceso de hidratación no solo estabiliza el material, sino que también puede contribuir a la reducción del contenido de humedad dentro del biomaterial.

Propiedades Alcalinas: La cal viva es altamente alcalina, lo que le otorga propiedades antimicrobianas y antifúngicas, similares a las del ácido bórico. Esto ayuda a proteger el biomaterial contra la degradación biológica.

Capacidad de Absorción de  $\text{CO}_2$ : Con el tiempo, el hidróxido de calcio formado a partir de la cal viva puede reaccionar con el dióxido de carbono en el aire para formar carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), un proceso que puede contribuir a la estabilidad y dureza del biomaterial aislante. (Boynton, 1980)

#### **6.4.2. EVALUACIÓN**

Se verifica que las características principales de cada material cumplan con los requisitos específicos para la fabricación del biomaterial aislante. Considerando la calidad y funcionalidad.

##### **Zuro de maíz**

Ventajas:

El zuro combina rigidez estructural y flexibilidad, debido a su estructura fibrosa es idóneo para el aislamiento térmico y acústico por la cantidad de hemicelulosa.

El comportamiento térmico refleja una baja conductividad térmica, debido a su estructura porosa y fibrosa rica en celulosa y hemicelulosa, sugiere que este material es eficaz en la reducción de la transferencia de calor. Esto lo hace ideal para su uso como componente principal en un aislante térmico.

El uso de zuro, un subproducto agrícola, contribuye a la sostenibilidad del biomaterial al reutilizar residuos que de otro modo se desecharían.

Limitaciones:

La alta capacidad de absorción de agua por la hemicelulosa puede requerir tratamientos adicionales para evitar deterioros en ambientes húmedos.

##### **Celulosa de Cartón**

Ventajas:

Su pureza proporciona cohesión y mayor resistencia estructural. Es un material liviano, lo que reduce el peso del biomaterial final.

La estructura fibrosa de la celulosa permite atrapar aire, mejorando la retención de calor.

El cartón reciclado es una fuente de celulosa, lo que hace que este componente sea fácilmente accesible y sostenible.

Limitaciones:

La baja presencia de lignina reduce la resistencia al fuego, lo que podría compensarse con otros aditivos como ácido bórico o cal viva.

### **Ácido Bórico**

Ventajas:

El ácido bórico actúa como un retardante de fuego al liberar vapor de agua cuando se calienta y formar una capa de óxido de boro, que protege el material.

El ácido bórico inhibe el crecimiento de hongos y bacterias con gran propiedad antimicrobiana e insecticida.

Limitaciones:

Su efectividad depende de su correcta dispersión en el biomaterial para garantizar una cobertura uniforme.

### **Almidón de Maíz**

Ventajas:

El almidón de maíz, actuando como aglutinante natural, mejora la cohesión entre las partículas, proporcionando estabilidad estructural.

Limitaciones: Puede ser vulnerable a la biodegradación en condiciones húmedas, lo que requiere combinarlo con materiales antimicrobianos como el ácido bórico.

## **Bicarbonato de Sodio**

### Ventajas:

Su capacidad para crear estructuras porosas mejora las propiedades aislantes térmicas y acústicas del biomaterial.

El bicarbonato de sodio ayuda a mantener un pH equilibrado, lo que puede prevenir la corrosión de otros componentes y mejorar la durabilidad del material.

### Limitaciones:

El control de las proporciones es clave para evitar inestabilidad estructural durante el proceso de fabricación.

## **Lana de Oveja**

### Ventajas:

Es un excelente aislante térmico.

Regula la humedad, evitando condensaciones.

### Limitaciones:

Su composición proteica podría atraer microorganismos si no se combina con agentes antimicrobianos como la cal viva o el ácido bórico.

## **Cal Viva**

### Ventajas:

Contribuye a la estabilidad química y protege contra la degradación biológica.

Capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> refuerza la durabilidad.

Limitaciones:

Su reacción exotérmica requiere manejo cuidadoso durante el proceso de mezcla.

### **6.4.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS**

Se procesan los datos obtenidos con anterioridad para determinar como la interacción de los materiales generan las propiedades del biomaterial aislante.

#### **Identificación de fortalezas clave**

- Aislantes térmicos y acústicos: La lana de oveja, el bicarbonato de sodio (porosidad) y el almidón de maíz (cohesión estructural) son esenciales para garantizar estas propiedades en el biomaterial.

- Propiedades estructurales: La celulosa del zuro de maíz y el cartón destaca como el principal componente estructural, mientras que la lignina y la queratina en la lana de oveja aportan rigidez y elasticidad.

- Propiedades ignífugas: El ácido bórico y la lignina son las principales fuentes de resistencia al fuego, con la cal viva aportando una capa adicional de protección mediante la formación de carbonato de calcio.

#### **Compatibilidad general**

La compatibilidad general entre los materiales propuestos para el biomaterial se desenvuelve en cómo sus propiedades químicas, físicas y funcionales se complementan, permitiendo el desarrollo de un compuesto cohesivo, estable y funcional.

- Propiedades térmicas y acústicas

Zuro: El zuro de maíz posee una baja conductividad térmica debido a su composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina. Estas fibras naturales forman una matriz porosa que reduce la transferencia de calor, actuando como un excelente aislante térmico. Su capacidad para retener aire en sus cavidades internas refuerza su efectividad como aislante, ya que el aire atrapado es uno de los mejores materiales para minimizar la conducción térmica.

Gracias a su estructura fibrosa y porosa, el zuro absorbe y disipa el sonido, reduciendo significativamente la transmisión de ruido. Esta capacidad lo convierte en un material ideal para el aislamiento acústico en entornos constructivos. La combinación de celulosa y lignina en su composición contribuye a dispersar las ondas sonoras, logrando un efecto de amortiguación que mejora la calidad acústica.

Celulosa de cartón: La celulosa tiene un excelente comportamiento como aislante térmico, principalmente por su capacidad para atrapar aire en su estructura fibrosa. Esto la hace eficiente para reducir la transferencia de calor por conducción.

La celulosa tiene una estructura que favorece la absorción del sonido, especialmente en frecuencias medias y altas.

Lana de oveja: Su estructura fibrosa y porosa proporciona excelentes propiedades aislantes, reteniendo aire y reduciendo la transferencia de calor y sonido.

Bicarbonato de sodio: Al generar CO<sub>2</sub> durante el proceso de fabricación, crea microestructuras porosas en el biomaterial, que mejoran la aislación térmica y acústica.

- Complementariedad estructural y cohesión

Celulosa del zuro y cartón: Ambos materiales aportan rigidez y estabilidad estructural gracias a su alta proporción de celulosa, un polímero lineal que forma redes fuertes. La celulosa también interactúa favorablemente con otros polímeros presentes, como la hemicelulosa y la lignina del zuro, creando un marco sólido.

Almidón de maíz: Actúa como aglutinante, ya que su gelatinización al mezclarse con agua y calor permite formar enlaces con la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, reforzando la cohesión entre las fibras.

Lana de oveja: La queratina, con sus enlaces disulfuro, aporta elasticidad y resistencia, complementando la rigidez de los materiales celulósicos. Esto equilibra la estructura, proporcionando flexibilidad sin comprometer la estabilidad.

- Resistencia al fuego y degradación biológica

Ácido bórico y cal viva: Estos materiales son esenciales para proteger el biomaterial contra el fuego y la biodegradación. El ácido bórico mejora la resistencia al fuego al formar una barrera protectora cuando se calienta, mientras que la cal viva, debido a su alta alcalinidad, inhibe el crecimiento de microorganismos.

Lignina: Su resistencia intrínseca al fuego complementa la acción del ácido bórico, aumentando la durabilidad del biomaterial.

Lana de oveja: Aunque es un material orgánico, la queratina es intrínsecamente resistente a microorganismos debido a su estructura compacta y enlaces cruzados. Este efecto se refuerza al interactuar con los agentes protectores como la cal viva y el ácido bórico.

- Regulación de la humedad y estabilidad

Lana de oveja: Su capacidad higroscópica permite absorber y liberar humedad sin perder sus propiedades térmicas, ayudando a regular el contenido de agua en el biomaterial.

Cal viva: Su capacidad para transformarse en hidróxido de calcio al reaccionar con el agua y posteriormente en carbonato de calcio estabiliza el material, reduciendo la humedad en su interior.

Hemicelulosa y lignina: Aunque la hemicelulosa es más sensible a la humedad, la lignina actúa como un estabilizador, mitigando los efectos negativos de la absorción de agua.

- Interacciones químicas y sinergias

Cal viva y ácido bórico: Ambos materiales alcalinos potencian la resistencia biológica y química del biomaterial, creando un entorno inhóspito para microorganismos.

Celulosa, lignina y almidón: La interacción entre estos polímeros genera una red cohesiva con propiedades mecánicas mejoradas. La lignina refuerza la matriz, mientras que el almidón facilita la unión durante el proceso de fabricación.

Bicarbonato de sodio y almidón: La liberación de CO<sub>2</sub> durante la activación térmica del bicarbonato interactúa con la red gelatinizada del almidón, optimizando la formación de poros y estabilizando la estructura.

- Sostenibilidad e impacto ambiental

Todos los materiales son renovables y/o biodegradables, alineándose con los principios de sostenibilidad. La cal viva, aunque requiere energía en su producción, contribuye a la durabilidad del biomaterial, extendiendo su vida útil y reduciendo su huella ambiental.

La integración de subproductos como el zuro de maíz y el cartón reciclado fomenta la economía circular, minimizando el desperdicio.

#### **6.4.4. VALIDEZ**

**Validez Interna:** Los experimentos fueron controlados cuidadosamente para garantizar que las variaciones en los resultados se deban únicamente a las modificaciones en la composición del biomaterial.

**Validez Externa:** Los resultados obtenidos son consistentes con los reportados en la literatura científica, lo que sugiere que los hallazgos pueden ser generalizables a otras aplicaciones de biomateriales aislantes.

**Validez de Constructo:** Los indicadores seleccionados, como conductividad térmica, resistencia mecánica y absorción acústica, están alineados con el objetivo de evaluar la eficacia del biomaterial como aislante.

#### **6.4.5. CONFIABILIDAD**

**Repetibilidad:** Las pruebas de comportamiento térmico, reducción del ruido fueron repetidas varias veces, mostrando una alta consistencia en los resultados.

#### **6.4.6. INTERPRETACIÓN DE DATOS**

**Eficiencia del Biomaterial:** Los datos sugieren que el biomaterial a base de zuro, celulosa de cartón, almidón de maíz, ácido bórico y bicarbonato de sodio tiene un excelente potencial como aislante térmico y acústico.

**Sostenibilidad:** La utilización de estos componentes, muchos de los cuales son subproductos agrícolas y material reciclado, hace que el biomaterial sea una opción ecológica y sostenible.

**Aplicabilidad:** El biomaterial puede ser utilizado en la construcción para mejorar la eficiencia energética de las viviendas, especialmente en el aislamiento térmico y acústico.

Este análisis proporciona una visión integral del biomaterial aislante a base de zuro y otros componentes, evaluando su desempeño y potencial en aplicaciones prácticas.

## 6.5. PROCESO DE ELABORACIÓN

### 6.5.1. ZURO

**Obtención y Clasificación:** El procedimiento empieza desde la obtención del material.



Ilustración 24 Obtención zuro post desgranado de maíz. Fuente: Elaboración propia  
Se sigue con la clasificación de los zuros utilizando los que se encuentran en mejor condición.

**Limpieza del Zuro:** Se activa Cal Viva para sumergir los zuros en esta.

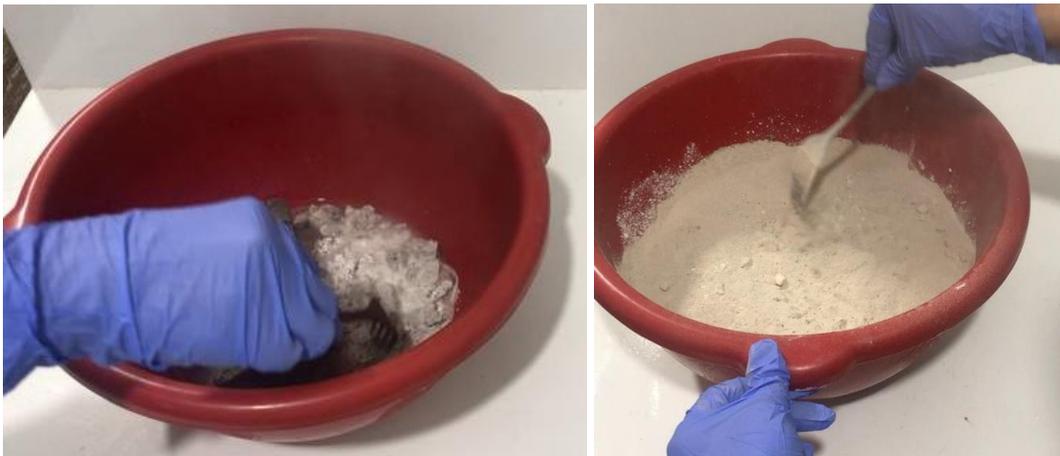


Ilustración 25 Activación cal viva. Fuente: Elaboración propia.

Se deja reposar por lo menos 24 horas, para que el zuro quede limpio de toda materia orgánica viva, así reduciendo en su totalidad que el zuro pueda descomponerse. Pasado las 24 horas se procede a lavar el zuro con agua. Después de lavarlo el zuro toma un color amarillento y se deja secar al Sol.



Ilustración 26 Zuro post limpieza con cal viva. Fuente: Elaboración propia.

Esta etapa de secado varía el tiempo dependiendo a la estación que nos encontremos, este caso por estar en invierno se tomó más de 5 días.

**Tratado:** Después de la limpieza del zuro, en agua hirviendo se añade el ácido bórico para activarlo y posteriormente sumergir los zuros para que absorban sus propiedades ignífugas.



Ilustración 27 Ácido bórico en agua hirviendo. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 28 Zuro post tratado ácido bórico. Fuente: Elaboración propia.

**Triturado del zuro:** Una vez el zuro esté totalmente seco se prosigue a golpearlo con una piedra limpia para trocearlo en pedazos pequeños. Se utilizó un molidor de grano manual para regular un solo tamaño.



Ilustración 29 Triturado con piedra. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 30 Triturado con molino de grano manual. Fuente: Elaboración propia.

**Clasificación de Granulometría:** Cuando el zuro ya se encuentre molido, se clasifica por tamaños, esto se hace mediante filtros de diferente gramaje.



Ilustración 31 Clasificación de gramajes. Fuente: Elaboración propia

Luego de la clasificación se separan los gramajes del zuro. En este caso una clasificación de 8mm a 4mm y otra de 3mm a 0mm.



Ilustración 32 Zuro gramaje de 8mm a 4mm. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 33 Zuro gramaje 3mm a 0mm. Fuente: Elaboración propia.

## 6.5.2. AGLOMERANTE

**Obtención de cartón:** Se recoge cartón en desuso para la obtención de celulosa.



Ilustración 34 Cartón en desuso. Fuente: Elaboración propia.

**Triturado de cartón:** Se corta en trozos pequeños el cartón con las manos para después licuarlo con agua en proporciones 50% y 50% y tener trozos más pequeños.



Ilustración 35 Triturado de cartón en licuadora. Fuente: Elaboración propia.

Se deja en reposo por la temporada de un día.

**Tratado:** Para estabilizar la celulosa se utiliza el ácido bórico para la adherencia, además para convertirlo en un material ignífugo, se añade el ácido bórico cuando el agua de la celulosa esté hirviendo.



Ilustración 36 Celulosa de cartón tratado con ácido bórico. Fuente: Elaboración propia.

**Materiales añadidos:** A la celulosa de cartón se le añadió el almidón de maíz y bicarbonato de sodio para hacer un aglomerante más consistente. Estos nuevos materiales añadidos representan el 40% del aglomerante es decir que el aglomerante se compone de 60% celulosa de cartón y 40% de almidón de maíz con bicarbonato de sodio.



Ilustración 37 Mezcla Celulosa de cartón con almidón de maíz. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 38 Implementación bicarbonato de sodio. Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.3. BIOMATERIAL PROTOTIPOS

#### Combinación de materiales

Todos los prototipos se medirán y pesarán en base a un decímetro cúbico. Se mezclarán los materiales en las siguientes proporciones:

Prototipo A: 25% Zuro 75% Celulosa de Cartón y almidón de maíz.

Prototipo B: 50% Zuro 50% Celulosa de Cartón y almidón de maíz.

Prototipo C: 75% Zuro 25% Celulosa de Cartón y almidón de maíz.

Se obtendrán 3 muestras de material aislante.

## Prototipo A



Ilustración 39 Masas y proporciones del prototipo A. Fuente: Elaboración propia

El 25% de zuro tiene una masa de 75gr en un decímetro cúbico.

El 75% de celulosa de cartón y almidón de maíz tiene una masa de 788gr en un decímetro cúbico.

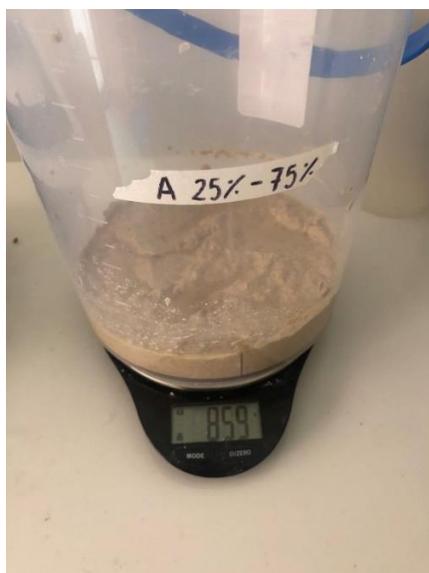


Ilustración 40 Mezcla uniforme del prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

## Prototipo B



Ilustración 41 Masas y proporciones del prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

El 50% de zuro tiene una masa de 178gr en un decímetro cúbico.

El 50% de celulosa de cartón y almidón de maíz tiene una masa de 564gr en un decímetro cúbico.

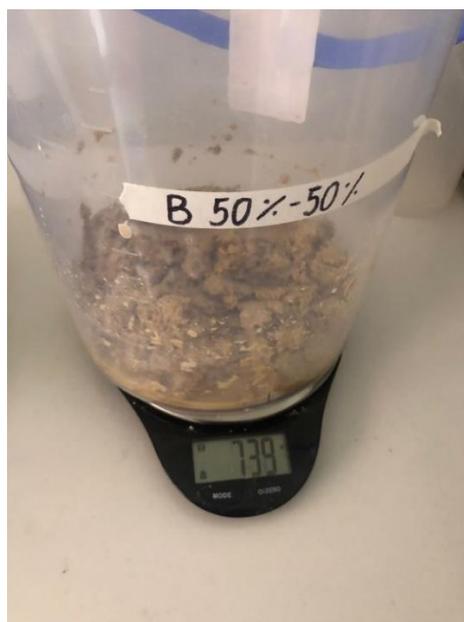


Ilustración 42 Mezcla uniforme del prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

## Prototipo C



Ilustración 43 Masas y proporciones del prototipo C. Fuente: Elaboración propia.

El 75% de zuro tiene una masa de 294gr en un decímetro cúbico.

El 25% de celulosa de cartón y almidón de maíz tiene una masa de 253gr en un decímetro cúbico.

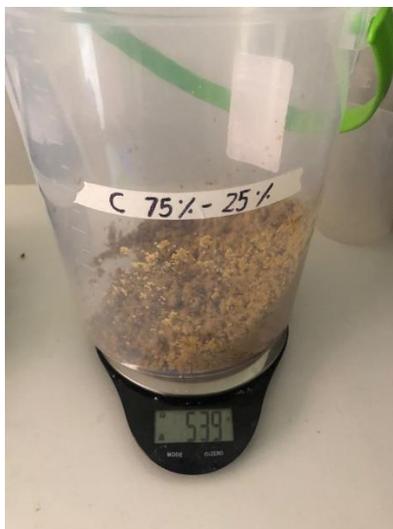


Ilustración 44 Mezcla uniforme del prototipo C. Fuente: Elaboración propia.

**Moldaje del Biomaterial:** Se utiliza un molde metálico de medidas 20cm ancho y 20 cm largo. Donde se vaciará la mezcla y se hará presión con fuerza manual.



Ilustración 45 Moldaje a presión manual. Fuente: Elaboración propia.

Bajo el requerimiento necesario en la investigación se realizó una prensa manual única para utilizarla en la elaboración del biomaterial.



Ilustración 46 Moldaje en prensa. Fuente: Elaboración propia.

**Secado del Biomaterial:** En un horno de cocina a 180 C°, se introducen a en bandejas a dos paneles por 45min por lado con el peso de ladrillos gambote para evitar que se pandeen.



Ilustración 47 Secado en horno de cocina. Fuente: Elaboración propia.

### **Obtención final**



Ilustración 48 Paneles finales prototipo A y B. Fuente: Elaboración propia.

#### **6.5.4. OPTIMIZACIÓN BIOMATERIAL FINAL**

De acuerdo al diseño de investigación, haciendo mención al proceso iterativo y concluido el primer ciclo, se da avance a los ajustes del prototipo B que demostró superioridad en las pruebas.

Dentro de los ajustes en su elaboración se encuentran los siguientes:

##### **Zuro**

El proceso de obtención, limpieza, tratado secado y clasificación no se hicieron cambios. En el proceso de triturado cambio de manual a eléctrico, con una trituradora adaptada.



Ilustración 49 Triturado de zuro. Fuente: Elaboración propia.

##### **Aglomerante**

El ajuste dentro de esta etapa se refiere a los materiales añadidos, donde se reduce de 40% la mezcla del almidón de maíz y bicarbonato de sodio a un 10%, es decir un 90% de celulosa de cartón y 10% de materiales añadidos.

## Biomaterial Final

De acuerdo a las conclusiones del primer ciclo se utiliza los porcentajes de 50% Zuro y 50% Aglomerante.

Se adaptó a la prensa un gato hidráulico para garantizar un moldaje óptimo. Donde también se hizo un diseño de un lado para que el panel tenga mejor adherencia al aplicarlo.



Ilustración 50 Prensa con gato hidráulico. Fuente: Elaboración propia.

Se añade 5gr de lana de oveja, que sigue un proceso de limpieza, tratado y secado. Este material no está mezclado con los demás que componen el zuro o aglomerante sino se incorpora al momento del moldaje entre dos capas del biomaterial.



Ilustración 51 Lana de Oveja limpia y aplicación. Fuente: Elaboración propia.

Para el secado se utiliza un horno industrial, que reduce el tiempo el tiempo de secado de cada panel.



Ilustración 52 Horno Industrial. Fuente: Elaboración propia.

### **Obtención Final**

Como resultado tenemos un panel aún más liviano.



Ilustración 53 Biomaterial final (Panel). Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.6. APLICACIÓN

Para la aplicación del biomaterial se utiliza pegamento de cerámica impermeable.



Ilustración 54 Pegamento cerámico. Fuente: Elaboración propia.

Se aplica la mezcla de manera uniforme sobre el muro y de igual manera sobre el panel, se ejerce una presión al momento de colocar el panel al muro.



Ilustración 55 Aplicación biomaterial. Fuente: Elaboración propia.

## **6.6. OBSERVACIONES Y PRUEBAS**

### **6.6.1. VERSIONES PRELIMINARES FALLIDAS**

#### **Zuro con gramaje de 8mm a 4mm con celulosa de cartón**



Ilustración 56 Prototipo fallido gramaje 8mm a 4mm. Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un prototipo con este gramaje de zuro y celulosa de cartón donde la muestra resultó ser fácil de quebrar con tal solo agarrándolo, debido al tamaño del zuro y la poca adherencia que tuvo con la celulosa.

#### **Panel de 50% zuro y 50% celulosa de cartón sin almidón de maíz**



Ilustración 57 Prototipo fallido con solo celulosa de cartón. Fuente: Elaboración propia.

Luego que se descartó la utilización del gramaje 8mm a 4mm en esta investigación, se procedió con la utilización del gramaje 3mm a 0mm. Donde se evidenció que la celulosa de cartón no podría estar como único material aglomerante del biomaterial.

### **Panel de 75% zuro 25% Celulosa de cartón y almidón de maíz**



Ilustración 58 Prototipo C partido. Fuente: Elaboración propia.

Des pues que se haya delimitado la investigación a solo utilizar el gramaje de 3mm a 0mm el prototipo de 75% Zuro y 25% Aglomerante resultó en agrietarse por la cantidad de zuro que no se pudo adherir lo suficiente.

De tal manera que el prototipo C se descarta en la fase de pruebas

### **Secado al sol**



Ilustración 59 Prototipos A y B expuestos al sol. Fuente: Elaboración propia.

Los prototipos A y B se expusieron al sol directo para su secado, el secado en el sol resulto ser un método que toma bastante tiempo y cuidados diarios de cualquier inconveniente del clima, a pesar de tomar todas las precauciones, los prototipos se pandearon y agrietaron.



Ilustración 60 Prototipos A y B secados al sol. Fuente: Elaboración propia.  
Aun así, resultaron ser livianos.



Ilustración 61 Masas de prototipos A y B secados al sol. Fuente: Elaboración propia.

## 6.6.2. PRUEBAS PRELIMINARES

Verificación del Starlite como opción para implementar al aglomerante.



Ilustración 62 Prueba al fuego Starlite. Fuente: Elaboración propia.

Demostró tener resistencia al fuego y no transmitir calor al otro lado haciendo una prueba de tacto.

Verificación mezcla de celulosa de cartón, almidón de maíz y bicarbonato de sodio.



Ilustración 63 Prueba del aglomerante final al fuego. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que el starlite demostró su resistencia al fuego dejando de un color negro, pero no incendiándolo, también no transmitiendo calor a la otra cara.

Se construyó dos cajas de melamina de 15mm con dimensiones interiores de 20cm x 20cm x 20cm, en donde se realizarán las pruebas de eficacia revistiendo con el biomaterial aislante.

Con esto se pretende ver la verdadera eficacia del biomaterial.



Ilustración 64 Construcción cajas de melamina. Fuente: Elaboración propia.

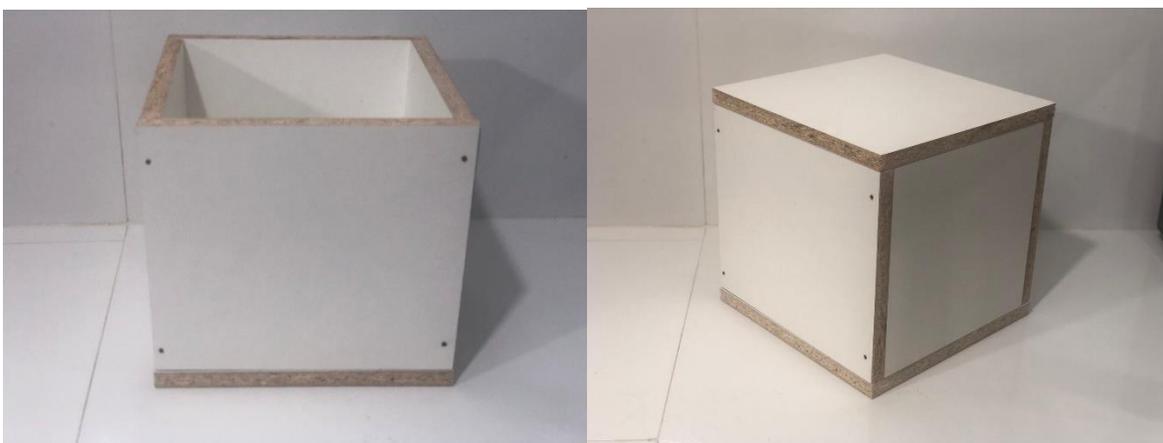


Ilustración 65 Caja de melamina. Fuente: Elaboración propia.

## Comportamiento térmico

En un frízer de un refrigerador se hace la medición del con dos termómetros. Donde ambos hacen la medición de  $-15.5\text{ oC}$ , se procede a introducir la caja de melamina para ver la diferencia de un termómetro dentro de la caja y otro fuera.



Ilustración 66 Medición temperatura en frízer caja de melamina. Fuente: Elaboración propia.

Donde los resultados antes de abrir el frízer son:



Ilustración 67 Diferencia de temperaturas en el frízer caja de melamina. Fuente: Elaboración propia.

La diferencia de temperatura que ofreció la caja de melamina es de  $11^{\circ}\text{C}$ , dentro del frízer.

En un horno de cocina previamente precalentado se pondrá la caja de melamina con un termómetro dentro y otro fuera para medir sus temperaturas.



Ilustración 68 Medición temperatura en horno de cocina caja de melamina. Fuente: Elaboración propia.

Donde las lecturas son:



Ilustración 69 Diferencia de temperaturas en horno de cocina caja de melamina. Fuente: Elaboración propia.

De 27.3 °C por fuera de la caja y de 20.3°C por dentro. Dando una diferencia de 7°C.

## Capacidad reducción del ruido

Se realizó la prueba con una alarma que alcanza los 130dB, la cual se introdujo en la caja y el sonómetro midió desde fuera.

Del mismo modo también se hizo la prueba con el sonómetro dentro de la caja y la alarma por fuera.

Los resultados son los siguientes:



Ilustración 70 Medición con sonómetro caja de melamina. Fuente: Elaboración propia.

1. Alarma dentro y sonómetro fuera. El ruido reduce 21.1dB
2. Alarma fuera y sonómetro dentro. El ruido se reduce 23.7dB

### 6.6.3. PRUEBAS REALIZADAS AL BIOMATERIAL.

#### Comportamiento térmico de biomaterial

Para realizar estas pruebas se requiere de los cubos de melamina revestidos con el material aislante.

- El horno de una cocina precalentado.
- El frízer de un refrigerador.
- Dos termómetros.

## Prototipo A

- Lecturas horno



Ilustración 71 Diferencia de temperaturas horno de cocina prototipo A. Fuente: Elaboración propia

Las lecturas son de 43.2°C fuera de la caja y de 19.8°C dentro de la caja revestida dando una diferencia de 23.4°C restando los 7°C que proporciona la caja, el material tiene la capacidad de reducir 16.4°C de la temperatura interna.

Calculando la sensación térmica exterior, relación de la temperatura con la humedad nos da un resultado de 42°C que refiere a una preocupación extrema.

Calculando la sensación térmica interna, relación de la temperatura con la humedad nos da un resultado de  $22.3^{\circ}\text{C}$  que refiere a un valor seguro sin riesgo de estrés térmico.

- Lecturas frízer

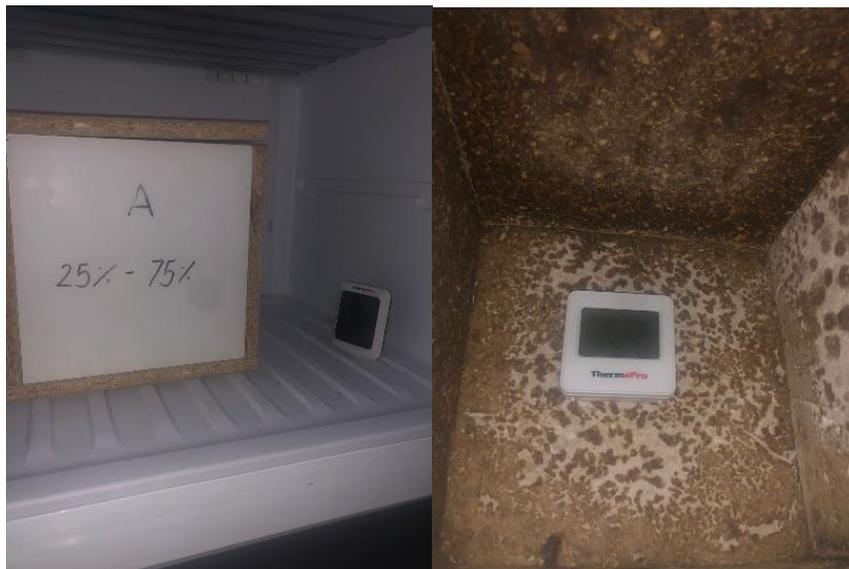


Ilustración 72 Diferencia temperaturas frízer prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

Las lecturas son de  $-10.8^{\circ}\text{C}$  fuera de la caja y de  $17.5^{\circ}\text{C}$  dentro de la caja revestida dando una diferencia de  $28.3^{\circ}\text{C}$  restando los  $11^{\circ}\text{C}$  que proporciona la caja el material tiene la capacidad de mantener  $17.3^{\circ}\text{C}$  de la temperatura interna.

Calculando la sensación térmica exterior en este ambiente con relación de la temperatura con la humedad nos da un resultado de  $-14.8^{\circ}\text{C}$

Calculando la sensación térmica interna, relación de la temperatura con la humedad nos da un resultado de  $19.3^{\circ}\text{C}$ .

## Prototipo B

- Lecturas horno



Ilustración 73 Diferencias temperaturas horno de cocina prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

Las lecturas son de 45.6°C fuera de la caja y de 18.3°C dentro de la caja revestida dando una diferencia de 27.3°C restando los 7°C que proporciona la caja el material tiene la capacidad de reducir 20.3°C de la temperatura interna.

Calculando la sensación térmica externa, relación de la temperatura con la humedad nos da un resultado de 44.8°C que refiere a una preocupación extrema.

Calculando el índice de calor interna, relación de la temperatura con la humedad nos da un resultado de 20.8°C.

– Lectura frízer



Ilustración 74 Diferencia temperaturas frízer prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

Las lecturas son de  $-17.0^{\circ}\text{C}$  fuera de la caja y de  $14.1^{\circ}\text{C}$  dentro de la caja revestida dando una diferencia de  $31.1^{\circ}\text{C}$  restando los  $11^{\circ}\text{C}$  que proporciona la caja el material tiene la capacidad de mantener  $20.1^{\circ}\text{C}$  de la temperatura interna.

Calculando la sensación térmica exterior en esta ambiente relación de la temperatura con la humedad nos da un resultado de  $-21.1^{\circ}\text{C}$

Calculando la sensación térmica interna, relación de la temperatura con la humedad nos da un resultado de  $15.2^{\circ}\text{C}$ .

## Capacidad reducción del ruido

Para realizar estas pruebas se requiere de los cubos de melamina revestidos con el material aislante.

- Una alarma de defensa personal de 130dB.
- Un sonómetro.



Ilustración 75 Cajas revestidas con los prototipos A y B. Fuente: Elaboración propia.

### Prototipo A



Ilustración 76 Medición con sonómetro dentro y fuera prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

Alarma dentro y sonómetro fuera. El ruido reduce 25.8dB, restando los decibeles que reduce la caja de melamina en sí.

Alarma fuera y sonómetro dentro. El ruido reduce 67.2 dB, restando los decibeles que reduce la caja de melamina en sí.

### **Prototipo B**

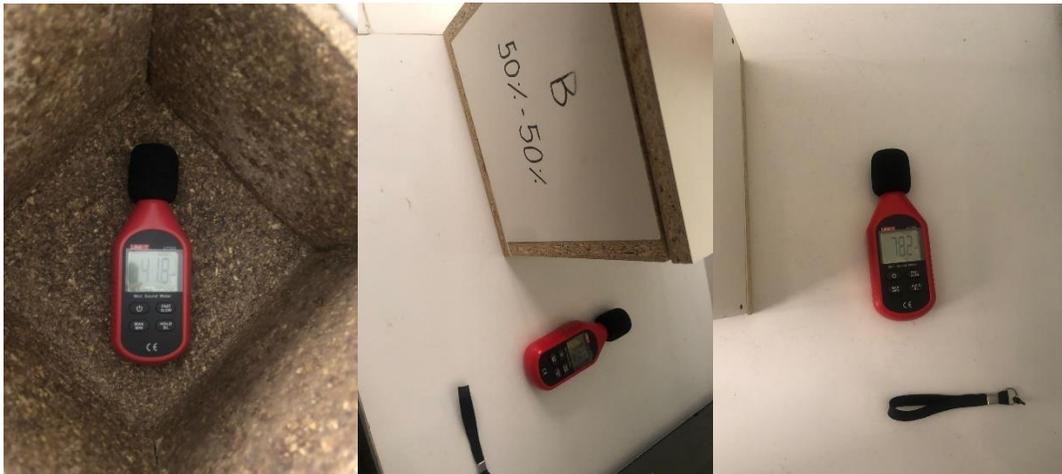


Ilustración 77 Medición con sonómetro dentro y fuera prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

Alarma dentro y sonómetro fuera. El ruido reduce 30.7dB, restando los decibeles que reduce la caja de melamina en sí.

Alarma fuera y sonómetro dentro. El ruido reduce 64.5 dB, restando los decibiles que reduce la caja de melamina en sí.

### **Humedad del biomaterial**

Para realizar estas pruebas se requiere.

- Prototipos de biomaterial A y B
- Higrómetro

## Prototipo A



Ilustración 78 Medición humedad del prototipo A. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la lectura del higrómetro la humedad final del material es de 1.2% indicando que es baja.

## Prototipo B



Ilustración 79 Medición humedad del prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la lectura del higrómetro la humedad final del material es de 1.2% indicando que es baja.

## Densidad del biomaterial

Para realizar estas pruebas se requiere.

- Prototipos de biomaterial A y B
- Balanza
- Calculadora

### Prototipo A



Ilustración 80 Masa del prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta que el prototipo A del biomaterial se encogió. Y que ahora tiene un volumen de  $342.25\text{cm}^3$  y una masa de 342gr.

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

Tiene una densidad de  $0.99\text{g/cm}^3$

## Prototipo B



Ilustración 81 Masa del prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta que el prototipo A del biomaterial se encogió. Y que ahora tiene un volumen de  $361\text{cm}^3$  y una masa de 251gr

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

Tiene una densidad de  $0.66\text{g/cm}^3$ .

## Resistencia al fuego

Para realizar esta prueba se hará uso de la hornalla de una cocina normal al fuego máximo que tenga. Se expondrá el biomaterial por un minuto y por diez minutos.

## Prototipo A

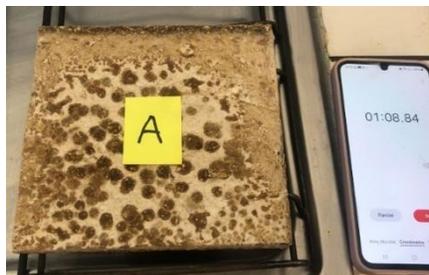


Ilustración 82 Exposición al fuego prototipo A. Fuente propia.



Ilustración 83 Prueba de tacto prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

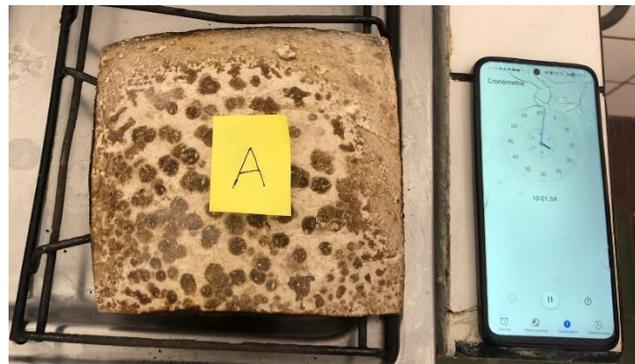


Ilustración 84 Exposición al fuego prolongada prototipo A. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 85 Resultado exposición al fuego prototipo A. Fuente: Elaboración propia

Se expuso el biomaterial a la llama viva de una hornalla de cocina a su máxima capacidad por un minuto. Posterior a la exposición se procedió inmediatamente a una prueba de tacto para certificar su baja conductividad térmica.

Después se volvió a someter el biomaterial a la llama viva de una hornalla de cocina a su máxima capacidad por diez minutos más.

### **Prototipo B**



Ilustración 86 Exposición al fuego prototipo B. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 87 Prueba de tacto prototipo B. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 88 Exposición al fuego prolongada prototipo B. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 89 Resultado exposición al fuego prototipo B. Fuente: Elaboración propia

### **Impacto ambiental**

Se utilizará el análisis de ciclo de vida ACV. En este caso el límite definido es de la cuna a la puerta, donde solo se considera hasta el proceso final de la producción. En la siguiente tabla se verá el inventario de ciclo de vida, tomando en cuenta lo que se utiliza por un metro cuadrado del biomaterial. (*Anexo Consumo de Energía*)

## Prototipo A

Material	Cantidad (kg)	Impactos considerados	Datos necesarios
Zuro	1,875	Transporte	Uso de agua
Celulosa de cartón	11.820	Transporte	Uso de agua
Ácido bórico	0.3	Producción y transporte	Energía producción.
Almidón de maíz	7.092	Procesamiento y transporte.	Usos fertilizantes, agua y energía procesamiento.
Bicarbonato de sodio	0.788	Producción y transporte.	Energía de producción.
Cal viva	7.5	Transporte	Emisiones de CO2

Tabla 3 Inventario ciclo de vida prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

Categoría de impacto	Zuro	Celulosa de cartón	Biomaterial	Total
Emisión GEI (CO2) (kg)	0.2kg	0.75kg	15kg	15.95kg
Consumo de energía eléctrica (W)	0	4000W	0	4000W
Consumo de agua (Lt)	10Lt	15Lt	0	25Lt
Toxicidad	Baja	Baja	Baja	Baja

Tabla 4 Análisis impacto ambiental prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

## Prototipo B

Material	Cantidad (kg)	Impactos considerados	Datos necesarios
Zuro	4.450	Transporte	Uso de agua
Celulosa de cartón	8.460	Transporte	Uso de agua
Ácido bórico	0.2	Producción y transporte	Energía producción.
Almidón de maíz	5.076	Procesamiento y transporte.	Usos fertilizantes, agua y energía procesamiento.
Bicarbonato de sodio	0.564	Producción y transporte.	Energía de producción.
Cal viva	5	Transporte	Emisiones de CO2

Tabla 5 Inventario ciclo de vida prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

Categoría de impacto	Zuro	Celulosa de cartón	Biomaterial	Total
Emisión GEI (CO2) (kg)	0.2kg	0.5kg	15kg	15.7kg
Consumo de energía eléctrica (W)	0	1360W	0	1360W
Consumo de agua (Lt)	15Lt	5.076Lt	0	20.076Lt
Toxicidad	Baja	Baja	Baja	Baja

Tabla 6 Análisis impacto ambiental prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

## Costos de producción

*Anexo Costos*

### Prototipo A

Elemento	Cantidad	Costos según cantidad	Costo total
<b>Materiales</b>			
Zuro	1.875 kg	0	0
Cartón	15kg	0	0
Ácido bórico	0.3kg	30g=3Bs	30.00 Bs.
Almidón de maíz	7.092kg	25kg=165Bs	46.81 Bs.
Bicarbonato de sodio	0.788kg	20g=1.2Bs.	47.28 Bs.
Cal viva	7.5kg	20kg=18Bs	6.75 Bs.
Agua	25lt	10m <sup>3</sup> =14.50Bs.	0.04 Bs.
<b>Procesamiento</b>			
Energía eléctrica	4000W – 4kW	1kW= 0.63Bs.	2.52 Bs.
Total, del biomaterial por m <sup>2</sup>			134.82 Bs

Tabla 7 Costos de producción prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

## Prototipo B

Elemento	Cantidad	Costos según cantidad	Costo total
Materiales			
Zuro	4.45 kg	0	0
Cartón	3.384kg	0	0
Ácido bórico	0.2kg	30g=3Bs	20.00 Bs.
Almidón de maíz	5.076kg	25kg=165Bs	33.50Bs.
Bicarbonato de sodio	0.564kg	20g=1.2Bs.	33.84 Bs.
Cal viva	5kg	20kg=18Bs	4.50 Bs.
Agua	20.076lt	10m <sup>3</sup> =14.50Bs.	0.03Bs.
Procesamiento			
Energía eléctrica	1360W – 1.36kW	1kW= 0.63Bs.	0.86 Bs.
Total, del biomaterial por m <sup>2</sup>			92.73Bs

Tabla 8 Costos de producción prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

#### 6.6.4. OBSERVACIONES FINALES AL BIOMATERIAL.

##### Prototipo A



Ilustración 90 Caracterización final prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

En el transcurso de 3 semanas el material se conservó en óptimas condiciones, a partir de la semana 3 el prototipo A se fue pandeando progresivamente. Dando el resultado un panel que no es plano ni apto para su aplicación.

##### Prototipo B



Ilustración 91 Caracterización final prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

En el transcurso de 3 semanas el material se conservó en óptimas condiciones, a partir de la semana 3 el prototipo B presento una pequeña grieta que fue aumentando progresivamente. Dando el resultado un panel con una grieta, pero plano aun no siendo apto para su aplicación.

#### **6.6.5. PRUEBAS REALIZADAS AL BIOMATERIAL FINAL**

Para las pruebas de comportamiento térmico y capacidad reducción del ruido se hizo la construcción de dos ambientes con ladrillo de seis huecos, con las siguientes dimensiones exteriores de, 0.80m x 0.77m y dimensiones interiores de, 0.68m x 0.56m.



Ilustración 92 Ambientes al aire libre. Fuente: Elaboración propia.

## Comportamiento térmico

En esta prueba se somete al biomaterial en un entorno no controlado y real. Durante tres semanas. Se construye dos pequeños ambientes donde se evalúa el rendimiento térmico del biomaterial con termómetros digitales, un ambiente con el biomaterial y el otro ambiente sin el biomaterial.



Ilustración 93 Ambiente con Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

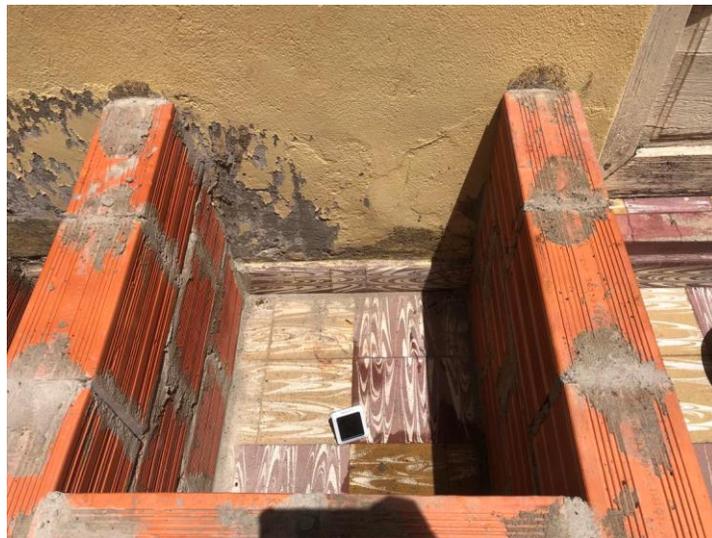


Ilustración 94 Ambiente sin Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

– Graficas de medición

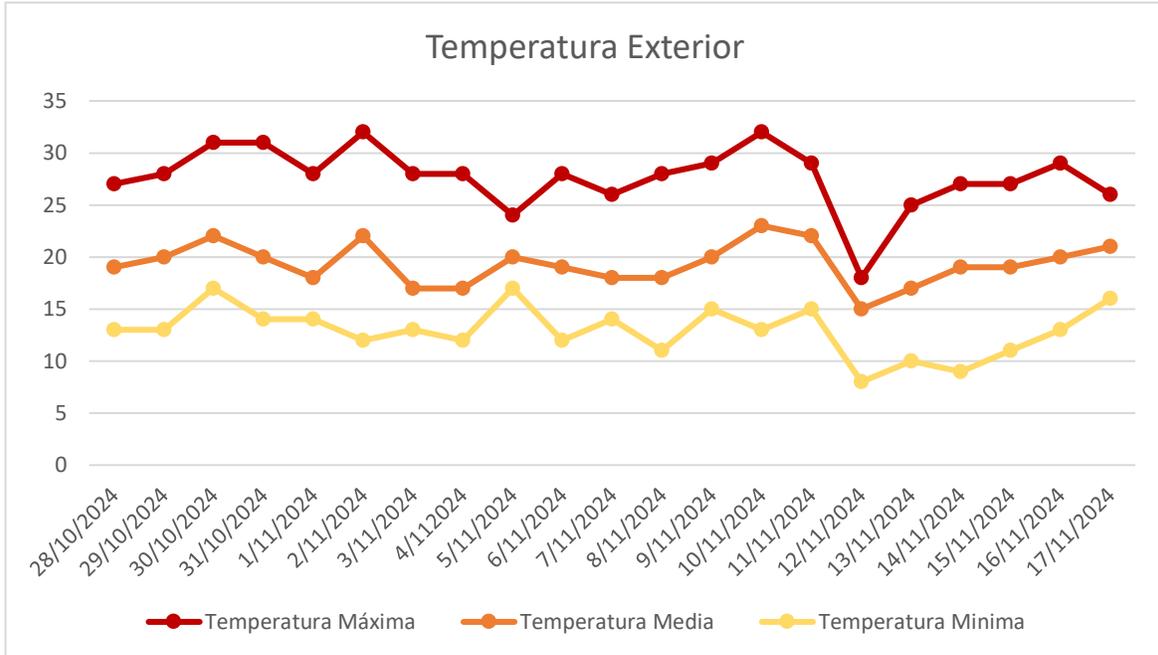


Gráfico 2 Temperatura Exterior. Fuente: Elaboración propia.

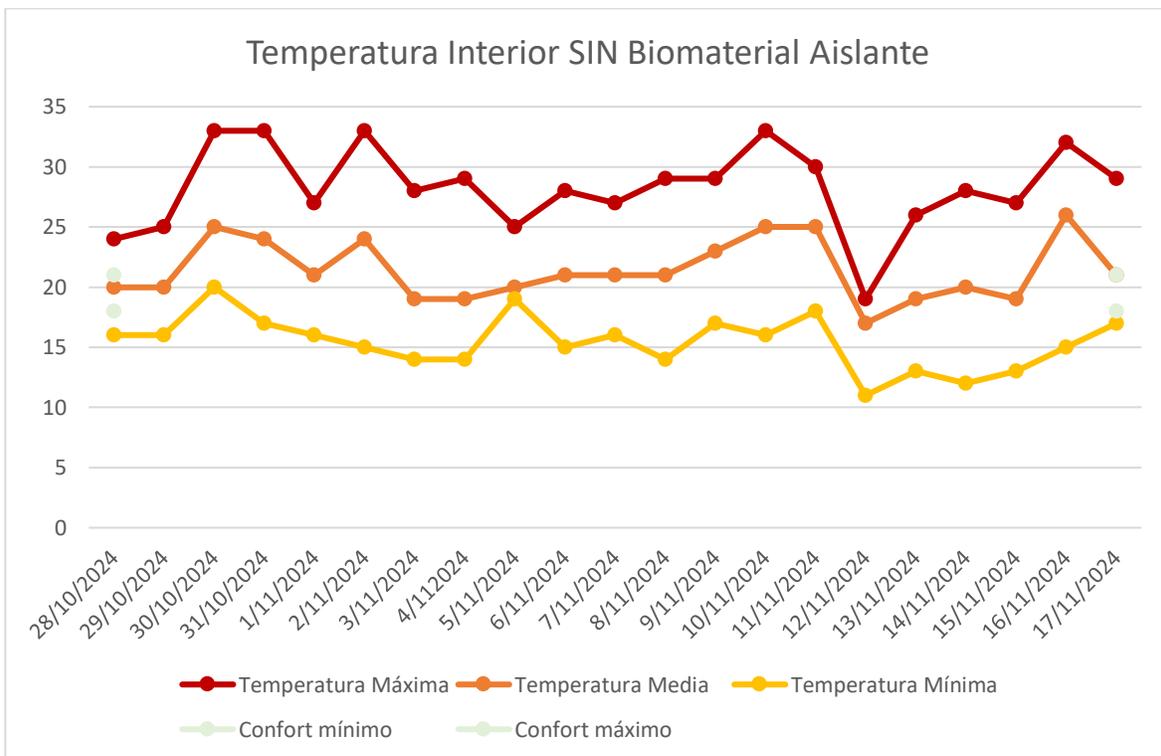


Gráfico 3 Temperatura Interior SIN Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

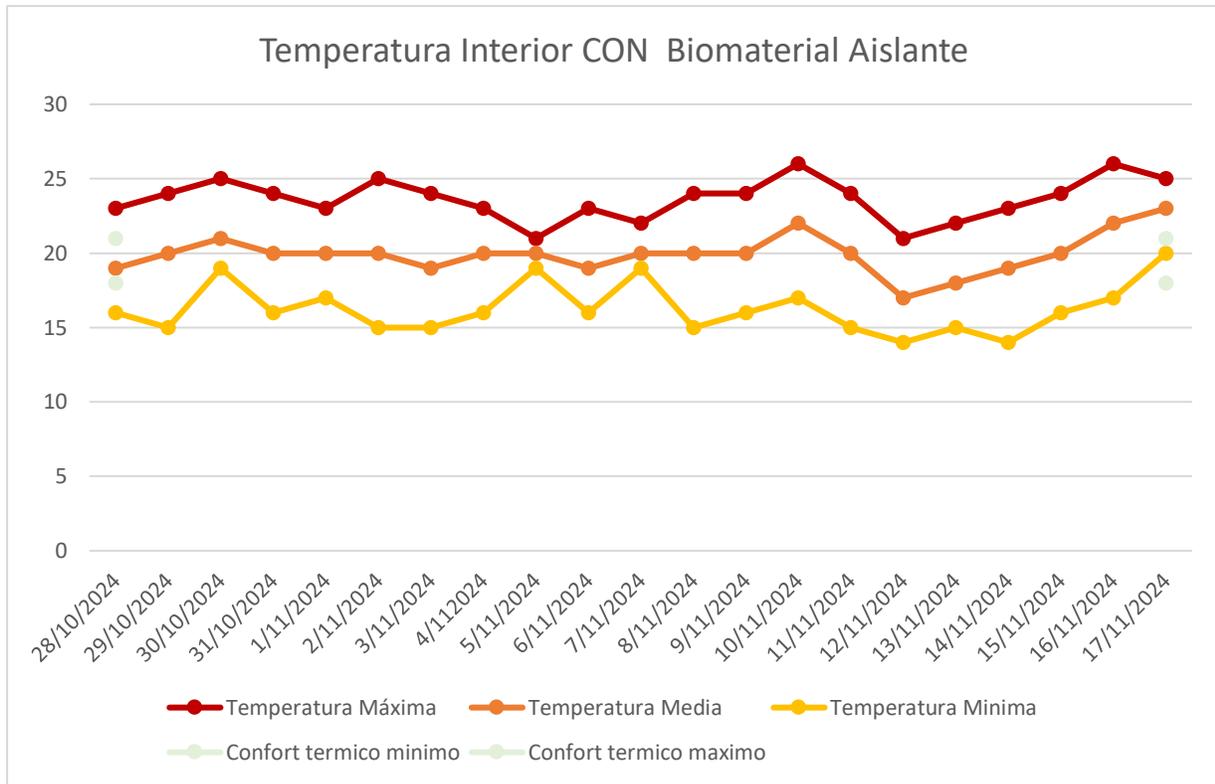


Gráfico 4 Temperatura Interior con Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

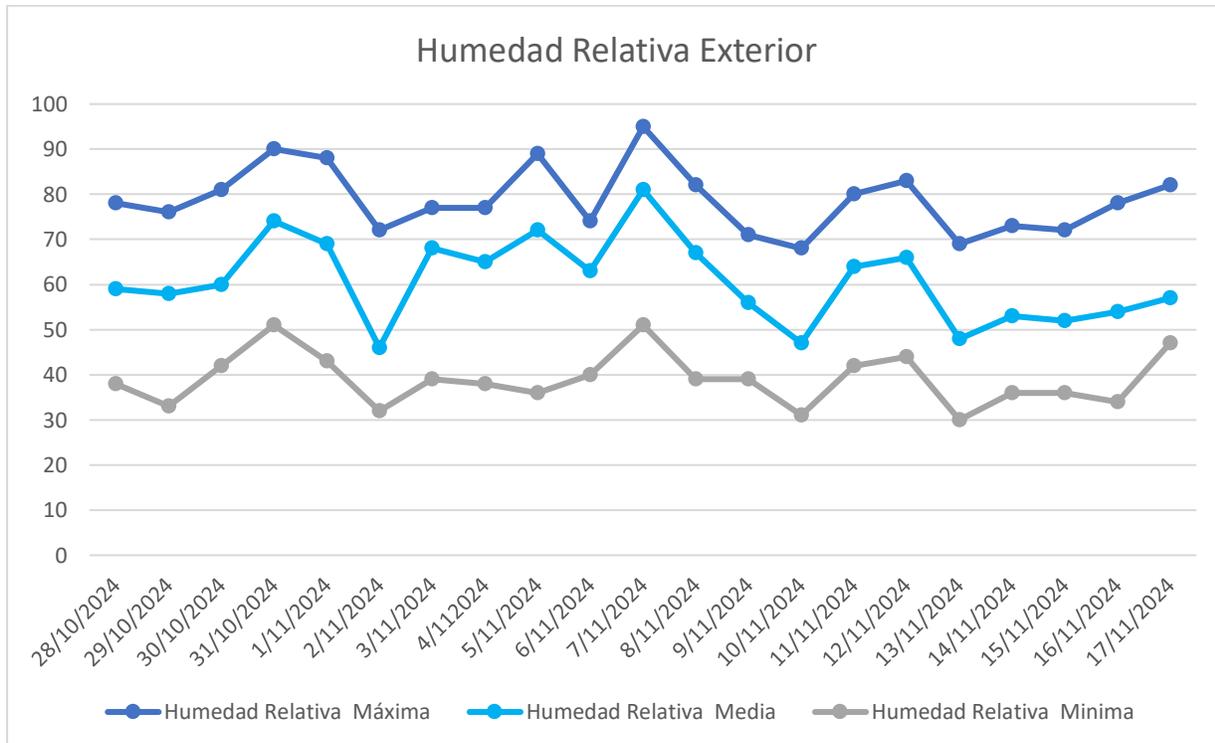


Gráfico 5 Humedad Relativa Exterior. Fuente: Elaboración propia.

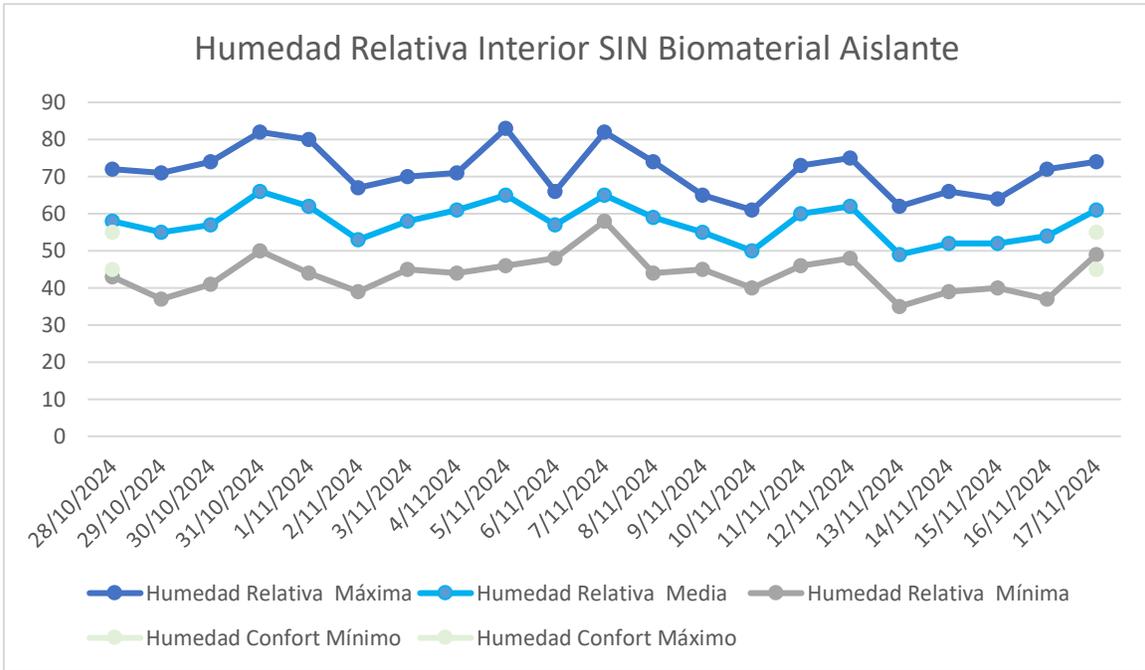


Gráfico 6 Humedad Relativa Interior sin Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

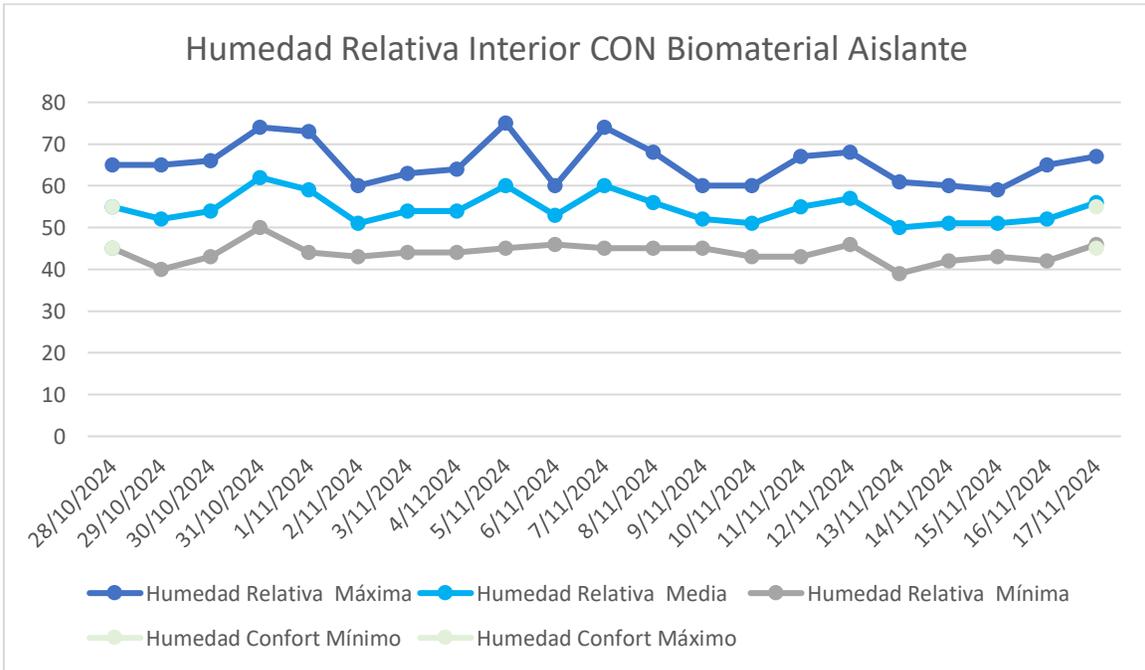


Gráfico 7 Humedad Relativa Interior con Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

### Capacidad reducción del ruido

Esta prueba es controlada, se utilizará una alarma personal de 130dB y sonómetro digital para medir el ruido en cada ambiente.



Ilustración 95 Lectura dentro de Ambiente con Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

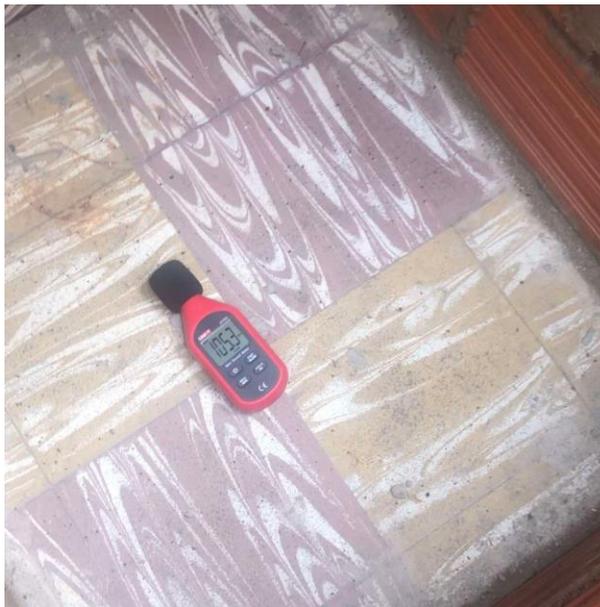


Ilustración 96 Lectura dentro de Ambiente sin Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del ambiente con el biomaterial aislante la reducción del ruido es de 68dB a 65dB, mientras que en el ambiente sin el biomaterial aislante es de 29dB a 25dB.

### **Densidad del biomaterial**

Para realizar estas pruebas se requiere de una balanza, regla y calculadora. La masa de los paneles ronda entre los 168gr a 176gr.



Ilustración 97 Masa Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta las dimensiones de este panel con 21,5cm por lado, superficie de 462.25cm<sup>2</sup> y un espesor de 1cm. Dándonos un volumen de 462.25cm<sup>3</sup> y una masa de 171gr.

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

Tiene una densidad de 0.37g/cm<sup>3</sup>.

## Resistencia al Agua

Se pone a prueba un panel sumergido en agua por el tiempo de 10 horas seguidas para apreciar cuáles son los cambios que sufrirá.



Ilustración 98 Biomaterial Aislante sumergido en agua. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 99 Biomaterial Aislante sumergido en agua después de diez horas. Fuente: Elaboración propia.

Los cambios sufridos por el material a observación directa es el color con tonalidades más oscuras, la parte rota del panel se desprende del mismo, su rigidez disminuye aun siendo manipulable, su capacidad de absorción en diez horas es del 160% de la masa del panel.

## Costos de producción

Los costos están sujetos a la actualidad y de la región. (*Anexo Costos*)

### Biomaterial Final

Elemento	Cantidad/m <sup>2</sup>	Costos según cantidad	Costo total/m <sup>2</sup>
<b>Materiales</b>			
Zuro	4.45 kg	0	0
Cartón	3.384kg	0	0
Ácido bórico	0.2kg	30g=3Bs	20.00 Bs.
Almidón de maíz	1.353kg	25kg=195Bs	10.55Bs.
Bicarbonato de sodio	0.135kg	20g=1.2Bs.	8.10 Bs.
Lana de Oveja	0.125kg	0	0
Cal viva	5kg	20kg=18Bs	4.50 Bs.
Agua	20.076lt	10m <sup>3</sup> =14.50Bs.	0.03Bs.
<b>Procesamiento</b>			
Energía eléctrica	1360W – 1.36kW	1kW= 0.63Bs.	0.86 Bs.
Gas Garrafa	0.36kg	10kg=22.5Bs	0.81Bs.
Total, del biomaterial por m <sup>2</sup>			44.85Bs

Cada panel tiene un costo de producción de alrededor de 1.80Bs.

## Costos Industrialización

Elemento	Cantidad/m <sup>2</sup>	Costos según cantidad	Costo total/m <sup>2</sup>
<b>Materiales</b>			
Zuro	4.45 kg	0	0
Cartón	3.384kg	1kg=0.40Bs	1.35Bs.
Ácido bórico	0.2kg	30g=3Bs	20.00 Bs.
Almidón de maíz	1.353kg	25kg=195Bs	10.55Bs.
Bicarbonato de sodio	0.135kg	20g=1.2Bs.	8.10 Bs.
Lana de Oveja	0.125kg	11.502kg=50Bs	0.54Bs.
Cal viva	5kg	20kg=18Bs	4.50 Bs.
Agua	20.076lt	10m <sup>3</sup> =14.50Bs.	0.03Bs.
<b>Procesamiento</b>			
Energía eléctrica	1360W – 1.36kW	1kW= 0.63Bs.	0.86 Bs.
Gas Garrafa	0.36kg	10kg=22.5Bs	0.81Bs.
Total, del biomaterial por m <sup>2</sup>			46.74Bs

Cada panel tiene un costo de producción de alrededor de 1.90Bs.

Precio comercial sugerido con una ganancia del 30%. (Anexo Interdisciplinario).

## Impacto ambiental

Se utilizará el análisis de ciclo de vida ACV en base a la exploración de la recopilación de datos de cada material. En este caso el límite definido es de la cuna a la puerta, donde solo se considera hasta el proceso final de la producción.

Material	Ciclo de Vida
Zuro	1-2 años (condiciones naturales, no tratados). 5 años (condiciones secas, no tratados)
Celulosa de cartón	3-5 años (condiciones húmedas) 5-7 años (condiciones secas)
Ácido bórico	Duración indefinida.
Almidón de maíz	6 mese a 1 año (condiciones húmedas o con microorganismos) 6-8 años (condiciones secas)
Bicarbonato de sodio	Duración indefinida.
Lana de oveja	50 años (condiciones secas)

*Tabla 9 Ciclo de Vida Materiales. Fuente: Elaboración propia.*

Esta tabla nos permite apreciar el ciclo de vida de cada material. Y tener un estimado del ciclo de vida del biomaterial aislante, con los tratamientos que se realizaron.

Material	Ciclo de Vida
Biomaterial Aislante	15-30 años

*Tabla 10 Ciclo de Vida Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.*

En la siguiente tabla se verá el inventario de ciclo de vida, tomando en cuenta lo que se utiliza por un metro cuadrado del biomaterial. (*Anexo Consumo de Energía*).

## Biomaterial Final

Material	Cantidad (kg)	Impactos considerados	Datos necesarios
Zuro	4.450	Transporte	Uso de agua
Cartón	3.384	Transporte	Uso de agua
Ácido bórico	0.2	Producción y transporte	Energía producción.
Almidón de maíz	1.353	Procesamiento y transporte.	Usos fertilizantes, agua y energía procesamiento.
Bicarbonato de sodio	0.135	Producción y transporte.	Energía de producción.
Lana de Oveja	0.125	Transporte	Uso de agua
Cal viva	5	Transporte	Emisiones de CO2

Tabla 11 Inventario ciclo de vida Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

Categoría de impacto	Zuro	Celulosa de cartón	Biomaterial	Total
Emisión GEI (CO2) (kg)	0.2kg	0.5kg	1.25kg	1.95kg
Consumo de energía eléctrica (W)	0	3360W	0	3360W
Consumo de agua (Lt)	15Lt	5.076Lt	0	20.076Lt
Toxicidad	Baja	Baja	Baja	Baja

Tabla 12 Análisis Impacto Ambiental Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

### **6.6.6. ESTRATEGIAS Y RECOMENDACIONES PARA LA ADOPCIÓN BIOMATERIAL**

Se realizó una encuesta para conocer en porcentajes cuantas personas están dispuestas a la adopción del biomaterial aislante. A pesar de que las respuestas fueron favorables, se insiste en la implementación de estrategias y recomendaciones. (*Anexo Encuesta Adopción Biomaterial*)

#### **Estrategias**

- Divulgación científica.

Publicar los resultados de la investigación a través de la revista científica elaborada por el Departamento de Investigación de Ciencias y Tecnología (D.I.C.Y.T.) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Con la difusión de la investigación generará confiabilidad a la población.

- Campañas publicitarias

Utilizar redes sociales, anuncios locales y ferias de construcción para presentar y difundir información sobre el biomaterial aislante.

- Asociaciones comerciales.

Establecer alianzas con empresas de construcción y productores locales para integrar el biomaterial en sus proyectos.

#### **Recomendaciones**

- Alianzas interdisciplinarias.

Colaborar con diferentes carreras y profesionales para incorporar con mayor fiabilidad el biomaterial en la industria de la construcción. Ej.: La carrera de Ing. Industrial. Se encargaría de la optimización del proceso de producción del biomaterial aislante.

- Proyectos piloto en vivienda social

Aplicar el biomaterial aislante en vivienda social, para demostrar su eficacia en entornos reales.

- Certificaciones y sellos de calidad

Obtener certificaciones oficiales que respalden las propiedades del biomaterial, como eficiencia térmica, acústica y sostenibilidad ambiental. Ej. Cradle to Cradle.

## 6.7. REPORTE DE RESULTADOS OBTENIDOS

### 6.7.1. RESULTADOS DE PRUEBAS A PROTOTIPOS

Prototipo	Propiedad evaluada	Método de evaluación	Resultados obtenidos
A	Comportamiento térmico	Prueba de ambiente controlado con termómetro	La diferencia que proporciona el material con el exterior es significativa con diferencia de 16.4°C en ambientes de calor y 17.3°C en ambiente de frío. Con las diferencias de sensación térmica de 19.7°C en calor y 34.1°C en frío.
A	Reducción del ruido	Sonómetro en cámara acústica	Reducción del ruido significativa cuando el ruido está dentro de un ambiente reduce 25.8dB, y cuando el ruido es externo reduce 67.2dB.
A	Contenido de humedad	Higrómetro	Niveles de humedad son bajos con la cantidad de 1.2%.
A	Densidad	Balanza y regla	Densidad baja material ligero, con el resultado de 0.99g/cm <sup>3</sup> .
A	Resistencia al fuego	Cronómetro	Durante el lapso de 10 min, resistió y no presentó cambios de la cara del biomaterial.
A	Impacto ambiental	Análisis huella ecológica	El impacto ambiental significativamente menor al de los materiales convencionales.
A	Costos de producción	Análisis de costos y comparación de mercado	El costo bruto entre 75% a casi el 80% menor que los aislantes convencionales.

Tabla 13 Resultados pruebas prototipo A. Fuente: Elaboración propia.

Prototipo	Propiedad evaluada	Método de evaluación	Resultados obtenidos
B	Comportamiento térmico	Prueba de ambiente controlado con termómetro	La diferencia que proporciona el material con el exterior es significativa con diferencia de 20.3°C en ambientes de calor y 20.1°C en ambiente de frío. Con las diferencias de sensación térmica de 24°C en calor y 36.3°C en frío.
B	Reducción del ruido	Sonómetro en cámara acústica	Reducción del ruido significativa cuando el ruido está dentro de un ambiente reduce 30.7dB, y cuando el ruido es externo reduce 64.5dB.
B	Contenido de humedad	Higrómetro	Niveles de humedad son bajos con la cantidad de 1.2%.
B	Densidad	Balanza y regla	Densidad baja material ligero, con el resultado de 0.66g/cm <sup>3</sup> .
B	Resistencia al fuego	Cronómetro	Durante el lapso de 10 min, resistió y presento pocos cambios de la cara del biomaterial.
B	Impacto ambiental	Análisis huella ecológica	El impacto ambiental significativamente menor al de los materiales convencionales.
B	Costos de producción	Análisis de costos y comparación de mercado	El costo bruto entre 80% a casi el 85% menor que los aislantes convencionales.

Tabla 14 Resultados pruebas prototipo B. Fuente: Elaboración propia.

<b>Propiedad evaluada</b>	<b>Resultados Prototipo A</b>	<b>Resultados Prototipo B</b>	<b>Prototipo con mayor eficiencia</b>
Comportamiento térmico	Diferencia de °C, en calor 16.4°C, en frío 17.3°C. Sensación térmica en calor 19.7°C, en frío 34.1°C.	Diferencia de °C, en calor 20.3°C, en frío 20.°C. Sensación térmica en calor 24°C, en frío 36.3°C.	El prototipo B muestra una mayor eficiencia en el comportamiento térmico.
Reducción del ruido	Ruido dentro del ambiente reduce 25.8dB. Ruido fuera del ambiente reduce 67.2dB.	Ruido dentro del ambiente reduce 30.7dB. Ruido fuera del ambiente reduce 64.5dB.	Ambos prototipos demuestran tener similares resultados en el aislamiento acústico. Siendo mejor el prototipo B cuando el ruido se encuentra dentro. Y siendo mejor el prototipo A cuando el ruido se encuentra fuera.
Contenido de humedad	El biomaterial contiene 1.2% es un porcentaje bajo.	El biomaterial contiene 1.2% es un porcentaje bajo.	Ambos prototipos presentan el mismo porcentaje de humedad.
Densidad	Densidad baja de 0.99g/cm <sup>3</sup> .	Densidad baja de 0.66g/cm <sup>3</sup> .	El prototipo B demuestra tener una densidad menor al ser más liviano.
Resistencia al fuego	No se degradó una cara del biomaterial por completo por más de 10 minutos. Estando la otra cara intacta.	Se degradó una cara del biomaterial por completo por más de 10 minutos. Estando la otra cara intacta.	El prototipo A demostró tener mayor resistencia al fuego que el prototipo B.
Impacto ambiental	Bajo con resultados de 15.95kg de CO <sub>2</sub> , 4000W, 25Lt de agua y toxicidad baja.	Bajo con resultados de 15.7kg de CO <sub>2</sub> , 1360W, 20.01Lt de agua y toxicidad baja.	El prototipo B causa menor impacto ambiental en su producción.
Costos de producción	Costo bajo de producción de 134.82Bs. por m <sup>2</sup> .	Costo bajo de producción de 92.73Bs. por m <sup>2</sup> .	El prototipo B demuestra ser más accesible en los costos de producción.

Tabla 15 Comparación resultados prototipos. Fuente: Elaboración propia.

## 6.7.2. RESULTADOS DE PRUEBAS BIOMATERIAL AISLANTE

Propiedad Evaluada	Resultado	Descripción
Comportamiento térmico	<p>En los días de calor hay variaciones con el exterior de 6°C a 5°C.</p> <p>Comparados con el ambiente sin biomaterial las variaciones son de 7°C a 5°C.</p> <p>En cuanto a la humedad relativa, la variación con el exterior en días con bastante humedad es del 21% al 15%.</p> <p>Comparados con el ambiente sin biomaterial es de 8% al 6%</p>	<p>El biomaterial aislante reduce eficazmente las variaciones de temperatura interna en los días de calor y humedad. La diferencia térmica interna con respecto al ambiente sin biomaterial demuestra que es un excelente regulador térmico, proporcionando confort en climas cálidos y húmedos.</p>
Capacidad reducción del ruido	<p>El rango de disminución de ruido es de 68dB a 65dB, con el exterior.</p>	<p>El biomaterial muestra un buen desempeño acústico al disminuir el nivel de ruido. Siendo útil para entornos como viviendas cercanas a áreas con tráfico elevado o zonas industriales.</p>
Densidad	<p>El rango de densidad de cada panel es de 0.41 g/cm<sup>3</sup> a 0.35 g/cm<sup>3</sup>.</p>	<p>Indican un material liviano, facilitando su transporte y aplicación en proyectos de construcción y sin añadir peso excesivo a las estructuras.</p>
Resistencia al agua	<p>Presenta una resistencia media-alta en periodos cortos de sumergimiento al agua.</p> <p>Resistencia baja en periodos largos en sumergimiento al agua.</p>	<p>El biomaterial sugiere que puede soportar condiciones de humedad excesiva ocasionales. Sin embargo, en inmersiones prolongadas su resistencia disminuye.</p>
Costos de producción	<p>Cada panel tiene el costo de 1.80Bs. y alrededor de 45Bs. El metro cuadrado.</p> <p>Si el biomaterial seguiría una elaboración industrial el precio es de 1.90 Bs. Y 47.5Bs. por metro cuadrado.</p>	<p>El costo de producción del biomaterial aislante es rentable, en comparación a los materiales aislantes convencionales.</p>
Impacto Ambiental	<p>Emite en totalidad de su producción 1.95kg de CO<sup>2</sup> por metro cuadrado producido.</p> <p>Estimado de ciclo de vida de 15 años a 30 años.</p>	<p>La emisión producida, es relativamente bajo comparado con materiales aislantes convencionales.</p> <p>Ciclo de vida apto para su mantenimiento.</p>

Tabla 16 Resultados Biomaterial Aislante. Fuente: Elaboración propia.

### **6.7.3. VERIFICACIÓN Y COMPROBACIÓN DE OBJETIVOS PLANTEADOS**

**Objetivo específico 1:** Obtener un biomaterial aislante en base de zuro, en caracterización física de panel, para mejorar el aislamiento térmico acústico de las viviendas unifamiliares y que ayude con la calidad de vida de las personas.

Se logró obtener un biomaterial aislante basado en zuro, caracterizado físicamente en forma de panel, que presentan excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico. Estos paneles han demostrado contribuir significativamente al confort térmico y por lo mismo ayuda a la calidad de vida de las personas.

**Objetivo específico 2:** Realizar pruebas para evaluar el rendimiento térmico y acústico del biomaterial aislante de zuro en condiciones controladas de temperatura y humedad.

A través de pruebas en condiciones controladas, se evaluó el rendimiento térmico y acústico del biomaterial desarrollado. Los resultados demostraron que el panel basado en zuro mantiene una temperatura interior más estable y reduce eficazmente el ruido, validando su efectividad como aislante para viviendas. Estos ensayos respaldan su capacidad para mejorar las condiciones ambientales en interiores, incluso evaluado bajo condiciones no controladas (externas de temperatura y humedad).

**Objetivo específico 3:** Analizar los costos asociados con la producción del biomaterial (panel) aislante por metro cuadrado en comparación con los materiales convencionales.

El análisis económico realizado confirmó que el costo de producción del biomaterial por metro cuadrado es competitivo frente a los materiales aislantes convencionales disponible en el mercado boliviano. Este logro refuerza la viabilidad económica del panel basado en zuro, haciéndolo accesible a la población general, especialmente en un contexto de viviendas unifamiliares en Tarija. (*Anexo Costos*)

**Objetivo específico 4:** Realizar el análisis de impacto ambiental de la producción del biomaterial (panel) aislante en base de zuro, utilizando herramientas de evaluación de ciclo de vida con datos existentes de materiales.

Se realizó un análisis del impacto ambiental del biomaterial mediante herramientas de evaluación del ciclo de vida (ACV). Los resultados muestran que la producción del panel basado en zuro emite significativamente menos CO<sub>2</sub> durante su producción en comparación con alternativas convencionales, contribuyendo así a la reducción de la huella de carbono en el sector de la construcción. (*Anexo Impacto Ambiental Materiales Convencionales*).

**Objetivo específico 5:** Generar estrategias y recomendaciones para promover la adopción de paneles aislantes de fibras naturales en la construcción en Tarija, basadas en los resultados de la investigación y las pruebas realizadas.

Se diseñaron estrategias y recomendaciones para fomentar la adopción del biomaterial en la construcción en Tarija. Estas incluyen propuestas para promover su uso mediante campañas publicitarias y alianzas interdisciplinarias. Las estrategias están respaldadas por los resultados de esta investigación, demostrando los beneficios económicos, ambientales y sociales del biomaterial desarrollado.

## **6.8. CONCLUSIONES.**

### **6.8.1. CONCLUSIONES PRIMER CICLO**

El prototipo B ha demostrado ser el más eficiente en términos de aislamiento térmico y acústico, ofreciendo un confort óptimo en diversas condiciones climáticas y reduciendo significativamente el ruido. Además, se destaca por su bajo impacto ambiental debido al mayor porcentaje en el uso de materiales sostenibles y un proceso de producción ecológico. Su menor costo de producción lo hace accesible, mejorando la calidad de vida sin afectar el presupuesto familiar. Este prototipo tiene un gran potencial para seguir la investigación y aplicarlo.

### **6.8.2. CONCLUSIONES FINALES**

En base a los resultados obtenidos de las pruebas y análisis realizados, se puede concluir que el biomaterial aislante basado en zuro presenta un excelente desempeño en diversas propiedades clave. La capacidad del material para mantener temperaturas internas estables, junto con su efectividad en la reducción del ruido, demuestra su potencial como solución viable para mejorar el confort térmico y acústico en viviendas. Además, la densidad del material lo hace fácil de manejar y aplicar sin comprometer la eficiencia aislante. A nivel económico, el costo de producción del biomaterial es bajo en comparación con los materiales convencionales, lo que refuerza su viabilidad en el mercado. El análisis del impacto ambiental resalta la baja huella de carbono asociada a la producción del biomaterial, posicionándolo como una opción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

El desarrollo exitoso de este biomaterial no solo ofrece una alternativa eficaz para mejorar la calidad de vida de los habitantes de Tarija, sino que también representa una oportunidad para la industria de la construcción, promoviendo la economía circular y contribuyendo al cuidado del medio ambiente. Este biomaterial aislante tiene el potencial de ser una herramienta clave para avanzar hacia una construcción más sostenible, eficiente y accesible.

En resumen se concluye que la hipótesis ha sido confirmada.

## **6.9. RECOMENDACIONES**

Se abrirán diferentes líneas de recomendación.

### **6.9.1. RECOMENDACIONES PRIMER CICLO.**

#### **Optimización prototipo B**

Aunque el prototipo B ha demostrado ser el más eficiente, se recomienda seguir optimizando su composición para mejorar aún más el rendimiento térmico y acústico. Y su caracterización física.

Implementar tratamientos adicionales para mejorar la resistencia a la humedad y la durabilidad del prototipo B, especialmente en ambientes con alta humedad, puede prolongar su vida útil.

#### **Pruebas al prototipo final**

Aplicación en el entorno real. Realizar ensayos bajo condiciones ambientales reales (humedad, exposición solar, variaciones térmicas) para validar la resistencia y estabilidad del biomaterial.

Conseguir que el biomaterial cumpla con los estándares de la industria de la construcción. Esto puede facilitar la aceptación del material en el mercado y asegurar su calidad.

### **6.9.2. RECOMENDACIONES FINALES.**

#### **Aplicabilidad en muros exteriores.**

Se sugiere optimizar el biomaterial para su uso en revestimientos de muros exteriores, enfocándose en su resistencia a la intemperie y protección térmica. Esto implica incorporar tratamientos que aumenten su resistencia al agua y rayos UV, asegurando que el material mantenga su integridad y funcionalidad a lo largo del tiempo en condiciones climáticas adversas.

#### **Aplicabilidad en cielos rasos o falsos.**

Para aplicaciones en cielos rasos o falsos, es necesario ajustar el diseño del biomaterial para reducir su peso y mejorar su resistencia al desprendimiento. Esto podría incluir un refuerzo estructural mediante

fibras naturales adicionales y pruebas de durabilidad para garantizar la seguridad y estética en espacios interiores.

### **Impermeabilización**

Se propone aplicar tratamientos con resinas o ceras biodegradables que aumenten la resistencia del biomaterial al agua.

### **Mejoramiento de la estética.**

Se aconseja la incorporación de tintes naturales no solo mejoraría su estética, adaptándola a distintas preferencias arquitectónicas, sino que también podría realzar su atractivo comercial, promoviendo una alternativa sostenible y visualmente agradable.

### **Sostenibilidad post ciclo de vida.**

Incorporar estrategias para mejorar la reciclabilidad del biomaterial aislante al final de su vida útil. Esto podría incluir el desarrollo de un programa de recolección y reciclaje de los paneles aislantes, promoviendo así una economía circular más robusta.