

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Propuesta de tablero aislante con fibras naturales de totora y cabuya


Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Arquitecto

Autor:

Elizabeth Alexandra Tasambay Paucar

Director:

Juan Fernando Hidalgo Cordero

ORCID:  0000-0002-2334-9569

Cuenca, Ecuador

2024-03-20

Resumen

En este trabajo se aborda un exhaustivo estudio acerca de las fibras de totora y cabuya, que incluye aspectos que van desde su taxonomía hasta su proceso productivo, sus propiedades aislantes y su aplicabilidad en la arquitectura. A su vez, se proponen tres modelos de tableros aislantes, distribuidos en trece probetas, con el propósito de examinar su comportamiento térmico. Para ello, se llevaron a cabo ensayos de caracterización, como pruebas de conductividad térmica, absorción de humedad y densidad. La determinación del coeficiente de conductividad térmica (k) se llevó a cabo mediante dos metodologías diferentes. En la primera, se empleó un enfoque experimental siguiendo la metodología de los aparatos PASCO TD-8561. En contraste, la segunda se basó en el método para la conducción térmica en paredes compuestas en estado estable, utilizando el aparato HT11C. Ambos procedimientos se sustentan en la ley de Fourier como principio físico fundamental. Los resultados obtenidos revelan que las trece probetas exhiben un promedio de conductividad térmica que oscila entre 0,0371 y 0,078 W/m²K. Es destacable que las muestras 1A, 2A, 3A y 6A registran valores inferiores a 0,050 W/m²K, equiparables a los aislantes comúnmente empleados para mitigar el flujo de calor en construcciones. Este hallazgo sugiere que los materiales derivados de totora y cabuya no solo pueden rivalizar con los productos, sino que también presentan un menor impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂. De esta manera, la obtención y el proceso de producción contribuyen significativamente a la sostenibilidad medioambiental.

Palabras clave: PASCO TD-8561, conductividad térmica, fibras vegetales, aislamiento térmico, absorción de humedad.



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

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

Abstract

In this work, a comprehensive study of totora and cabuya fibers is undertaken, covering aspects ranging from their taxonomy to their production process, insulating properties, and their applicability in architecture. Additionally, three models of insulating panels are proposed, distributed across thirteen test samples, with the purpose of examining their thermal behavior. Characterization tests were conducted, including thermal conductivity, moisture absorption, and density tests. The determination of the thermal conductivity coefficient (k) was carried out using two different methodologies. In the first one, an experimental approach was employed following the methodology of the PASCO TD-8561 devices. In contrast, the second methodology was based on the method for thermal conduction in composite walls in steady state, using the HT11C device. Both procedures are based on Fourier's law as a fundamental physical principle. The results obtained reveal that the thirteen test samples exhibit an average thermal conductivity ranging between 0.0371 and 0.078 W/m²K. It is noteworthy that samples 1A, 2A, 3A, and 6A recorded values below 0.050 W/m²K, comparable to the insulators commonly used to mitigate heat flow in constructions. This finding suggests that materials derived from totora and cabuya can not only compete with conventional products but also have a lower environmental impact in terms of CO₂ emissions. Thus, the extraction and production process significantly contribute to environmental sustainability.

Keywords: PASCO TD-8561, thermal conductivity, vegetable fibers, thermal insulation, moisture absorption.



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

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

Índice de contenido

Introducción	10
Diseño de la investigación.....	11
I. Problemática y justificación	11
II. Objetivos.....	12
III. Preguntas de investigación	12
IV. Metodología.....	12
Capítulo I	14
Marco teórico	14
1.1 La totora.....	14
1.1.1 Antecedentes	14
1.1.2 Taxonomía	14
1.1.3 Siembra, cultivo y cosecha	15
1.1.4 Propiedades aislantes	19
1.2 La cabuya	20
1.2.1 Antecedentes	20
1.2.2 Taxonomía	21
1.2.3 Siembra, cultivo y cosecha	22
1.2.4 Propiedades aislantes	25
1.3 Sistemas de aislamientos	26
1.3.1 Aislamientos térmicos convencionales y su impacto ambiental	27
1.3.2 Aislantes térmicos de fibras vegetales	28
1.3.3 Ventajas en la utilización de las fibras vegetales como material de aislamiento.....	29
Capítulo II	30
Aplicación de la totora y cabuya.....	30
2.1. Introducción	30
2.2. Totora.....	31
2.2.1 Usos y aplicaciones tradicionales.....	31
2.2.2. Usos y aplicaciones en la arquitectura.....	35
2.3. Cabuya	40
2.3.1. Usos y aplicaciones tradicionales	40

2.3.2. Usos y aplicaciones en la arquitectura.....	43
Capítulo III	48
Propuesta de tablero aislante.....	48
3.1. Introducción	48
3.2. Materiales Usados	48
3.3. Preparación del Material	50
3.4. Propuestas	59
3.5. Selección de formulaciones	60
3.6. Desarrollo de probetas.....	63
3.7. Ensayos de caracterización.....	68
3.6.1. Pruebas de conductividad térmica	68
3.6.1.1. Prueba de conductividad térmica mediante la metodología PASCO modelo TD-8561	68
3.6.1.2. Prueba de conductividad térmica mediante la conducción en paredes compuestas en estado estable.....	75
3.6.2. Ensayo de absorción de humedad.....	77
3.6.3. Ensayo de densidad básica	79
3.8. Resultados de la prueba de conductividad térmica	81
3.9. Conclusiones	86
3.10. Futuras líneas de investigación:	88
3.10.1. Recomendaciones:.....	89
Referencias	91

Índice de figuras

Figura 1: Actividades para la siembra de la totora.....	16
Figura 2: Técnicas de reimplante de la totora.....	17
Figura 3: Cortado y cosecha de la totora.....	19
Figura 4: Estructura interna de la totora.	19
Figura 5: Corte de la fibra de cabuya.....	24
Figura 6: Proceso para la obtención de los hilos de cabuya.	25
Figura 7: Proceso de fabricación. Aislantes de origen sintético orgánico e inorgánico.	28
Figura 8: Proceso de elaboración de una estera pequeña.	31
Figura 9: Artesanías y objetos decorativos en la Plataforma Comercial UNCISA de Otavalo-Ecuador.	32
Figura 10: Mobiliario con totora.	33
Figura 11: Caballito de totora navegando en el Lago Titicaca-Perú.....	34
Figura 12: Proceso de construcción de las islas flotantes de los Uros.....	36
Figura 13: Vivienda de los Uros ubicada en el lago Titicaca.	37
Figura 14: Cubo de totora, ubicada en la provincia de Imbabura, Ecuador.....	38
Figura 15: Tableros de totoraecopack y su propuesta de aplicación en la arquitectura.....	39
Figura 16: Colchones de totora en cubiertas y muros del proyecto abrigando hogares en Puno, Perú.....	40
Figura 17: Proceso de producción de los hilos de cabuya.	41
Figura 18: Clasificación de la calidad de los hilos de cabuya.....	42
Figura 19: Productos en el Ecuador elaborados con los diversos tejidos con cabuya.	43
Figura 20: Elaboración de tablero de partículas finas con pulpa de cabuya.	44
Figura 21: Módulos para pared y tabiquería con fibras de cabuya.....	45
Figura 22: Aplicación de la cabuya en espacios interiores de una vivienda de interés social de la parroquia Totoras.....	46
Figura 23: Recubrimiento de pisos y cielo raso con paneles de cabuya.....	47
Figura 24: Materiales para la elaboración de probetas.....	49
Figura 25: Fibras de totora y cabuya trituradas.	51
Figura 26: Materiales para la prueba de absorción de humedad.	52
Figura 27: Aplicación de la metodología para la prueba de absorción de humedad.	53
Figura 28: Materiales para la prueba de caracterización de partículas.	54
Figura 29: Proceso para el tamizado de fibras de totora y cabuya.	55
Figura 30: Distribución de partículas de totora en % de acuerdo a número de tamiz.	56
Figura 31: Distribución de partículas de cabuya en % de acuerdo a número de tamiz.....	57

Figura 32: Caracterización de partículas de totora y cabuya.....	58
Figura 33: Partículas de cabuya que quedan en el tamiz N° 4.....	59
Figura 34: Prototipos de tableros tipo A, B y C.....	60
Figura 35: Dosificación 2: 1 para aglutinante.....	61
Figura 36: Primera prueba con dosificación 1:1:1.	61
Figura 37: Segunda prueba con dosificación 1:2.....	62
Figura 38: Tercera prueba con dosificación 1:2 más 10% de aglutinante.	63
Figura 39: Probetas tipo A y B.	66
Figura 40: Probeta tipo C.....	67
Figura 41: Materiales para la prueba de conductividad térmica mediante la metodología de los aparatos PASCO TD-8561.....	70
Figura 42: Aplicación de la metodología para el ensayo de conductividad térmica mediante el método de los aparatos PASCO TD-8561.....	73
Figura 43: Registro de focos térmicos con la cámara térmica.....	74
Figura 44: Materiales para la prueba de conductividad térmica mediante la conducción en paredes compuestas en estado estable.	76
Figura 45: Aplicación de la metodología descrita en el documento “Instrucción Manual HT11C”.	77
Figura 46: Materiales para el ensayo de absorción de humedad.	78
Figura 47: Materiales para ensayo de densidad.....	80
Figura 48: Comportamiento térmico de las cuatro pruebas a las probetas tipo A.....	83
Figura 49: Comportamiento térmico de las cuatro pruebas a las probetas tipo B y C.....	84

Índice de tablas

Tabla 1: Taxonomía del Schoenoplectus o Scirpus.	15
Tabla 2: Resultados del análisis del comportamiento térmico de elementos elaborados con totora mediante diferentes procesos productivos.	20
Tabla 3: Taxonomía de la especie Furcraea andina.	22
Tabla 4: Condiciones climáticas óptimas para el crecimiento de la cabuya.	23
Tabla 5: Producción de la cabuya.	24
Tabla 6: Unidades de medición para la conductividad térmica y la resistencia térmica.	26
Tabla 7: Dimensionamiento de las embarcaciones de totora en el Lago Titicaca-Perú.	34
Tabla 8: Contenido de humedad de las fibras trituradas de totora y cabuya.	53
Tabla 9: Distribución de partículas de totora de acuerdo al número de tamiz.	56
Tabla 10: Distribución de partículas de cabuya de acuerdo al número de tamiz.	57
Tabla 11: Dosificación para las probetas tipo A.	64
Tabla 12: Dosificación para las probetas tipo B.	64
Tabla 13: Coeficiente de absorción de agua por difusión de tableros de totora y cabuya en un periodo de 30 minutos.	79
Tabla 14: Densidad de los tableros de totora y cabuya.	80
Tabla 15: Análisis estadístico de las cuatro pruebas realizadas a las trece probetas.	82
Tabla 16: Conductividad térmica de materiales aislantes.	85

Dedicatoria

A Dios, por pintar el mundo con amor.

A mi familia, por convertir mi vida en una película maravillosa.

A mi pequeño Ángel, sé fuerte y valiente.

Agradecimiento

A mis amados padres por su amor.

A mí misma por no rendirme.

A Jane y Mary, por su amor incondicional.

A Denisse y Paulina, por su amistad.

A mis amigos que hicieron de mis días comunes días memorables.

A todos los profesores de la Universidad de Cuenca por compartir su conocimiento.

Al Arquitecto Juan Fernando Hidalgo por inspirarme a explorar nuevas formas de construir.

Introducción

La creciente conciencia sobre el impacto ambiental de los materiales de aislamiento térmico, derivados principalmente de fuentes no renovables como el petróleo, ha generado una búsqueda activa de alternativas sostenibles en el ámbito de la construcción (Palomo, 2017). Estos materiales convencionales no sólo están asociados con la liberación de gases de efecto invernadero durante su producción, contribuyendo al cambio climático y al deterioro ambiental (Aza, 2016), sino que también plantean preocupaciones sobre la disponibilidad a largo plazo de los recursos naturales utilizados en su fabricación.

En respuesta a esta problemática, surge la necesidad de explorar y promover el uso de materiales aislantes de origen natural que sean renovables, biodegradables y de bajo impacto ambiental. Entre estos materiales, la totora y la cabuya han ganado interés como alternativas viables para el aislamiento térmico en la construcción. La totora, conocida por su disponibilidad abundante y su historia de uso en aplicaciones arquitectónicas tradicionales, ha sido objeto de diversos estudios que destacan sus propiedades aislantes y su potencial para su implementación en edificaciones modernas (Aza, 2016). Además, la cabuya, con su larga historia de uso en América Latina para usos variados, incluyendo elementos de construcción y artesanías, presenta características mecánicas y térmicas que la hacen prometedora como material de refuerzo y aislante (Aguirre et al., 2023).

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo central explorar el potencial de las fibras de totora y cabuya como alternativas sostenibles para el aislamiento térmico en la construcción. A través de un análisis integral que abarca desde la caracterización de las propiedades físicas y térmicas de estas fibras hasta la evaluación de su desempeño en aplicaciones arquitectónicas, se busca contribuir al conocimiento y la promoción de soluciones constructivas más respetuosas con el medio ambiente. Además, se pretende fomentar la integración de estas fibras en la práctica arquitectónica contemporánea, aprovechando su potencial para mejorar la eficiencia energética de los edificios y reducir su huella ambiental.

Diseño de la investigación

I. Problemática y justificación

El sector de la construcción ostenta la responsabilidad de generar el 39% de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía y los procesos. Este elevado porcentaje se atribuye a las prácticas en la obra, el transporte y la manufactura de materiales de construcción (Dobrowolska, 2021, pág. 6). Este fenómeno no es exclusivo a nivel global, ya que, en el contexto ecuatoriano, la actividad constructiva también deja su huella ambiental, principalmente a través de la generación de residuos de materiales utilizados en la construcción (De Santis, 2018).

Los materiales más prevalentes, como el fibrocemento, el zinc, el bloque de concreto, los ladrillos y el cemento, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), son ampliamente empleados en las construcciones de edificaciones. No obstante, su elección no es fortuita, ya que, aunque se reconoce que generan una elevada huella de carbono, su utilización se percibe como una consecuencia de la falta de desarrollo industrial, personal técnico y respaldo tanto del sector público como privado (Daza, 2010). Esta situación refleja la necesidad de un impulso conjunto para alcanzar el desarrollo sostenible mediante la creación de materiales ecológicos que mitigan la contaminación ambiental.

En respuesta a esta problemática, se observa una creciente tendencia mundial hacia la búsqueda de materiales y técnicas constructivas que minimicen su impacto ambiental. De ahí que la elección de materiales biodegradables, como la madera, los bioplásticos y las fibras vegetales, se vuelva cada vez más popular. Este último grupo de materiales ofrece una amplia variedad de opciones y características, tanto físicas como mecánicas.

A pesar de que Latinoamérica alberga una gran cantidad de cultivos de plantas con fibras aprovechables para la arquitectura, su utilización aún es limitada. En Ecuador, el estudio sobre fibras vegetales y su incorporación en la construcción es escaso, reflejando un limitado interés por parte de la población en contribuir al desarrollo de materiales y técnicas constructivas ecológicas que fomenten la sustentabilidad en el proceso de edificación.

II. Objetivos

Objetivo general

Proponer el diseño de los componentes de un tablero aislante térmico con fibras naturales de totora y cabuya.

Objetivos específicos

- Analizar las propiedades aislantes de las fibras vegetales de totora y cabuya.
- Revisión sobre la aplicación de la totora y cabuya en la arquitectura.
- Construir un tablero aislante con fibras naturales de totora y cabuya.
- Analizar las propiedades aislantes del tablero de totora y cabuya.

III. Preguntas de investigación

¿Es factible producir un tablero aislante térmico con fibras naturales de totora y cabuya?

IV. Metodología

La propuesta actual para desarrollar un tablero aislante térmico con totora y cabuya se estructuró en dos fases claramente definidas. En la primera etapa, se llevó a cabo una detallada revisión de la literatura relacionada con estas fibras, con el propósito de obtener una comprensión profunda de sus propiedades como materiales aislantes y su aplicación en el ámbito arquitectónico. Además de sentar las bases teóricas del proyecto, esta fase permitió identificar brechas en el conocimiento existente, proporcionando así una perspectiva crítica para la investigación.

La fase subsiguiente tuvo una naturaleza experimental y se enfocó en la creación de tableros con diversas proporciones de totora y cabuya. El objetivo central de esta etapa fue determinar el coeficiente de conductividad térmica de cada material, lo que facilitó la evaluación de su eficacia como aislante. Este enfoque no solo proporcionó datos cuantitativos esenciales, sino que también permitió una evaluación práctica de la viabilidad y el rendimiento de los tableros resultantes.

La medición de la conductividad térmica en las muestras se llevó a cabo mediante dos métodos complementarios. Uno de ellos empleó un dispositivo basado en el modelo del aparato de PASCO TD-8561, previamente utilizado en estudios científicos sobre materiales como adobe, paja, piedra andesita y yeso (Holguino et al., 2018). La determinación del coeficiente térmico bajo este método se realizó mediante la ley de Fourier, aplicada a superficies sólidas que transmiten calor por convección.

Esta metodología implicó la aplicación de dos focos térmicos con temperaturas de 0°C mediante hielo y vapor de agua a 100°C en la superficie del tablero. La cantidad de hielo derretido por la temperatura ambiente y la cámara de vapor durante un periodo de 20 minutos desempeñó un papel crucial en la medición precisa del coeficiente de conductividad térmica.

Otra estrategia para medir el coeficiente de conductividad térmica involucró el uso del aparato HT11C, que evalúa la conductividad térmica mediante conducción en paredes compuestas en estado estable. La evaluación se llevó a cabo mediante la ley de Fourier, con la gradiente de temperatura controlada por la unidad HT10CX. Las variables a calcular fueron el voltaje y la intensidad de corriente, determinando así el flujo de calor en vatios. Además, el área y la temperatura fueron datos automáticamente recopilados por los aparatos, garantizando una evaluación precisa de las propiedades térmicas de las muestras.

Capítulo I

Marco teórico

1.1 La totora

1.1.1 Antecedentes

La totora, conocida como junco en Europa o denominada de esta manera en Latinoamérica, ha crecido en la intemperie de lagos y estanques de agua dulce o salada desde California hasta Chile, e incluso en varias islas del Pacífico (Hidalgo et al., 2022). Culturas ancestrales en países como Bolivia, Ecuador y Perú, como los Uros a lo largo del lago Titicaca y los habitantes de Otavalo alrededor del lago San Pablo, han aprovechado esta fibra en la construcción de viviendas, embarcaciones y objetos decorativos, así como en elementos funcionales, tradiciones que persisten hasta la actualidad.

Investigaciones indican que la morfología de la totora se compone de raíz, rizoma, hojas, inflorescencia, flores y frutos, que son utilizados de diversas formas. Para la aplicación en viviendas y artesanías, los tallos de totora presentan una estructura externa con corteza dura y una estructura interna esponjosa. Este aspecto ha sido especialmente aprovechado en la creación de elementos como esteras, que no solo brindan confort a las viviendas, sino que también se utilizan en la actualidad como elementos decorativos.

Debido al rápido crecimiento y adaptabilidad de la totora en diversos entornos, como en la región costera y sierra de Ecuador, esta fibra mantiene un desarrollo perenne y se cultiva fácilmente. La cosecha es posible dos veces al año, garantizando su abundancia gracias a su capacidad de renovación. La totora, que se desarrolla sumergida en el agua, puede alcanzar una longitud de aproximadamente 4 metros con un diámetro de 2,5 a 5 cm (González, 2020).

1.1.2 Taxonomía


De acuerdo con Hidalgo et al. (2018), la totora puede presentar variaciones físicas según su cultivo en distintas regiones del mundo. Esta diversidad ha llevado a varios investigadores a proponer la existencia de subespecies que se denominan con diferentes nombres taxonómicos, como “*Scirpus californicus* var. *tatora* (Kunth), *S. californicus* subsp. *Tatora* (Kunth) T. Koyama y *Schoenoplectus tatora* (Kunth), (...) *Schoenoplectus californicus* (CA Mey.) Soják” (párr. 3). Además, Hidalgo et al. (2018) señala que estos nombres son considerados sinónimos de *Schoenoplectus californicus* (CA Mey.) Soják. Por lo tanto, este estudio se enfocará en el análisis de la especie mencionada anteriormente.

En palabras de Hidalgo (2007), el género Schoenoplectus o Scirpus se define por lo siguiente:

Las especies dentro del género schoenoplectus o scirpus, se caracterizan por ser plantas acuáticas, de semillas pequeñas y oscuras; tallos de sección triangular, en algunos casos muy definida y en otros suavizada hasta asemejarse a óvalos o círculos. Las hojas en algunas especies aparecen sólo como pequeñas vainas en la base del tallo, mientras que en otras se las distinguen con claridad. La flor, siempre en la punta de los tallos, está formada de muchas flores pequeñas, agrupadas en capullos o dispersas. (p17)

A continuación se presenta la taxonomía del Schoenoplectus, también conocido como Scirpus.

Tabla 1: Taxonomía del Schoenoplectus o Scirpus.

	Reino	Vegetal
	Subreino	Plantas Vasculares
	Superdivisión	Plantas con semilla
	División	Plantas con flor
	Clase	Monocotiledónea
	Subclase	Commelinidae
	Orden	Cyperales
	Familia	Cyperaceae
	Genero	Schoenoplectus o Scirpus
	Especies	Schoenoplectus californicus

Fuente: González (2020); Hidalgo (2007).

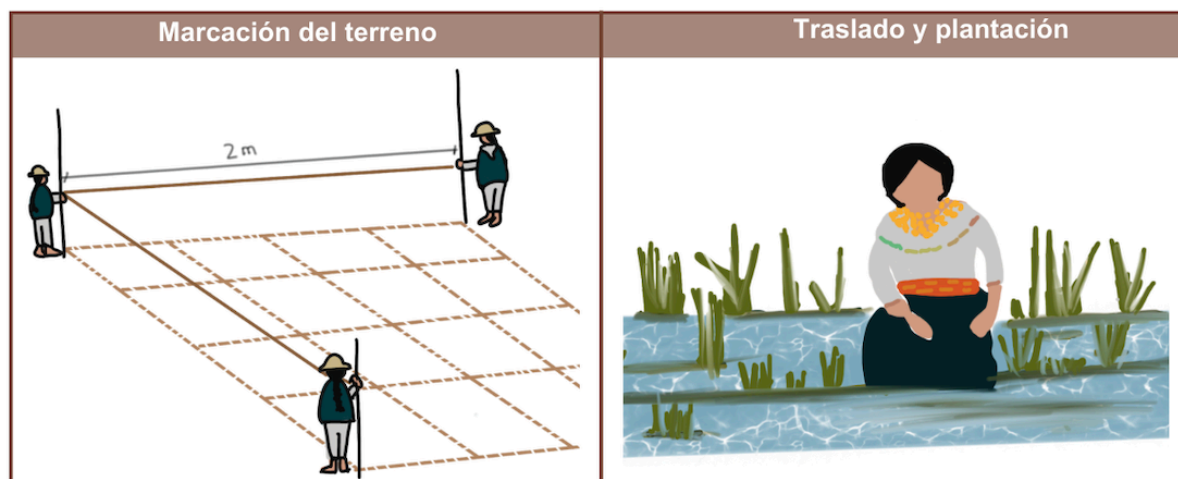
1.1.3 Siembra, cultivo y cosecha

La totora, planta perenne que crece de manera natural en lagos y pantanos, demuestra una notable versatilidad al desarrollarse en altitudes que oscilan desde el nivel del mar hasta los 4500 metros (Hidalgo et al., 2018). Para diversas comunidades ancestrales en Bolivia, Ecuador y Perú, la totora no solo representa un componente esencial de su entorno, sino también un recurso valioso que ha sido objeto de comercio a lo largo del tiempo. Este intercambio ha llevado a que las poblaciones locales opten por cultivar totora con el fin de comercializar como materia prima.

González (2020) destaca el proceso de siembra, cultivo y cosecha de la totora, señalando que requiere la colaboración de una cuadrilla promedio de 30 trabajadores, cuyo tamaño varía según el área de cultivo. Estas actividades son llevadas a cabo por parejas encargadas de delimitar, marcar el terreno, extraer, transportar y sembrar. De manera significativa, el personal capacitado puede lograr un rendimiento de hasta 1 hectárea por día.

En simultáneo, González (2020) detalla el inicio del proceso de siembra, que implica la preparación del sitio y la demarcación de una cuadrícula con una distancia de dos metros entre cada punto. Se emplea una cuerda para marcar los ejes, asegurando que las plantas se implanten en el centro de cada cuadrícula (Ver Figura 1). Luego, las plantas seleccionadas, con dos a cinco tallos que contienen yemas y rizomas para su cultivo, se preparan para ser trasladadas desde los semilleros hasta la orilla.

Figura 1: Actividades para la siembra de la totora.

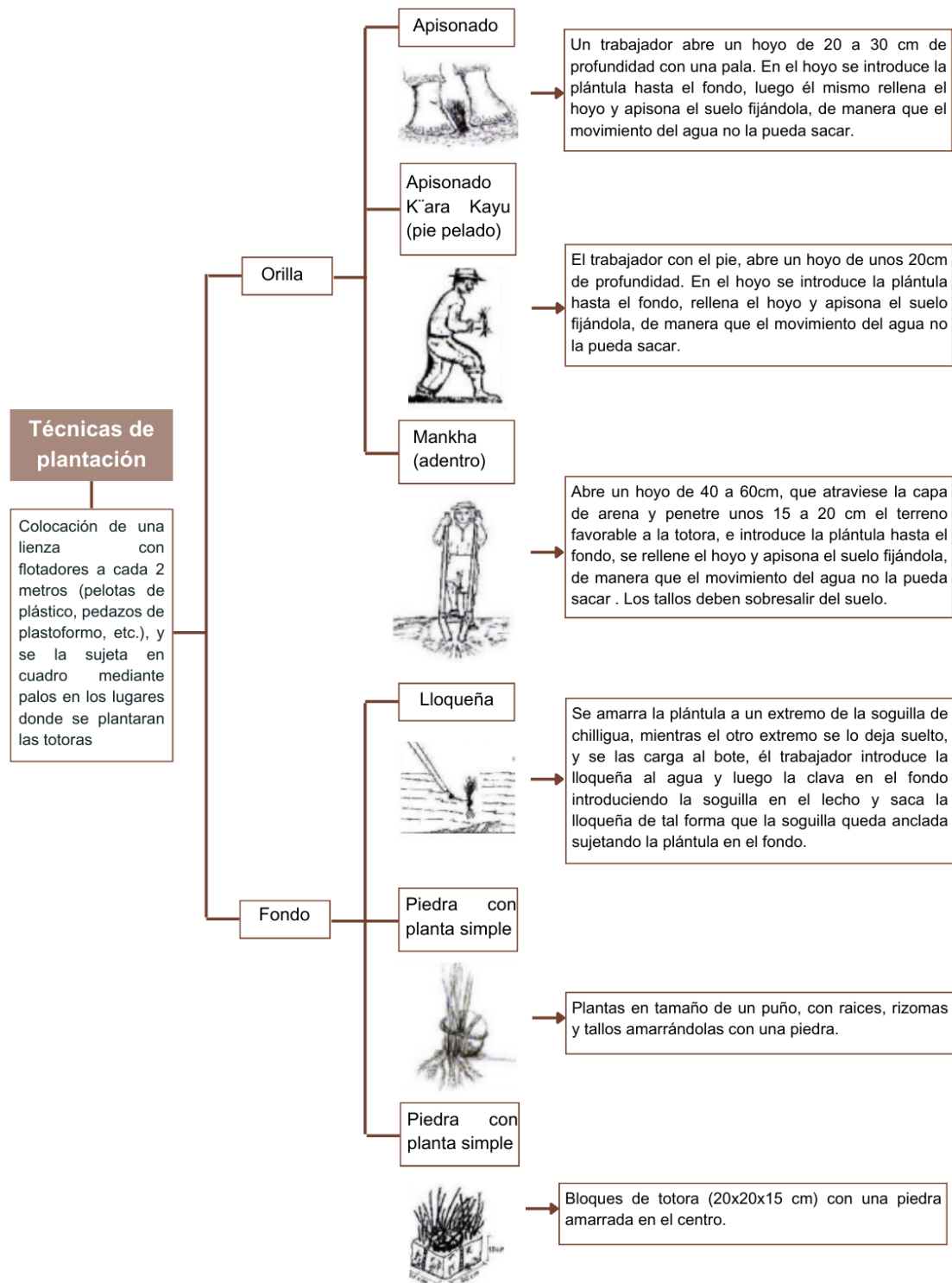


Fuente: González (2020); edición propia.

Adicionalmente, Gonzales (2020) presenta las dos técnicas de implantación de la totora (ver figura 2) y ofrece pautas esenciales para la siembra. Entre ellas, destaca que la elección de la técnica de implantación depende del tipo de suelo, subrayando la importancia de evitar suelos arenosos. Además, destaca la necesidad de enterrar las raíces a una profundidad de 50 cm bajo el agua y garantizar que la planta no sobrepase el nivel del agua. En caso contrario, se aconseja realizar un mantenimiento para redistribuir los trozos de raíces a otras áreas, proceso que debe repetirse cada cuatro a ocho años. También enfatiza la construcción de muros de contención para proteger la totora tierna del viento y prevenir su derribo. Por último, recomienda realizar evaluaciones periódicas de las plantaciones y reponer las plantas

que se hayan perdido, lo que contribuye a un manejo sostenible y eficiente de los cultivos a lo largo del tiempo.

Figura 2: Técnicas de reimplante de la totora.



Fuente: Gonzáles (2020, p.34).

Continuando con el estudio de la totora, investigaciones recientes han arrojado luz sobre las condiciones óptimas para su desarrollo. Se ha sugerido que para alcanzar un crecimiento óptimo de la fibra, se deben considerar profundidades de 30 a 70 cm. Contrariamente, un estudio en los pantanos del sur de los Estados Unidos indica que la longitud del rizoma no tiene un impacto significativo en la supervivencia de la totora. En este contexto, se concluye que esta planta acuática debe ser sembrada de forma emergente, según sugiere el estudio de Hidalgo et al. (2018).

Es esencial señalar que la totora, dada su naturaleza de crecimiento rápido, permite realizar dos cosechas al año para su aplicación en la construcción. Este hecho asegura un suministro constante de material proveniente de áreas de plantación relativamente pequeñas, con una producción anual promedio que alcanza las 50 toneladas por hectárea al año (Hidalgo et al., 2018).

En relación con el proceso de cosecha, González (2020) ofrece un detallado procedimiento:

- La cosecha se lleva a cabo dos veces al año.
- Durante el invierno, se realiza el corte de la totora "macho" para permitir el crecimiento de la totora "hembra" desde octubre hasta inicios de enero o abril.
- El corte mínimo del tallo se efectúa a unos 0.20 m por encima del nivel del agua.
- Concluido el corte, la totora se traslada a la orilla del lago para su secado, extendiéndose en una superficie plana durante aproximadamente dos semanas.
- Durante este periodo, la totora experimenta un cambio de tonalidad de verde a amarillo, atribuible a la filtración del agua contenida en las fibras.
- Tras el secado, las fibras son recolectadas y preseleccionadas según el uso previsto.

Este proceso de cosecha y secado no solo permite aprovechar de manera eficiente la totora, sino que también contribuye a la sostenibilidad del proceso productivo, garantizando un suministro constante y de calidad para diversas aplicaciones

Figura 3: Cortado y cosecha de la totora.

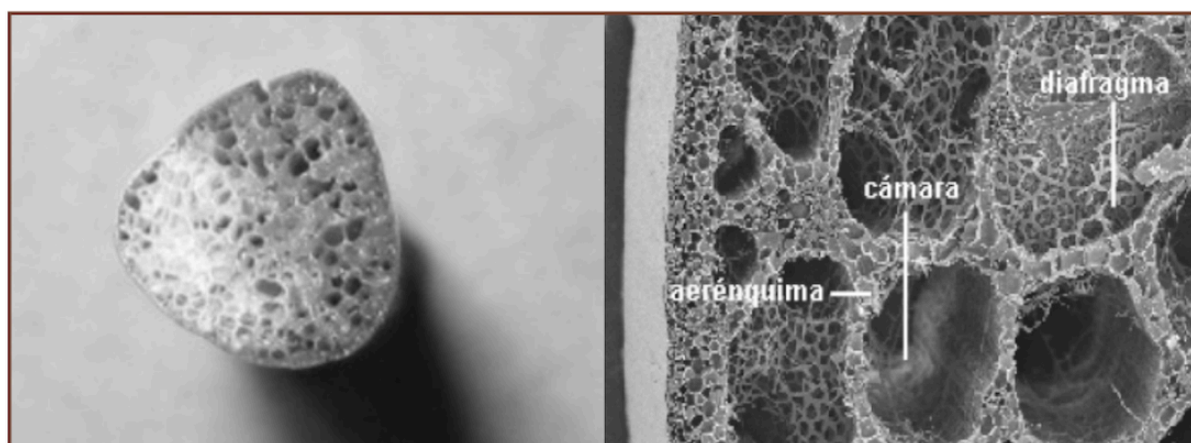


Fuente: (Propia).

1.1.4 Propiedades aislantes

En el artículo "Análisis del comportamiento térmico de elementos elaborados con totora mediante diferentes procesos productivos" de Hidalgo y Aza (2022), se destaca que la totora exhibe propiedades aislantes debido a la peculiar estructura interna de sus tallos. Esta estructura está conformada por tejido aerénquima, caracterizado por paredes celulares delgadas que encapsulan cámaras de aire, confiriendo a la fibra de totora una textura esponjosa y ligera.

Figura 4: Estructura interna de la totora.



Fuente: Hidalgo et al. (2018); Aza (2016).

El análisis se extiende al comportamiento térmico de tableros fabricados a partir de tallos de totora utilizando diversos métodos de producción. En el primer enfoque, se examina el tablero

de partículas encolado, donde tallos de totora se unen con distintos tipos de pegamentos. El segundo elemento estudiado es el tablero sin aglomerante, en el cual se emplean diversas partes del tallo, utilizando calor y presión para la unión.

Los resultados detallados en la Tabla 2 del estudio revelan variaciones significativas en los valores de conductividad térmica, los cuales oscilan entre 0,05 W/(mK) y 1.1 W/(mK) (Hidalgo et al., 2022). Esta diversidad de valores destaca la influencia de los procesos de producción en las propiedades térmicas de los tableros de totora.

Tabla 2: Resultados del análisis del comportamiento térmico de elementos elaborados con totora mediante diferentes procesos productivos.

Conductividad térmica		
Proceso productivo	Valores	W/(mK)
Tableros de partículas encolados	Promedio	0,057
Tableros sin aglomerante	Promedio	0,103

Fuente: Hidalgo et al (2022).

De manera específica, se observa que los tableros sin aglomerantes, elaborados mediante la utilización de diferentes tejidos presentes en el tallo de la totora, exhiben variaciones notables en sus propiedades físicas y térmicas. Además, se plantea la interesante posibilidad de emplear la médula de la totora, lo que podría conducir a la creación de elementos con mejores propiedades de aislamiento térmico y mayor ligereza (Hidalgo et al., 2022). Estos hallazgos abren nuevas perspectivas para la aplicación de la totora en la construcción de materiales con características térmicas mejoradas.

1.2 La cabuya

1.2.1 Antecedentes

Furcraea andina es una planta nativa que crece en zonas cercanas a las regiones montañosas de los Andes. Su capacidad de adaptación notable ha permitido su expansión por otras regiones de América del Sur (Rúa et al., 2021). La morfología de la cabuya se caracteriza por rosetas de hojas grandes y carnosas, así como un tronco central corto cubierto de numerosas hojas espinosas, semejantes a las del género *Agave L.* La planta alcanza su madurez desarrollando en el centro de las hojas un escapo floral que puede llegar a medir entre 10 y 12 metros de longitud.

En Ecuador, se encuentran dos especies del género *Furcraea*: la cabuya negra (*Agave americana L.*), utilizada como materia prima para elaborar el "chawar mishki" (pulque), y la

cabuya blanca (*Furcraea andina*), de la cual se extrae la fibra de las hojas para la fabricación de bolsos, cuerdas, costales, alfombras, pulque y papel (Criollo et al., 2011). Ambas especies de *Furcraea* se cultivan en varias provincias ecuatorianas, como Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo, Azuay, Cañar, Loja, Guayas y Manabí (FAO, 1994).

El estudio de Aguirre et al., (2023) revela que el desarrollo de varias culturas ecuatorianas, como Cayambes, Caranquis, Kitukara, Panzaleos, Salasakas, Puruháes, Chibuleos, Warankas, Kañaris y Saraguros, ha estado vinculado a los diversos usos de la raíz, tallo, hojas, escapo floral y flores de la cabuya. Desde tiempos prehispánicos, ha sido empleada como material para cordelería, textilera, materiales constructivos como vigas y cuerdas, detergentes, medicina y forrajes.

Aunque los usos han disminuido en la actualidad, las comunidades indígenas puruhaes aún elaboran productos como chimbas, sogas, shigras y sacos a partir de los hilos de la cabuya, los cuales son comercializados en mercados y plazas de la provincia de Riobamba.

1.2.2 Taxonomía

Se han identificado aproximadamente 20 especies pertenecientes al género *Furcraea*, al que también pertenece la cabuya, gracias al análisis de diversas características físicas presentes en su morfología. Es frecuente la confusión de este género con el género *Agave*, dado que la planta de *Furcraea* exhibe una morfología notablemente similar. Además, es común que se le confunda erróneamente con nombres como *Fourcroya* o *Froea*, según señaló Pérez en 1974.


Con base a la investigación que ha elaborado Pérez en 1974 se indican las siguientes características del género *Furcraea*.

Las plantas del género *Furcraea* forman rosetas de hojas grandes y carnosas, semejantes a las de muchas especies del género *Agave*, pero, en vez de la fuerte y grande espina terminal de las hojas de esta última, terminan en pequeñas puntas coriáceas, o, en veces, pueden tener una pequeña y débil espina. Las flores de las *Furcraea* son numerosas, péndulas y blanco-verdosas, en cambio las del género *Agave* son amarillas y en racimos erectos. Los pétalos de las flores de *Furcraea* son libres, al paso que los de *Agave* son soldados y forman un tubo hasta la mitad inferior de su longitud (...). (p1)

En el Ecuador, una de las especies que crece es la *Furcraea andina*, la cual forma parte de las distintas especies dentro del género *Furcraea*. A esta planta popularmente se la conoce

como: fique, cabuya blanca, cabuya, maguey, rabo de chucha, penca y chunta pacpa en el Perú (Pérez, 1974). Este estudio se centra en el análisis taxonómico general de la especie *Furcraea andina*, buscando profundizar en su clasificación y características distintivas.

Tabla 3: Taxonomía de la especie *Furcraea andina*.

	Reino	Vegetal
	División	Spermatophyta
	Clase	Angiospermae
	Subclase	Monocotyledonae
	Orden	Liliiflorae (Liliales)
	Familia	Agaváceae
	Genero	<i>Furcraea</i>
	Especies	<i>Furcraea andina</i>

Fuente: Tumbaco (2022); Pérez (1978).

1.2.3 Siembra, cultivo y cosecha

Furcraea andina, también conocida como cabuya, florece en las vertientes occidentales de los Andes y en los valles interandinos semiáridos de América del Sur, según lo indicado por Iannacome et al. en 2013. Su presencia en distintas partes del continente ha sido un elemento fundamental en el desarrollo de las culturas prehispánicas. Con la llegada de los españoles al continente, se evidenció su potencial, convirtiéndose así en una de las primeras fibras en ser procesada para su comercialización, tal como lo señala Baldeón en 2013.

En este contexto, diversas investigaciones han surgido describiendo metodologías y recomendaciones para el cultivo de la cabuya. Baldeón (2013) destaca que los suelos lateríticos, de texturas medianas, con contenido sílico-arcilloso, resultan ser los más propicios para el cultivo de esta planta. Además, se subraya que la siembra de cabuyas en zonas áridas y semiáridas permitiría aprovechar áreas improductivas, según Criollo et al. (2010, p.2). En la tabla 4 se presentan las condiciones climáticas óptimas para su crecimiento.

Tabla 4: Condiciones climáticas óptimas para el crecimiento de la cabuya.

Temperatura	19 a 23°C
Altura	1.300 a 2000m
Humedad relativa	50% y 70%
Precipitación	1.000 a 1.600 mm
Luminosidad	5 a 6 horas diarias

Fuente: Baldeón, (2013).

Por otro lado, Checa (2001) detalla el proceso productivo para el cultivo, siembra y cosecha de la cabuya. Aunque el cultivo puede llevarse a cabo en cualquier época del año, se recomienda realizarlo durante la temporada de lluvias para mejorar el rendimiento. La siembra implica la preparación y limpieza del terreno, la creación de hoyos a una distancia de 1,5 metros entre cada eje para colocar las semillas o trasplantar la planta de cabuya, y la recomendación de dejar un acceso entre las plantas de 3 a 4 metros para facilitar el corte de las hojas.

Existen dos métodos de siembra: el primero utiliza bulbillos de plantas maduras o partes del tallo floral, así como hijuelos que nacen a lo largo del tronco, los cuales son trasplantados a los hoyos. El segundo método implica la creación de semilleros en un vivero. Para el cultivo de los semilleros, se recomienda utilizar semillas maduras, asegurarse de que el suelo esté adecuadamente abonado y limpio, y espaciar las semillas a una distancia de 20 x 20 centímetros. Cuando las semillas, convertidas en plántulas de cabuya, alcancen aproximadamente 60 cm de altura, deben ser trasplantadas en los hoyos.

Antes de la cosecha de la fibra de cabuya, se realiza la práctica de "desbajera", que consiste en cortar las hojas dañadas en contacto con el suelo y que se han secado, marcando así el primer corte. El corte se lleva a cabo con un machete, manteniendo un ángulo no menor a 40° con respecto al eje vertical de la planta. La Figura 5 ilustra este proceso según Camargo (2022).

Figura 5: Corte de la fibra de cabuya.



Fuente: Camargo, (2022).

Las condiciones geográficas determinan el tiempo y la cantidad de hojas que se cosecharán. En Ecuador, la región de la Sierra, con altitudes entre 1500 y 3000 metros, según la información del portal Bioweb de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en mayo de 2023, influye en la producción de cabuya, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Producción de la cabuya.

Producción de la Cabuya		
Altura (m)	Tiempo de cosecha (años)	Cantidad de hojas por planta
Alrededor de 1700 m	2,5 a 3 años	Promedio de 50 hojas
Sobre los 2200 m	3,5 a 4,5 años	Promedio de 20 hojas

Fuente: Jurado, (2001).

Una vez que la fibra está madura, aproximadamente en 4 a 5 años, las hojas de la cabuya se cortan y cosechan para someterlas a subprocesos que permitan obtener los hilos de cabuya. Estos procedimientos han evolucionado a lo largo del tiempo, pasando de un proceso manual a uno industrial. La figura 6 describe uno de los procedimientos para la obtención de los hilos de cabuya.

Figura 6: Proceso para la obtención de los hilos de cabuya.



Fuente: Tumbaco, (2022).

1.2.4 Propiedades aislantes

La fibra de cabuya ha suscitado un creciente interés en el ámbito de la construcción como material, lo que ha impulsado una investigación más profunda sobre sus propiedades mecánicas. No obstante, los estudios consultados hasta ahora no han abordado las propiedades aislantes de la cabuya ni han establecido valores específicos de su conductividad térmica.

En contraste, un estudio llevado a cabo por Vera en 2018, titulado "Estudio del rendimiento acústico y térmico de la fibra de cabuya como panel para revestimiento de paredes", se enfocó en la fabricación de paneles revestidos de Plywood y MDF con fibras de cabuya, así como en paneles sin revestimiento. El objetivo era analizar su impacto en el ruido y la temperatura.

Los resultados de este estudio indican que los paneles de madera revestidos con fibra de cabuya tienen la capacidad de absorber bajas temperaturas y mantener un ambiente cálido. En climas con temperaturas superiores a los 30 grados Celsius, se observó que la temperatura se mantiene en un promedio de 25 grados (Vera, 2018).

Una aproximación más precisa respecto al coeficiente de conductividad térmica de la *Furcraea andina* se presenta en el estudio titulado "El Fique como aislante térmico", realizado por Muñoz et al. en 2007. Este estudio se centra en el comportamiento térmico de la *Furcraea macrophylla*, una planta que crece de manera espontánea en Colombia y es cultivada por las comunidades indígenas de ese país. Esta fibra es utilizada en la confección de vestimenta, redes y cuerdas, así como para la protección corporal y como material de empaque para la preservación de alimentos.

Para llevar a cabo el ensayo, se fabricaron probetas de 10 x 10 x 1 cm. Los resultados, obtenidos tras promediar las mediciones, revelaron que el coeficiente térmico de la *Furcraea macrophylla* oscila entre 0,045 y 0,032 W/(m°C). Estos hallazgos aportan valiosa información sobre las propiedades aislantes de la cabuya y su potencial aplicabilidad en la industria de la construcción.

1.3 Sistemas de aislamientos

Los materiales con propiedades de aislamiento térmico se caracterizan por la presencia de bolsas de aire que retardan el flujo de calor, otorgándoles una naturaleza heterogénea. Esta peculiaridad se traduce en una baja conductividad térmica y una alta resistencia térmica, factores que desempeñan un papel crucial en el ahorro y la eficiencia energética de las edificaciones, según lo afirmado por Viteri en 2017.

La capacidad aislante de un material se evalúa mediante dos parámetros fundamentales: la conductividad térmica, que mide la habilidad del material para conducir el calor hacia una superficie, y la resistencia térmica, la cual es inversamente proporcional a la conductividad térmica. Las unidades de medida correspondientes se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 6: Unidades de medición para la conductividad térmica y la resistencia térmica.

Medición	Unidad de medida
Conductividad térmica	λ con unidades W/ (m°K)
Resistencia térmica	m ² . K/W (metro cuadrado y kelvin por vatio).

Fuente: Aza, (2016).

Estas medidas proporcionan una base cuantitativa para comprender y comparar las propiedades aislantes de diferentes materiales, guiando así las decisiones en el diseño y construcción de edificaciones con un enfoque en la eficiencia energética y la sostenibilidad.

1.3.1 Aislamientos térmicos convencionales y su impacto ambiental

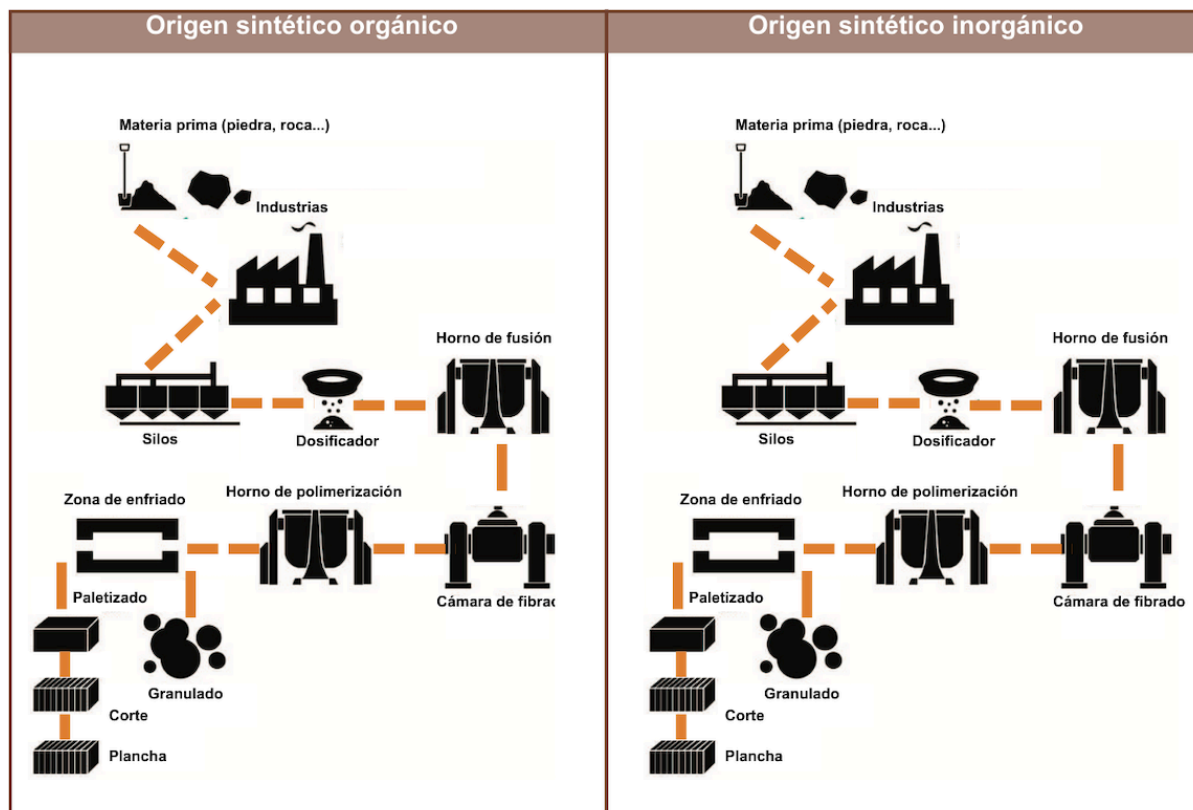
Los aislantes térmicos de origen sintético, ya sean orgánicos o inorgánicos, suscitan preocupaciones ambientales significativas debido a los procesos de fabricación asociados y al uso de materiales derivados del petróleo o vinculados al carbón. Asimismo, la presencia de compuestos químicos y la exposición de la materia prima a altas temperaturas añaden una capa adicional de inquietudes en términos de sostenibilidad y salud.

Estos procesos manufactureros desencadenan diversos problemas medioambientales, entre los cuales se destaca el agotamiento de combustibles y la emisión de gases de efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno. Estas emisiones contribuyen al calentamiento global y a la degradación de la capa de ozono, agravando los desafíos ambientales a escala global.

Además, se han registrado efectos negativos en la salud humana, como conjuntivitis y problemas pulmonares, debido a la liberación de partículas tóxicas presentes en la mayoría de los aislantes de lana mineral, según lo señalado por Aza en 2016. Estos impactos en la salud resaltan la necesidad crítica de reconsiderar la elección de materiales aislantes y explorar alternativas más sostenibles y respetuosas con el entorno.

La figura 7, que ilustra el proceso de fabricación de aislantes de origen sintético, tanto orgánicos como inorgánicos, proporciona una visualización clara de los desafíos medioambientales asociados. Este enfoque gráfico, basado en la obra de Palomo en 2017, contribuye a una comprensión más completa de la cadena de producción y sus implicaciones ambientales, sirviendo como recordatorio visual de la importancia de adoptar prácticas más amigables con el entorno en la industria de los aislantes térmicos.

Figura 7: Proceso de fabricación. Aislantes de origen sintético orgánico e inorgánico.



Fuente: Palomo, (2017).

1.3.2 Aislantes térmicos de fibras vegetales

Los aislantes térmicos elaborados a partir de fibras vegetales se componen de materiales extraídos tanto de fuentes animales, como la lana de oveja y las plumas, como de fuentes vegetales, entre las que se incluyen la madera, la paja, el cáñamo, el corcho y el algodón, entre otros. La selección de estas materias primas responde a su origen natural, lo que contribuye a la sostenibilidad y a procesos de fabricación ecológicos, enfocados en minimizar la contaminación, según lo destacado por Palomo en 2017.

El proceso de producción de estos aislantes térmicos, principalmente compuestos por fibras vegetales, abarca diversas etapas, entre las que se cuentan la recolección, el secado y la trituración. Es crucial destacar que, como medida preventiva, se someten a tratamientos destinados a evitar la proliferación de insectos y mejorar sus propiedades ignífugas, tal como resalta Palomo en su investigación de 2017.

Un atributo distintivo de estos aislantes térmicos radica en su carácter no tóxico, además de su facilidad para ser reciclados. Esta característica, combinada con su contribución a la reducción del consumo energético en la construcción, se debe a las excelentes propiedades

de aislamiento térmico que presentan las fibras vegetales. Es importante subrayar que el proceso de producción de estos aislantes opera con bajos niveles de consumo energético, tal como señala Aza en 2016.

1.3.3 Ventajas en la utilización de las fibras vegetales como material de aislamiento

La utilización de fibras vegetales como material de aislamiento se traduce en una serie de ventajas significativas, según Aza en 2016. A continuación, se detallan estas ventajas, destacando sus múltiples beneficios:

1. Sostenibilidad:

- Provenientes de recursos renovables, estas fibras se caracterizan por su fácil disponibilidad.
- Su naturaleza biodegradable reduce considerablemente su impacto ambiental.
- Los procesos de fabricación están orientados a minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Partes desechadas por las industrias pueden ser reutilizadas en la elaboración de aislantes térmicos, promoviendo prácticas más sostenibles y cerrando ciclos de producción.

2. Propiedades aislantes

- Permiten la transpiración de las viviendas, al mismo tiempo que bloquean la entrada de corrientes de aire no deseadas.
- Presentan una alta capacidad térmica, hasta tres veces mayor que los aislantes convencionales, lo que les confiere cierta inercia térmica que favorece la regulación de la temperatura interna.
- Actúan como efectivos aislantes acústicos, tanto para ruidos aéreos como para ruidos de impacto, mejorando la calidad del ambiente habitable.

3. Salud y seguridad:

- Al ser materiales no tóxicos, siempre y cuando no contengan sustancias o aditivos perjudiciales para la salud, las fibras vegetales contribuyen a la creación de ambientes saludables y seguros.

4. Propiedades físicas:

- Caracterizadas por su baja densidad y peso ligero, estas fibras vegetales ofrecen soluciones de aislamiento que no comprometen la estructura ni aumentan la carga en las construcciones.

Capítulo II

Aplicación de la totora y cabuya

2.1. Introducción

Desde tiempos inmemorables, las fibras vegetales han sido una parte intrínseca de la historia de la humanidad, sirviendo como un vínculo tangible con la identidad, sabiduría y evolución a lo largo de diversas culturas en todo el mundo. La totora y la cabuya, como ejemplos emblemáticos, no solo han proporcionado a los seres humanos vestimenta, medicina y alimento, sino también materiales que han dejado su huella en ámbitos culturales, sociales, económicos y, especialmente, en la construcción de viviendas.

A pesar de la trascendental importancia histórica de las fibras vegetales, su empleo ha experimentado un declive con la llegada de fibras sintéticas. Esta transición ha llevado a una restricción en la aplicación de la totora y la cabuya, limitando sus usos más comunes a la elaboración de artesanías, elementos decorativos y muebles.

Sin embargo, el propósito fundamental de este capítulo es destacar proyectos que buscan revitalizar las técnicas constructivas basadas en la totora y la cabuya. Además, se pretende evidenciar la existencia de iniciativas que colaboran activamente con comunidades que continúan utilizando estas fibras hasta la fecha. A partir de estos conocimientos, han surgido nuevas técnicas constructivas y diseños que posicionan a estas plantas como materiales competentes para su aplicación en edificaciones.

Este enfoque no solo representa un retorno a las raíces culturales y tradicionales, sino que también destaca la capacidad de adaptación y sostenibilidad de estas fibras en la contemporaneidad. La integración de la totora y la cabuya en proyectos constructivos no solo aporta beneficios prácticos, sino que también contribuye a preservar y enriquecer el legado cultural asociado con estas valiosas fibras vegetales.

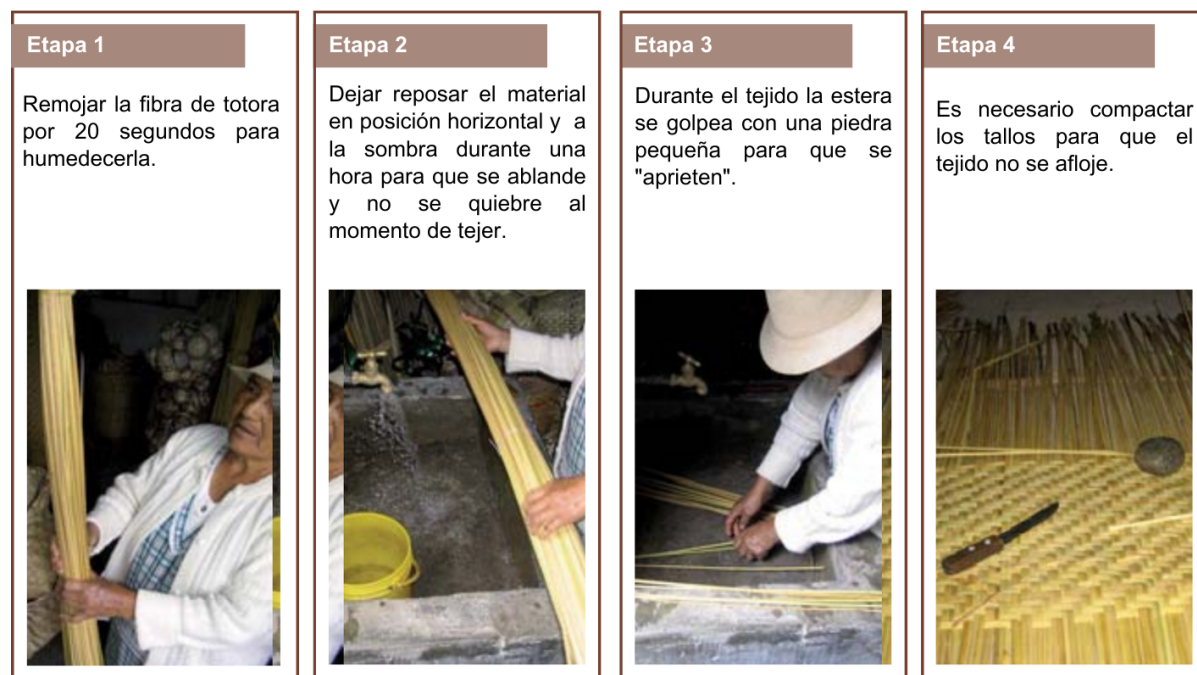
2.2. Totora

2.2.1 Usos y aplicaciones tradicionales

La totora (*Schoenoplectus californicus*, CA Mey, Sojak) emerge como una fibra vegetal con más de 500 años de historia en el tejido cultural de las comunidades indígenas en América (Hýshová et al., 2020). Su versatilidad trasciende los límites de la flora, participando en distintos ámbitos como la medicina, donde se ha consumido como infusión para aliviar malestares estomacales y utilizado como ceniza para tratar quemaduras. Además, se ha erigido como un recurso invaluable para la alimentación del ganado y el ser humano. Su presencia se extiende más allá de la naturaleza, posicionándose como un elemento comercial fundamental en la creación de artesanías, muebles, objetos decorativos, sombreros, esteras y embarcaciones (Contreras et al., 2022).

En Ecuador, uno de los destinos primordiales de la totora es la elaboración de esteras, como se aprecia en la Figura 8. Estos objetos multifuncionales sirven como revestimientos para pisos, paredes y cielos rasos, demarcadores de espacios, tapetes y bases de cama, constituyendo una parte esencial de la identidad cultural y comercial de la región (Hidalgo, 2007). Su comercialización se lleva a cabo en plazas dedicadas a objetos artesanales, distribuidas a lo largo de la región sierra de Ecuador.

Figura 8: Proceso de elaboración de una estera pequeña.



Fuente: Hidalgo, (2007); edición propia.

A pesar de las notables propiedades aislantes, tanto térmicas como acústicas, que caracterizan a las esteras de totora, como señala Hidalgo (2007), enfrentan retos relacionados con la conservación. La ausencia de tratamientos para resistir la intemperie o la humedad las deja vulnerables a la proliferación de hongos, lo que puede resultar en su putrefacción.

Aunque los revestimientos plásticos han disminuido la demanda de esteras de totora como aislante, comunidades locales han buscado revitalizar su comercio explorando nuevas formas de uso. La fabricación de artesanías y objetos decorativos ha sido una respuesta innovadora, destacando la diversidad de tejidos y técnicas de tinturado en la fibra, como se observa en la Figura 9. Este renacer comercial ha suscitado un creciente interés entre decoradores de interiores que buscan acabados rústicos para viviendas.

Figura 9: Artesanías y objetos decorativos en la Plataforma Comercial UNCISA de Otavalo-Ecuador.



Fuente: (Propia).

En paralelo, la totora se erige como materia prima en la fabricación de muebles y objetos domésticos en Ecuador. Destacados fabricantes, como Juan Fernando Hidalgo en los alrededores del Lago San Pablo en Imbabura y en la provincia del Azuay, fusionan la totora con diseños contemporáneos, adaptando la fibra a la funcionalidad y estética de los hogares. La Figura 10 ofrece una visión de algunos de sus diseños.

Figura 10: Mobiliario con totora.

Fuente: Juan Fernando Hidalgo, (2013).

En Bolivia, Ecuador y Perú, la totora desempeña un papel destacado como material primordial en la construcción de embarcaciones, siendo más conocidas como los "caballitos de totora" en la región peruana. Estos botes, arraigados en la tradición pesquera desde épocas preincaicas, han experimentado una evolución en su uso a lo largo del tiempo. Actualmente, han trascendido su función original y se han convertido en un medio de transporte esencial para turistas, residentes locales y pescadores artesanales que operan en el majestuoso Lago Titicaca, como se aprecia en la Figura 11.

Según González (2020), los "caballitos de totora" se categorizan según su tamaño, adoptando una forma distintiva que evoca a un caballito de mar, de ahí su denominación, ver tabla 7. La construcción de estas embarcaciones se lleva a cabo con la fibra de totora previamente seca, la cual se agrupa formando un rollo que se asegura con sogas. Posteriormente, cada rollo se une a otro mediante cuerdas, resultando en una estructura unificada.

A pesar de su construcción sostenible, estas embarcaciones no reciben tratamiento alguno para preservarlas de la humedad del agua, lo que incide en su durabilidad. En el caso de las embarcaciones medianas, su tiempo de vida útil es aproximadamente de un año si permanecen sumergidas durante todo ese periodo (Hidalgo, 2007).

La totora, en su multiplicidad de usos y adaptaciones, tejida en el trasfondo cultural y comercial de diversas regiones, revela su extraordinaria versatilidad y la riqueza de su historia y tradición.

Figura 11: Caballito de totora navegando en el Lago Titicaca-Perú.



Fuente: Vallejo, (2022).

Tabla 7: Dimensionamiento de las embarcaciones de totora en el Lago Titicaca-Perú.

Dimensionamiento	Medidas	Capacidad de carga	Usos
Grandes	Longitudes de 10 a 20 metros.	De 20 a 30 personas	Se utiliza como transporte para turistas.
Medianos	Longitud de 4 metros y 0,80 metros de ancho.	-----	Se utiliza para la pesca artesanal, transporte de bultos pequeños y caza.
Pequeños	Longitud inferior a 4,00 metros	-----	Se utiliza en zonas costeras para el transporte y pesca.

Fuente: González (2020); edición propia.

2.2.2. Usos y aplicaciones en la arquitectura

La totora, con sus propiedades físicas, mecánicas y aislantes cautivadoras, se ha consolidado como un material de construcción de creciente relevancia en el ámbito de la arquitectura contemporánea. Su potencial innovador no solo ha captado la atención de expertos, sino que ha sido objeto de exhaustivas investigaciones y experimentación, revelando su versatilidad y capacidad para desafiar los paradigmas tradicionales.

En el continente americano, con especial énfasis en países como Ecuador y Perú, la totora ha desempeñado un papel protagónico en diversos proyectos arquitectónicos a lo largo de la historia hasta la actualidad. La abundante presencia de esta fibra en estas regiones ha inspirado la creación de obras que trascienden las convenciones, fusionando la tradición con la modernidad en un abrazo arquitectónico único.

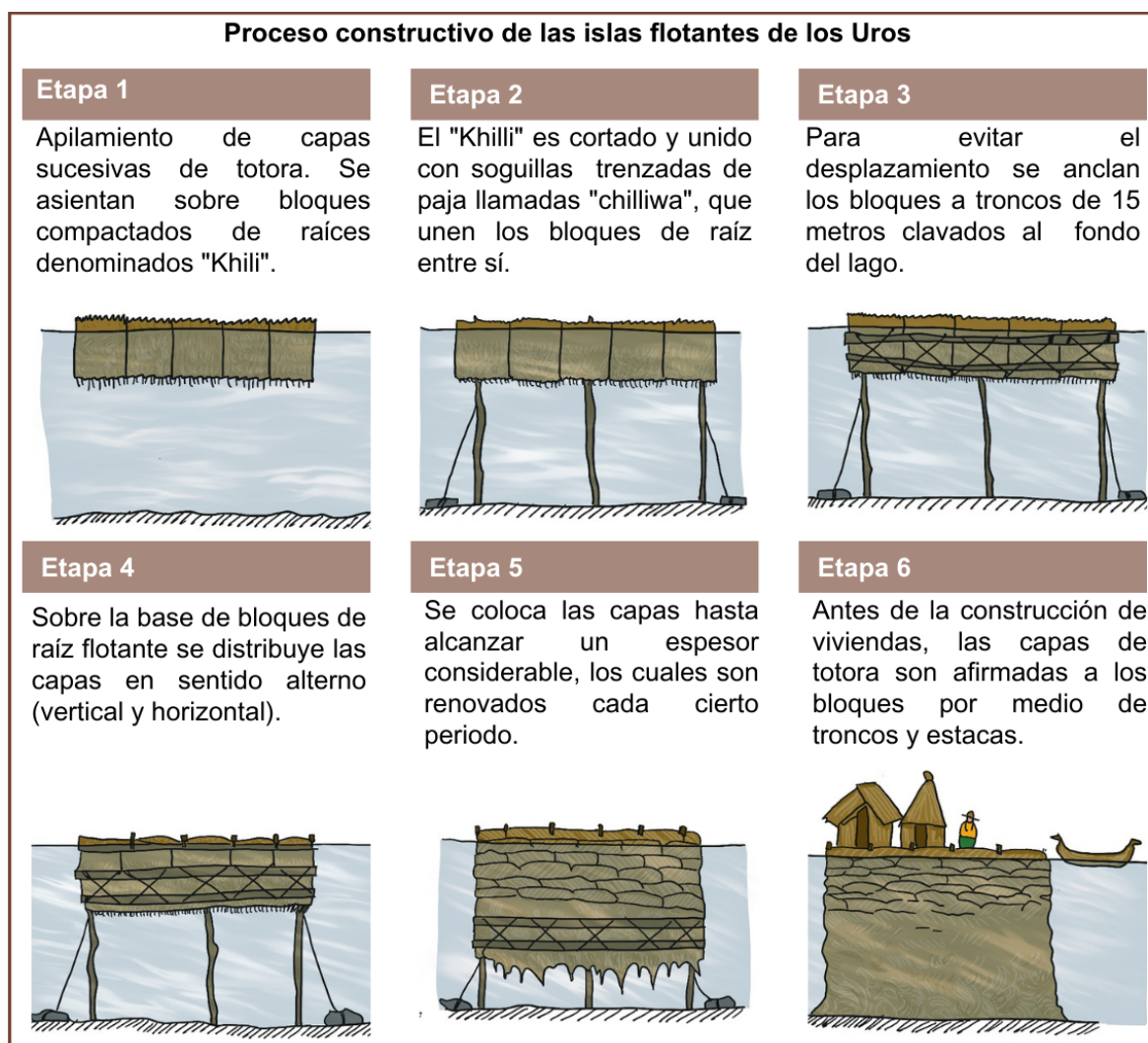
A continuación, se presentan ejemplos significativos de obras arquitectónicas que han integrado la totora, dando vida a construcciones innovadoras y sostenibles.

- **Isla flotante de los Uros**

Las islas flotantes de los Uros, ubicadas en el lago Titicaca entre Perú y Bolivia, representan un testimonio tangible de la capacidad transformadora de la totora en la arquitectura ancestral. Surgieron como respuesta a la expansión del imperio Inca, que desafió al pueblo de los Uros a desarrollar técnicas y conocimientos para subsistir, especialmente en el manejo de la totora. Utilizando este material versátil, los Uros edificaron su propio hábitat, que abarcaba desde viviendas hasta embarcaciones y artesanías, convirtiéndose en una expresión arquitectónica única.

El proceso constructivo para la edificación de la isla flotante de los Uros se detalla en la figura 12. Cabe destacar que estas islas persisten en la actualidad y sirven como hogar para el pueblo de los Uros. Su durabilidad puede alcanzar hasta 23 años (National Geographic, 2018).

Figura 12: Proceso de construcción de las islas flotantes de los Uros.



Fuente: Aza, (2016); edición propia

- **Vivienda de los Uros**

Las viviendas, construidas sobre las plataformas de totora en la isla de los Uros, ofrecen un alto nivel de confort gracias a las propiedades térmicas de la fibra. Cada vivienda, con una superficie de 18 m² (6x3 m), está compuesta por una estructura de madera recubierta con esteras de totora en las paredes y la cubierta. Las esteras, con dimensiones de 9m de longitud, 2,40 m de ancho y un espesor de 0,03 a 0,05 m, se sujetan a la estructura mediante clavos. Además, estas viviendas tienen una vida útil de 20 a 30 años, dependiendo del mantenimiento brindado.

Figura 13: Vivienda de los Uros ubicada en el lago Titicaca.



Fuente: Enzo, (2022).

- **Cubo de Totora**

El proyecto desarrollado por ARQUID en la parroquia de San Rafael de Otavalo, Imbabura, Ecuador, tiene como objetivo rescatar conocimientos ancestrales sobre el uso de la totora. La colaboración entre arquitectos, artesanos, la academia y el gobierno culminó en la construcción de estructuras modulares cúbicas de 3 metros de lado. Estas estructuras, elaboradas con madera y revestidas con tejidos artesanales, resaltan la identidad cultural del pueblo Otavalo y visibilizan la aplicación de la totora en proyectos arquitectónicos.

Figura 14: Cubo de totora, ubicada en la provincia de Imbabura, Ecuador.



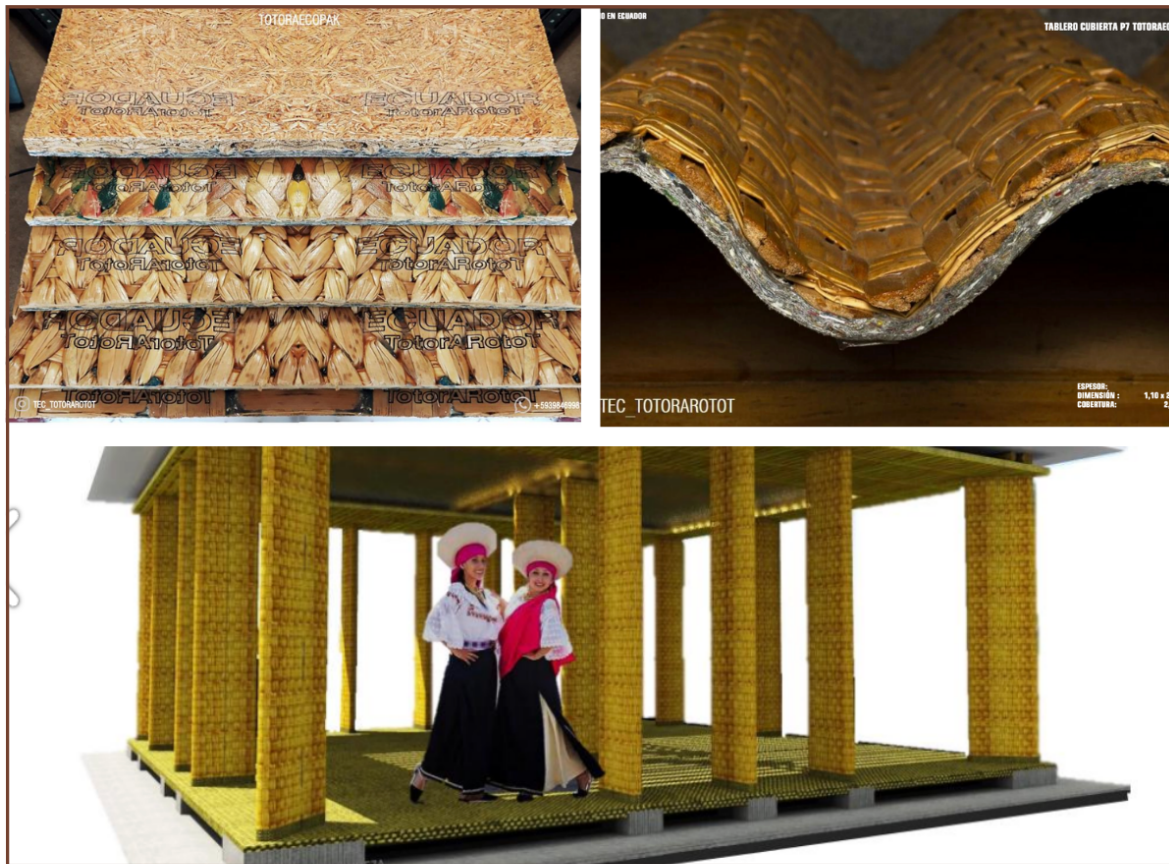
Fuente: Lerner, (2020).

- **Tableros de Totoracopack**

Desde 2014, el investigador Oscar Jara y la colaboradora artesanal Martha Gonza lideran un emprendimiento para crear e innovar con elementos compuestos a base de totora. Estos incluyen tableros rígidos planos y ondulados, destinados a aplicaciones en paredes, pisos, muebles, cielos falsos y fachadas. El propósito fundamental es promover la economía circular en San Rafael de Imbabura, Ecuador, y fomentar la construcción sostenible.

Los tableros exteriores se elaboran con una mezcla de totora, aluminio y polietileno, mientras que los interiores utilizan cartón, totora, aluminio y polietileno. Estos materiales reciclados demuestran resistencia a la humedad, agentes químicos y ambientales, así como a esfuerzos de flexión, compresión y corte. Además, presentan propiedades térmicas destacables.

Figura 15: Tableros de totoraecopack y su propuesta de aplicación en la arquitectura.



Fuente: Oscar Jara, (2020).

- **Proyecto abrigando hogares**

Ante la iniciativa gubernamental de mejorar el confort térmico en las viviendas rurales de Puno, Perú, se ha implementado el uso innovador de colchones de totora como aislante térmico en las estructuras edificadas con técnicas vernáculas propias de la región. En busca de soluciones eficaces y acordes con las prácticas constructivas locales, se ha propuesto elevar la temperatura al interior de estas edificaciones mediante la incorporación estratégica de colchones de totora, que funcionan como revestimientos en paredes y cubiertas.

Los colchones de totora, cuidadosamente posicionados en las cubiertas en dirección opuesta a las vigas, y tensados tanto en sentido horizontal como vertical en los muros, son fijados con clavos a la estructura de madera. Con el objetivo de preservar la integridad de la totora y prevenir posibles daños, se aconseja realizar un mantenimiento adecuado en los muros y la cubierta, aplicando un revestimiento de barro y paja.

Los resultados obtenidos de esta iniciativa revelan que la totora exhibe propiedades térmicas altamente beneficiosas y, al mismo tiempo, se destaca por su bajo costo (Aza, 2016). Esta estrategia no solo responde a las necesidades de confort térmico en las viviendas rurales de Puno, sino que también resalta la versatilidad y eficacia de la totora como un recurso sostenible y localmente apropiado para mejorar las condiciones habitacionales.

Figura 16: Colchones de totora en cubiertas y muros del proyecto abrigando hogares en Puno, Perú.



Fuente: Aza, (2016).

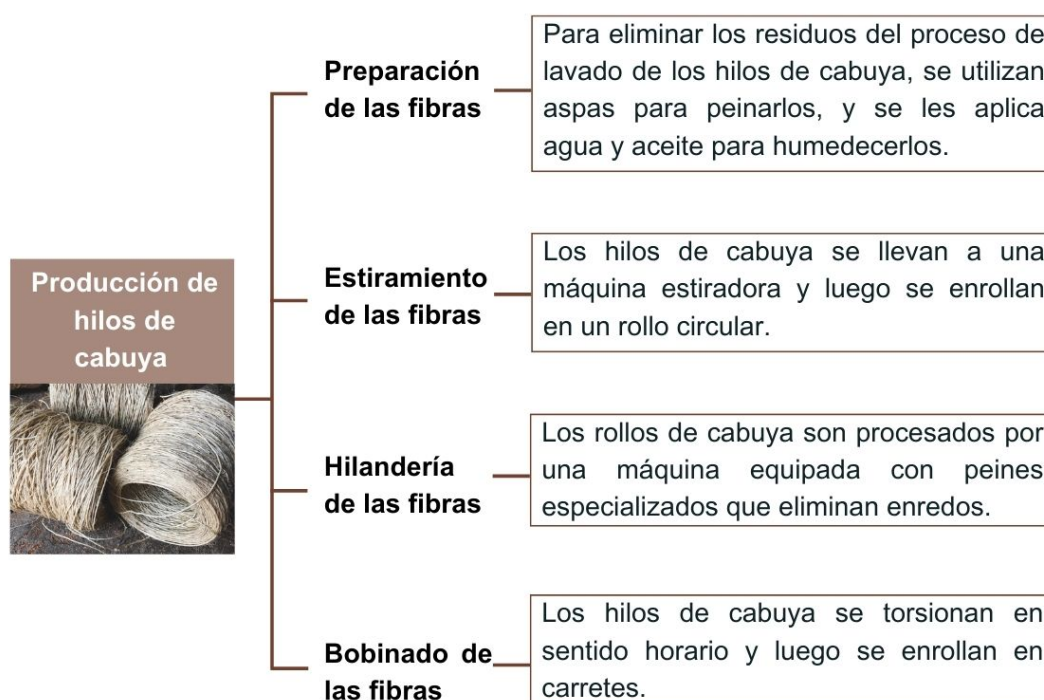
2.3. Cabuya

2.3.1. Usos y aplicaciones tradicionales

A lo largo de los últimos 9.000 años, las culturas prehispánicas han sabido sacar provecho del género de la *Furcraea*, que engloba las variaciones de cabuya blanca y negra. La cabuya ha evolucionado en un material versátil gracias a su extensa presencia en el continente americano. En el ámbito medicinal, ha sido empleada para tratar afecciones renales y como antiséptico, desempeñando un papel fundamental en la obtención de jarabes y en la producción de la bebida alcohólica "chawar miski" (Criollo, et al., 2011).

La cabuya también ha encontrado aplicaciones en la limpieza, destacando como componente esencial en la manufactura de jabones y champús. No obstante, su papel más destacado se manifiesta en el ámbito comercial, donde se emplea extensamente en la elaboración de sogas, sacos, textiles, artesanías y, más recientemente, en la fabricación de papel. Para su incorporación en la producción comercial, las hojas de cabuya atraviesan diversos subprocesos después de ser cortadas, recolectadas, lavadas y secadas, como se detalla en la Figura 17, para obtener los hilos de cabuya. Es crucial señalar que estos subprocesos pueden variar según el fabricante y el método de obtención utilizado (Tumbaco, 2022).

Figura 17: Proceso de producción de los hilos de cabuya.



Fuente: Tumbaco, (2022).

Una vez obtenidos los hilos de cabuya, se someten a procesos adicionales y pasan por filtros de calidad internacionalmente establecidos, como se ilustra en la Figura 18. Los hilos de cabuya se distinguen por sus notables propiedades mecánicas, tales como su alta resistencia a la tracción, ligereza, durabilidad y consistencia áspera (Checa, et al., 2001).

Figura 18: Clasificación de la calidad de los hilos de cabuya.

Primera calidad	Segunda calidad
<ul style="list-style-type: none"> • Color de fibra blanca hasta crema. • Longitud superior a 120 cm. • Bien sacudida, libre de residuos de hojas y materiales extraños. • Correctamente desfibrada. • Un 2 % máximo de pulpa adherida a la fibra. • Completamente despuntada. • Libre de enredos y motas. • Bien empacada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud superior a 1 metro. • Fibras de color claro o ligeramente oscuro. • Porcentaje mínimo de residuos de hoja y materiales extraños. • Bien desfibrada. • Un 2 a 5 % de pulpa sobre la fibra Normalmente sacudida. • Bajo porcentaje de enredo y mota. Empacado aceptable. • Despuntada.
Tercera calidad	Cuarta calidad
<ul style="list-style-type: none"> • Longitud inferior a 80 centímetros. • Color de fibra ligeramente oscuro. • Tiene ases de fibras pegados (tiesas). • Con residuos sueltos del desfibrado (polvo). • Medianamente desfibrada, con más de un 5% de penca adherida. • No bien despuntada. • Mal sacudidas. • Ligeramente enredada, con un poco de mota. • Empacado defectuoso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibra de coloración muy oscura • Contiene mucho residuo suelto. • Mal desfibrada y despuntada. • Con residuos más del 8 % de penca. Enredada y con motas. • Mal empacada.

Fuente: Checa, (2001).

Posteriormente, los hilos de cabuya son procesados nuevamente y tejidos en telares para convertirse en telas, utilizadas en la fabricación de textiles, artesanías, sacos y cuerdas, que desde épocas prehispánicas en la región sierra del Ecuador han sido fabricadas, como se indica en la Figura 19. Estos artículos aún son comercializados en plazas y mercados de la región sierra del Ecuador. La gran versatilidad de los hilos de la cabuya ha permitido el desarrollo de diversos tejidos, destacándose el tejido plano o tafetán al emplear los hilos de cabuya, fomentando su uso en diversas industrias como la textil, de empaques de alimentos y para la producción de elementos decorativos y utilitarios.

Figura 19: Productos en el Ecuador elaborados con los diversos tejidos con cabuya.



Fuente: GoRaymi, (2023); edición propia.

2.3.2. Usos y aplicaciones en la arquitectura

En el ámbito arquitectónico, la cabuya emerge como un recurso innovador con aplicaciones que trascienden sus usos tradicionales. Su versatilidad ya no se limita a cuerdas y sogas utilizadas para la sujeción y unión de estructuras de madera en viviendas vernáculas de las comunidades milenarias de la sierra del Ecuador. Las investigaciones en torno a la cabuya han revelado propiedades mecánicas destacadas, incitando a diversos investigadores a explorar su potencial en la creación de tableros y paneles.

Consecuentemente, se presentan proyectos que buscan rescatar y aprovechar la cabuya, conservando técnicas tradicionales y experimentando con sus aplicaciones en la arquitectura.

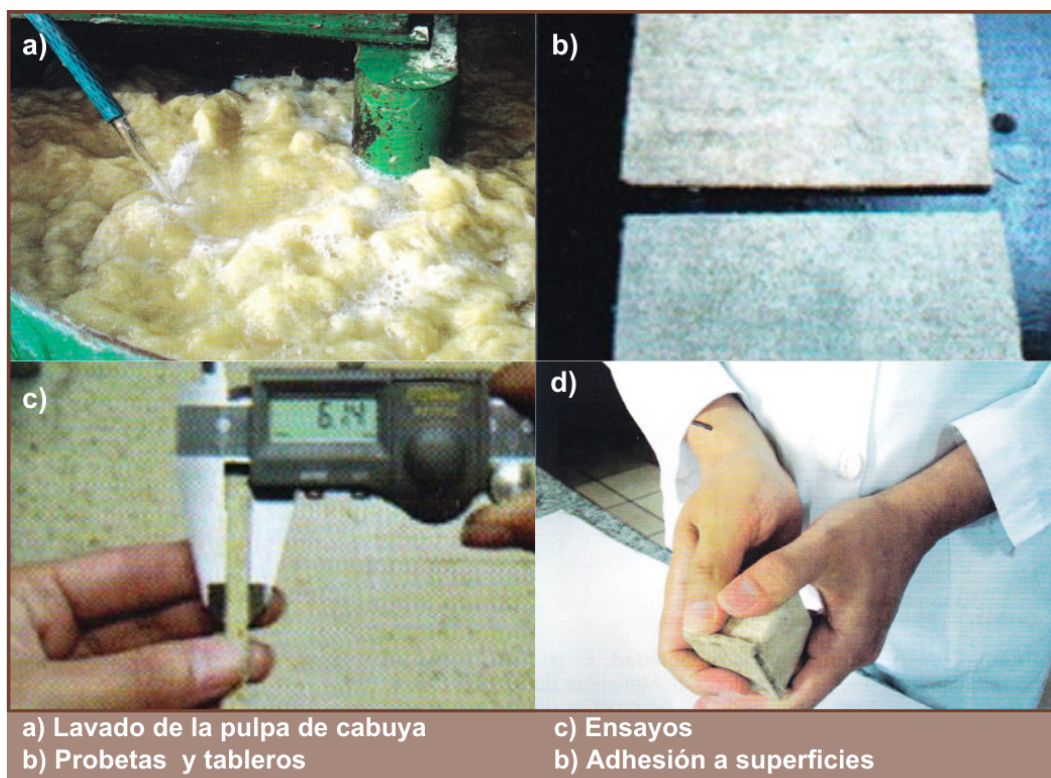
- **Tablero de partículas finas con pulpa de cabuya**

En Ecuador, los residuos agrícolas generados en el proceso de obtención de hilos de cabuya están siendo aprovechados por investigadores de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (PUCE, sede Ibarra). La pulpa de cabuya, junto con un laminado sintético de resina, se presenta como una alternativa válida para el desarrollo industrial, con el potencial de reemplazar a los productos derivados de la madera (Mera, 2012).

En su estudio, Mera (2012) describe el procedimiento de fabricación de tableros de partículas finas. La pulpa de cabuya se adquiere mediante el proceso de desfibrado, en el cual los residuos se cortaron en trozo de aproximadamente 5cm de longitud, se lavaron y se sometieron a ebullición. Posteriormente, se añadió un antiespumante, se realizó un nuevo lavado y se licuó para obtener una pasta, que luego se secó a una temperatura de 110°C.

La pulpa de cabuya se cataliza con un 1% de sulfato de amonio para mejorar la adhesión, y luego se prensó y se curó el tablero. Después, se laminó con acetato de polivinilo y resina urea formaldehído. La pulpa de cabuya contribuyó a mejorar la resistencia a la tracción, la adhesión a la superficie, la impermeabilidad y la dispersión.

Figura 20: Elaboración de tablero de partículas finas con pulpa de cabuya.



Fuente: Mera, (2012); edición propia.

- **Módulos para pared y tabiquería con fibra de cabuya**

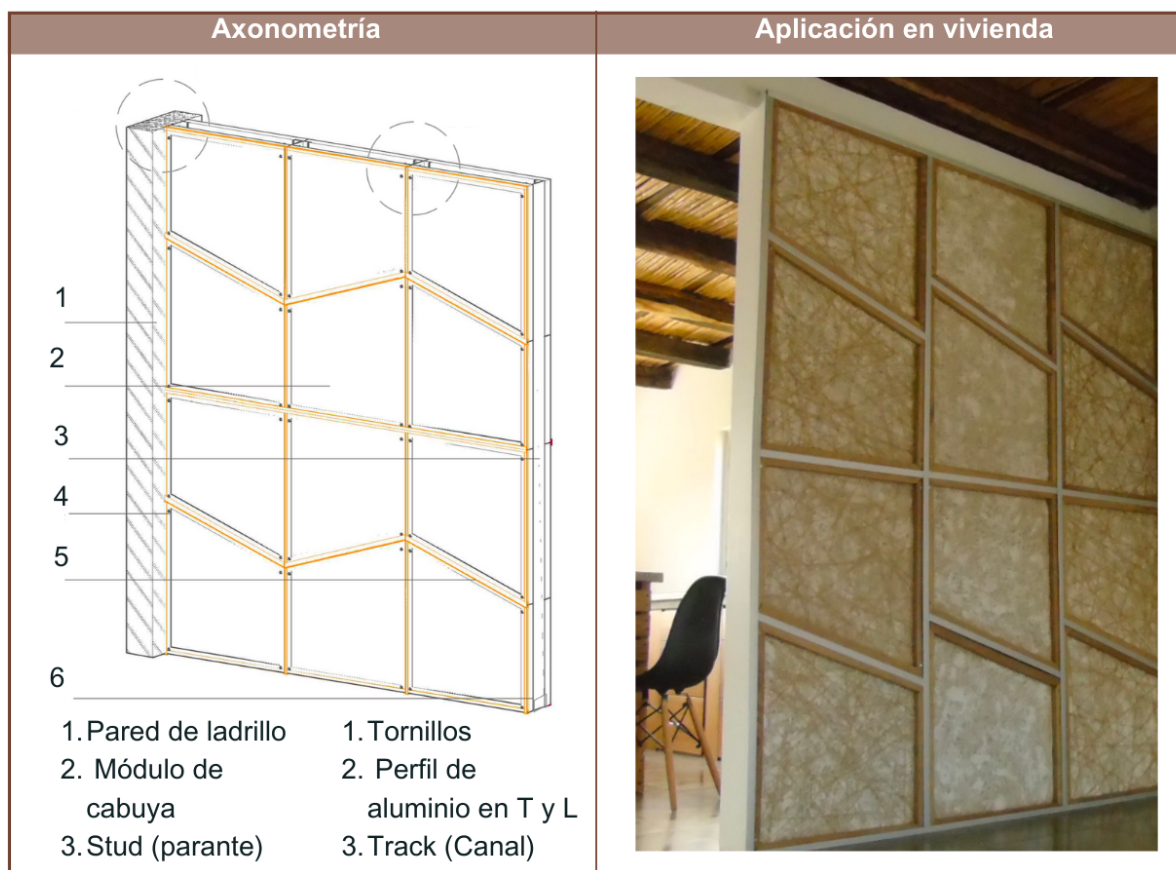
En la tesis titulada “Producción de módulos para pared y tabiquería, a partir de la experimentación con la fibra de cabuya”, realizada por Paola Moscoso, se llevó a cabo la fabricación de paneles utilizando diversas técnicas y materiales. El proceso de experimentación se dividió en dos fases.

En la fase A, el objetivo principal fue determinar el comportamiento de la cabuya. Se logró establecer que la combinación de cola, malla metálica, cabuya cepillada y Sika, así como la mezcla de cabuya cepillada, cola, malla de yute, soguilla de cabuya, bastidor de madera y Sika, resultaron ser óptimas para el diseño modular de un panel de tamaño 12 cm x 16 cm.

En la fase B, se llevó a cabo la experimentación relacionada con el soporte de los módulos, considerando dos materiales potenciales: la madera y el aluminio. Una vez concluidas ambas fases, se procedió al diseño del panel, el cual se realizó mediante un proceso que incluyó el análisis de la forma, la superposición y la unión de los módulos.

Finalmente, el panel resultante fue instalado en una vivienda ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Es importante mencionar que las dimensiones de los módulos fueron diseñadas para ser aplicadas en una pared promedio de 2,40 m de altura. Sin embargo, las medidas de los módulos podrían variar según la altura de la pared en la que se apliquen.

Figura 21: Módulos para pared y tabiquería con fibras de cabuya.



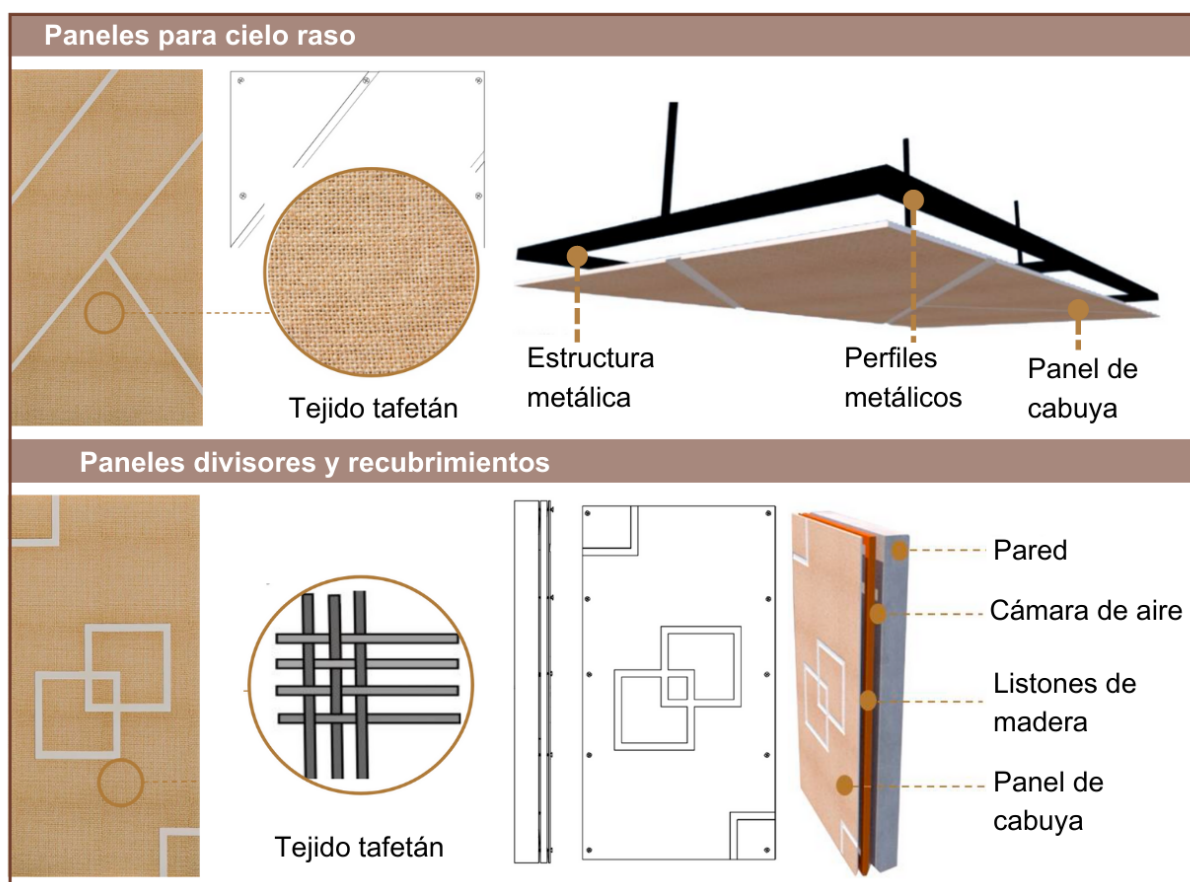
Fuente: Moscoso, (2019).

- **Revestimientos para espacios interiores con cabuya**

El artículo “Propuesta sostenible para el diseño interior de viviendas de interés social. Caso Parroquia Tororas, Tungurahua-Ecuador” realizado por Andrea Goyes y Pablo Sánchez, tiene como objetivo principal analizar la viabilidad de utilizar las fibras de cabuya y totora en elementos arquitectónicos de espacios interiores. Otro objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en viviendas de interés social de la parroquia Totoras.

Esta investigación se enfoca en utilizar las tonalidades, texturas y propiedades mecánicas, térmicas de la cabuya y totora como materiales para la elaboración de paneles de revestimientos de paredes, pisos y techos. El diseño de estos paneles para el cielo raso cuenta con una estructura metálica revestida con un telar de cabuya fijada mediante tornillos. En cuanto a los paneles divisores y de revestimiento se propone una estructura con listones de madera forrados mediante el tejido tafetán de cabuya (Ver figura 22).

Figura 22: Aplicación de la cabuya en espacios interiores de una vivienda de interés social de la parroquia Totoras.



Fuente: Sánchez, (2020).

Como resultado de este análisis, se han formulado las siguientes recomendaciones: dado que la cabuya es un material combustible, al igual que la madera, no se debe utilizar en áreas como la cocina, ya que representa un riesgo. Sin embargo, gracias a su capacidad para proporcionar aislamiento acústico y térmico, y su resistencia, se recomienda su uso en el interior de las viviendas para lograr un mayor confort. La Figura 23 ejemplifica el recubrimiento de pisos y cielo raso con paneles de cabuya, según las sugerencias de Sánchez (2020). La cabuya, desplegando su versatilidad en el ámbito arquitectónico, se erige como un componente esencial en la construcción sostenible y la innovación en diseño.

Figura 23: Recubrimiento de pisos y cielo raso con paneles de cabuya.



Fuente: Sánchez, (2020).

Capítulo III

Propuesta de tablero aislante

3.1. Introducción

En la búsqueda constante de alternativas sustentables y eficaces para el aislamiento térmico en la industria de la construcción, se ha destacado el interés por los materiales naturales, que se distinguen por sus propiedades únicas y su disponibilidad en diversas regiones. Entre estos materiales, la totora y la cabuya han emergido como opciones atractivas, ofreciendo un equilibrio entre rendimiento ambiental y funcionalidad estructural.

Este capítulo se enfoca en la exploración de los materiales utilizados, el proceso productivo y las propiedades aislantes de los tableros confeccionados a partir de totora y cabuya. A través de un análisis minucioso de estos aspectos clave, se pretende profundizar en el potencial y los desafíos asociados con la adopción de estos materiales en aplicaciones de aislamiento térmico en la construcción.

En esta sección, se presentan prototipos experimentales de tableros elaborados con totora y cabuya, unidos mediante un aglutinante PVA, con el propósito de examinar su comportamiento térmico. El proceso se inicia con la obtención y evaluación del estado de las fibras, seguido de una descripción detallada de los procedimientos empleados en la fabricación de los tableros. Se proporciona información exhaustiva sobre las fases experimentales, las formulaciones utilizadas y las dosificaciones empleadas en la elaboración de estos tableros.

Asimismo, se abordan con precisión los métodos y los materiales requeridos para llevar a cabo los ensayos destinados a evaluar las propiedades aislantes de la totora y la cabuya. Estos ensayos incluyen la caracterización de partículas, la medición de la humedad de las fibras, la determinación de la conductividad térmica, la densidad y la absorción de humedad.

3.2. Materiales Usados

- La totora (*Schoenoplectus californicus* (CA Mey.) Soják) empleada en este estudio fue recolectada en el cantón Paccha, provincia de Azuay, Ecuador. Los tallos de totora fueron sometidos a un proceso de secado al aire libre, el cual se extendió por aproximadamente 6 meses.
- La cabuya (*Furcraea Andina*) fue adquirida en la Plaza Rotary de la ciudad de Cuenca, también en la provincia de Azuay, Ecuador. La preparación de esta fibra para los tableros implicó un detallado proceso de hilado, descrito exhaustivamente en la Figura

17. Una vez completado, la cabuya resultante se clasifica en categorías de primera y segunda calidad, tal como se presenta en la Figura 18.

- La tela de cabuya, obtenida en la Plaza Rotary de la ciudad de Cuenca, proviene de la misma fibra de cabuya. Esta tela, teñida en tono café, tiene un espesor de 1 mm y presenta una cuadrícula de 2 x 2 mm.
- El acetato de polivinilo (PVA), comúnmente conocido como la cola blanca de la marca Bioplast, es un adhesivo sintético adquirido en establecimientos de papelería. Este producto se distingue por su capacidad de disolverse en agua, siendo ampliamente utilizado gracias a su alta versatilidad y baja toxicidad (Rengel, 2018). Posee propiedades destacables, como su resistencia al agua, aunque es soluble en agua durante su proceso de secado o polimerización, manteniendo una excelente adherencia en diversos sustratos como madera, papel, tela y plástico. Su estabilidad química es otra característica notable, ya que permanece inalterable incluso en condiciones ambientales variables, lo que garantiza su durabilidad.
- Molde de madera de 8 x 8 x 4 cm, elaborado con madera de eucalipto sin barnizar. Estas medidas se seleccionaron en correspondencia con los tableros de totora mencionados en el estudio "La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades" de Leyda Aza, que poseen dimensiones de 8 x 8 x 1,5 cm. Se eligió específicamente un espesor de 4 cm para su análisis, en concordancia con el estándar de aislamiento térmico de muros, que comúnmente utiliza este grosor.

Figura 24: Materiales para la elaboración de probetas.



Fuente: (Propia).

3.3. Preparación del Material

Con el propósito de comprender las propiedades de las fibras destinadas a la construcción de tableros, se ha llevado a cabo un minucioso procedimiento que inicia con el proceso de triturado y prosigue con las pruebas que permiten caracterizar tanto el tamaño de las partículas como el contenido de humedad. Estas pruebas son esenciales para conocer y determinar las características y condiciones en el que se encuentra el material para la fabricación de los tableros. Para la producción de los tableros se utilizaron tallos de totora secados a temperatura ambiente e hilos de cabuya de calidad primaria y secundaria.

- **Triturado de fibras**

El proceso de triturado de las fibras contribuye significativamente a mejorar la calidad del producto al eliminar impurezas y homogeneizar su textura, lo que aumenta su versatilidad de uso. Las condiciones de las fibras utilizadas en el proceso incluyeron tallos de totora e hilos de cabuya de primera y segunda calidad, ambos cortados a una longitud de 10 cm. Es importante destacar que las fibras se encontraban a temperatura ambiente, aproximadamente a 20 °C, con una humedad ambiental de alrededor del 60%.

Materiales:

1. Fibras de totora y cabuya cortadas a una longitud de 10 cm.
2. Máquina de triturado.

Metodología:

1. Cortar las fibras de totora y cabuya a una longitud de 10cm.
2. Introducir cada fibra en la máquina de triturado.

Resultados:

La observación de las fibras trituradas reveló que la totora presentaba una variedad de tamaños de partículas, incluyendo partículas más finas que las de la cabuya, lo que indicaba la presencia de polvo en la totora. La cabuya, por otro lado, mostraba una mínima variación en el tamaño de las partículas y su textura era similar a la del algodón al tacto.

Figura 25: Fibras de totora y cabuya trituradas.



Fuente: (Propia).

- **Contenido de humedad.**

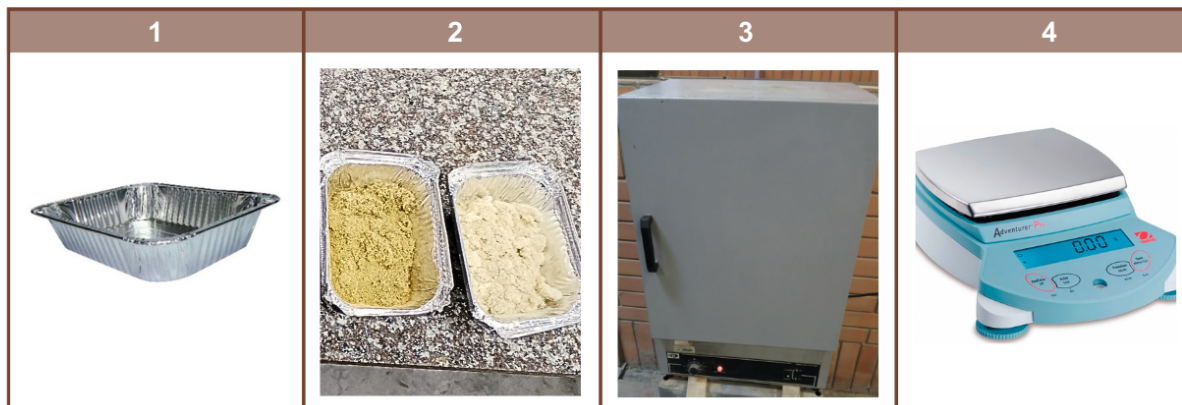
La evaluación del contenido de humedad en las fibras es esencial, ya que proporciona información precisa sobre la cantidad de agua presente en el material en relación con su peso. Conocer este porcentaje es fundamental, dado que un alto contenido de humedad puede tener consecuencias negativas en las propiedades físicas y químicas del material, como la pérdida de resistencia y la proliferación de microorganismos. Por ende, garantizar la calidad y durabilidad del tablero depende en gran medida de mantener un contenido de humedad óptimo en las fibras trituradas.

Para comprender el comportamiento de las fibras y su aplicación en la fabricación de tableros, se realizan ensayos destinados a las maderas, dado que comparten varias similitudes en sus propiedades físicas, anatómicas y mecánicas. Por ejemplo, la absorción de agua afecta tanto a las fibras como a la madera, ya que un alto porcentaje de absorción puede comprometer su estabilidad dimensional y su estructura celular. Esta determinación se lleva a cabo siguiendo la metodología detallada en la Norma "INEN 1160", aplicada para el ensayo de humedad en las maderas.

Materiales:

3. Recipientes de aluminio.
4. Fibras trituradas de totora y cabuya.
5. Horno marca Humboldt, modelo 40GC Series Lab Ovens.
6. Balanza.

Figura 26: Materiales para la prueba de absorción de humedad.



Fuente: (Propia).

Metodología:

3. Pesar el peso del recipiente.
4. Pesar el peso de cada fibra.
5. Secar las fibras a un horno a temperatura constante de 103 °C durante 24 horas.
6. Sacar del horno las fibras y pesar los recipientes.
7. Calcular los resultados mediante la fórmula $CH = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} * 100$.

Donde:

CH = contenido de humedad, en porcentaje.

P = masa original de la muestra, en gramos.

Psh = masa de la muestra anhidra, en gramos.

Figura 27: Aplicación de la metodología para la prueba de absorción de humedad.



Fuente: (Propia).

Resultados:

Los resultados de la humedad presentados en la tabla 10, muestran que la totora triturada absorbe más agua de la temperatura y humedad ambiente que la cabuya.

Tabla 8: Contenido de humedad de las fibras trituradas de totora y cabuya.

Código	Peso recipiente (g)	Peso fibra húmeda (P) (g)	Peso fibra seca (Psh) (g)	Humedad (CH%)
Totora	2,9	10	9,1	9,89
Cabuya	2,9	10	9,4	6,38

Fuente: (Propia).

- **Caracterización de partículas.**

La caracterización de las fibras se realiza considerando las condiciones de los procesos de tamizado y el contenido de humedad, lo cual desempeña un papel fundamental en la comprensión de la calidad, así como en las propiedades físicas y aislantes de los tableros, dado que está estrechamente relacionada con la forma, el tamaño y la distribución de las partículas.

En contraste, la prueba de granulometría se posiciona como una herramienta esencial para comprender las características físicas y la calidad de los materiales, incluidos los tableros, ya que permite revelar el tamaño de las partículas y sus respectivos porcentajes. Por ende, llevar a cabo este análisis proporciona información crucial para el diseño y la fabricación de tableros con las especificaciones deseadas, optimizando así su rendimiento y funcionalidad.

Materiales:

1. Recipiente de aluminio.
2. Fibras trituradas de totora y cabuya.
3. Horno marca Humboldt, modelo 40GC Series Lab Ovens.
4. Máquina de vibración marca Humboldt, modelo H-4325.
5. Tamices.
6. Balanza.

Figura 28: Materiales para la prueba de caracterización de partículas.



Fuente: (Propia).

Metodología.

1. Registrar el peso del recipiente de aluminio y codificar
2. Verter las fibras en el recipiente de aluminio.
3. Ajustar la temperatura del horno a 103°C.
4. Introducir los recipientes con las fibras al horno durante un periodo de 24 horas.
5. Pasadas las 24 horas, retirar del horno.
6. Dejar enfriar las fibras durante aproximadamente 30 minutos.
7. Pesar 130,9 gramos de totora seca y 122,2 gramos de cabuya seca.
8. Registrar el número de tamiz (tamaño) y su peso.
9. Verter las fibras secas en el tamiz, previamente ordenadas por número de tamiz.
10. Calibrar la máquina durante 10 minutos de vibración.
11. Introducir los tamices en la máquina vibratoria.
12. Pesar cada número de tamiz con la fibra que ha quedado en él.
13. Restar el peso del recipiente del tamiz y fibra del peso del recipiente del tamiz.

Figura 29: Proceso para el tamizado de fibras de totora y cabuya.



Fuente: (Propia).

Resultados:

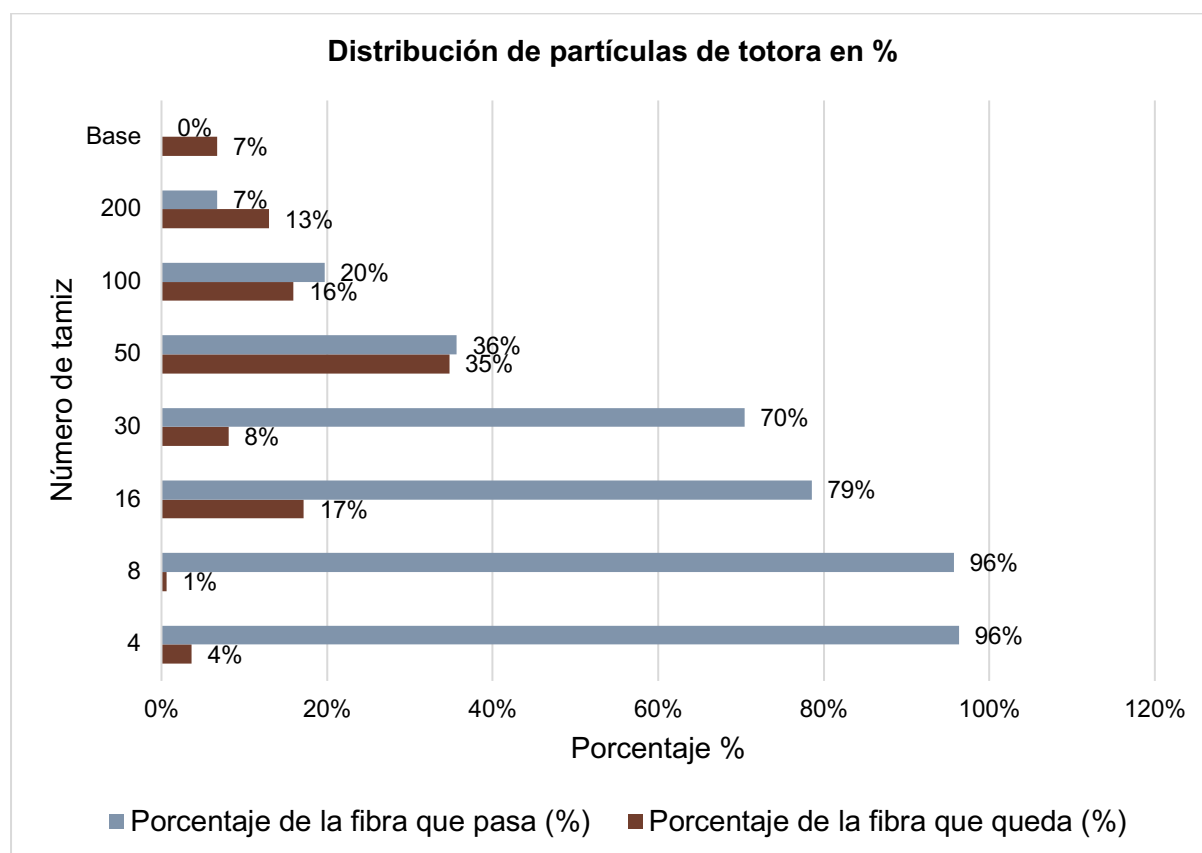
Como resultado del ensayo de granulometría, se obtuvieron datos precisos sobre el tamaño de las partículas presentes en los tableros, así como sus respectivos porcentajes de distribución. Estos datos presentados en las tablas 9 y 10, proporcionan una descripción detallada de la composición granular de los tableros, lo que es fundamental para comprender su calidad y propiedades físicas y aislantes.

Tabla 9: Distribución de partículas de totora de acuerdo al número de tamiz.

N° de tamiz	Tamaño de tamiz (mm)	Peso recipiente (g)	Peso recipiente y fibra (g)	Peso de la fibra queda (g)	Peso de la fibra que pasa (g)	Porcentaje de la fibra que queda (%)	Porcentaje de la fibra que pasa (%)
4	4,76	489,8	494,6	4,8	126,1	4%	96%
8	2,38	481,4	482,2	0,8	125,3	1%	96%
16	1,19	442,9	465,4	22,5	102,8	17%	79%
30	0,595	374,7	385,3	10,6	92,2	8%	70%
50	0,297	344,3	389,8	45,5	46,7	35%	36%
100	0,149	332,2	353,1	20,9	25,8	16%	20%
200	0,074	333,1	350,1	17	8,8	13%	7%
Base	-	458,8	467,6	8,8	0	7%	0%
Total				130,9	-	100%	-

Fuente: (Propia).

Figura 30: Distribución de partículas de totora en % de acuerdo a número de tamiz.



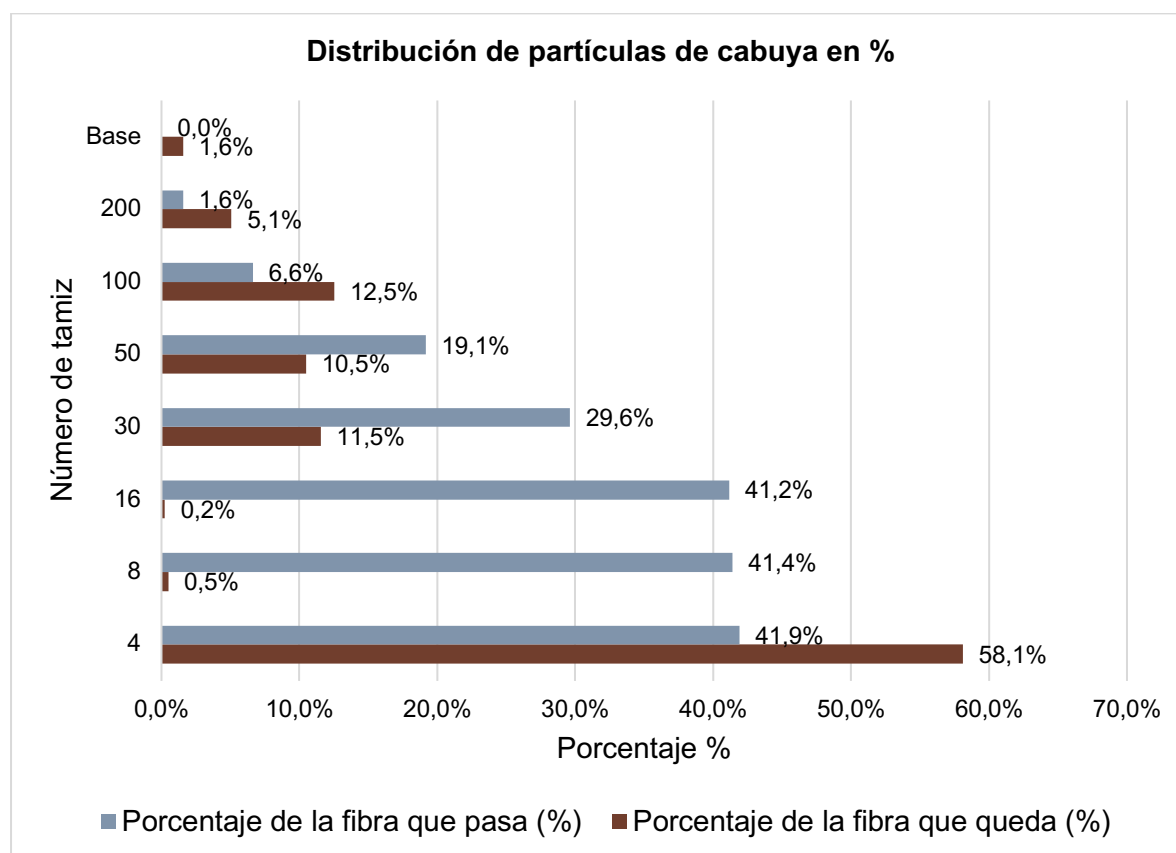
Fuente: (Propia).

Tabla 10: Distribución de partículas de cabuya de acuerdo al número de tamiz.

N° de tamiz	Tamaño de tamiz (mm)	Peso recipiente (g)	Peso recipiente y fibra (g)	Peso de la fibra queda (g)	Peso de la fibra que pasa (g)	Porcentaje de la fibra que queda (%)	Porcentaje de la fibra que pasa (%)
4	4,76	489,8	560,6	71	51,2	58,1%	41,9%
8	2,38	481,4	482	0,6	50,6	0,5%	41,4%
16	1,19	442,9	443,2	0,3	50,3	0,2%	41,2%
30	0,595	374,7	388,8	14,1	36,2	11,5%	29,6%
50	0,297	344,3	357,1	12,8	23,4	10,5%	19,1%
100	0,149	332,2	347,5	15,3	8,1	12,5%	6,6%
200	0,074	333,1	339,3	6,2	1,9	5,1%	1,6%
Base	-	458,8	460,7	1,9	0	1,6%	0,0%
Total				122,2	-	100%	-

Fuente: (Propia).

Figura 31: Distribución de partículas de cabuya en % de acuerdo a número de tamiz.

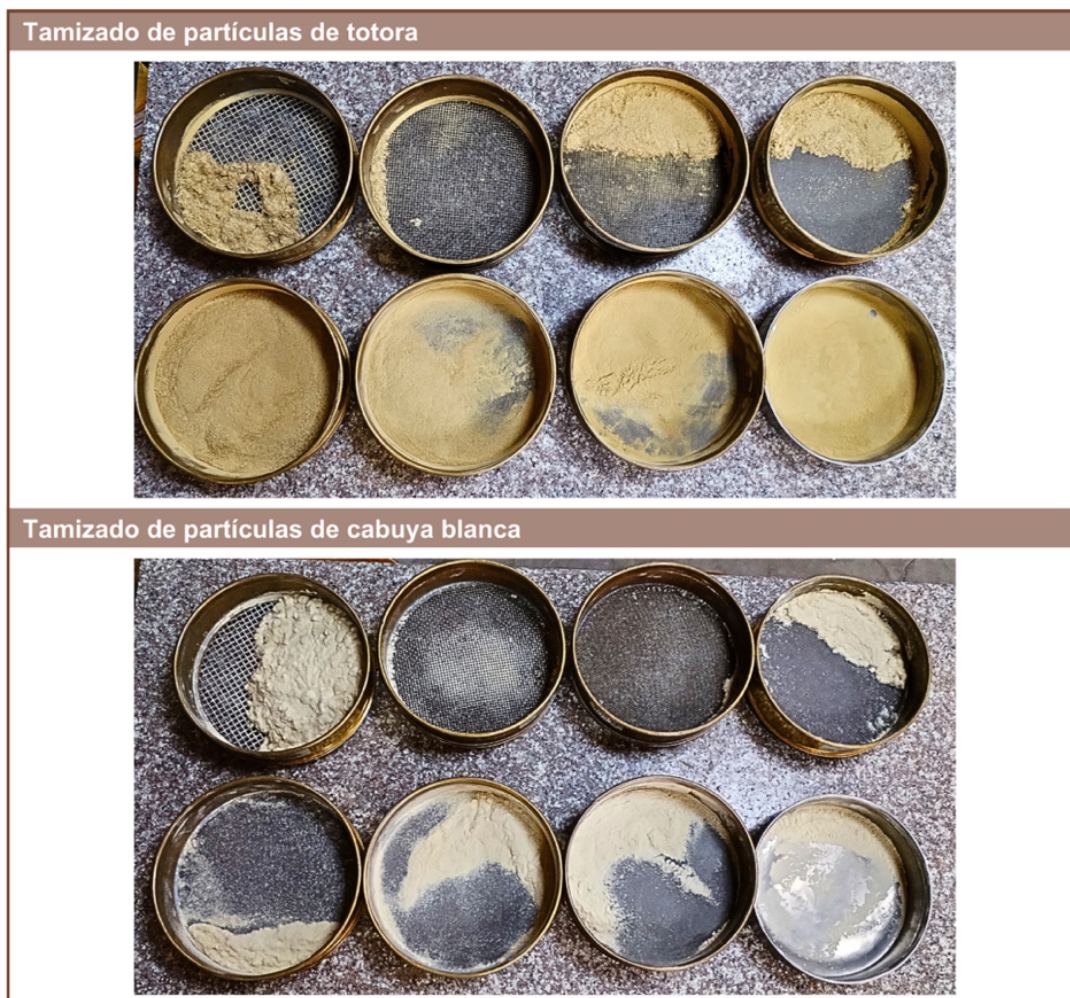


Fuente: (Propia).

Se observa una variación en la distribución de tamaños de partículas y los porcentajes de fibra que quedan y pasan entre la totora y la cabuya, lo que sugiere diferencias en la composición y estructura de las fibras entre ambos materiales. Asimismo, se muestra que los porcentajes de fibra que pasan son generalmente más altos en la totora que en la cabuya para los tamices más gruesos, como el tamiz número 4. Esto sugiere una distribución de tamaños de partículas más uniforme en la totora en comparación con la cabuya en las fracciones más gruesas (ver figura 32).

Sin embargo, es importante destacar que se ha observado que, al unirse a otras partículas trituradas, la cabuya forma una masa con una textura similar a la del algodón (ver figura 33). Por lo tanto, durante el proceso de vibrado, la mayor parte del material triturado se mantuvo en el tamiz No. 4, a pesar de que las partículas atrapadas en este tamiz tenían una longitud menor que las aberturas de las cuadrículas.

Figura 32: Caracterización de partículas de totora y cabuya.



Fuente: (Propia).

Figura 33: Partículas de cabuya que quedan en el tamiz N° 4.



Fuente: (Propia).

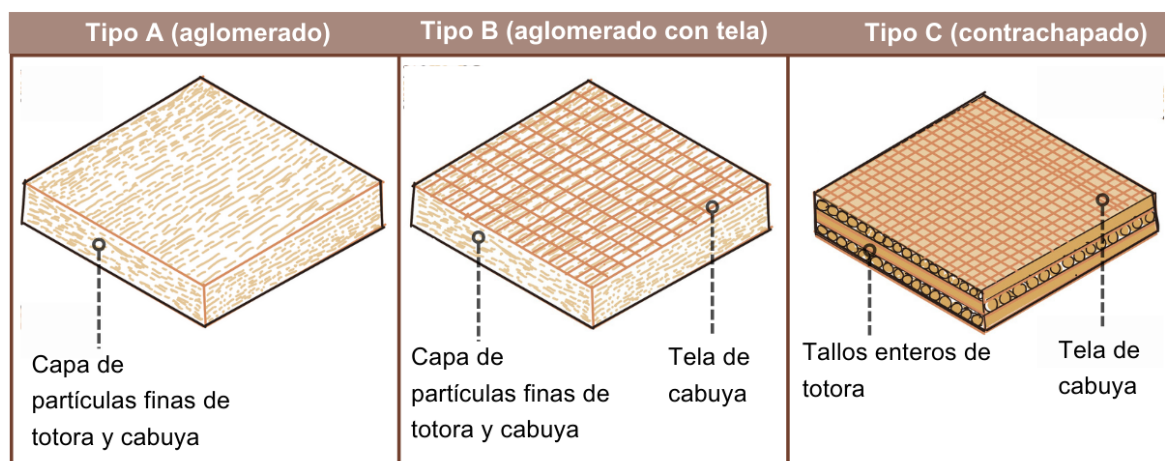
3.4. Propuestas

En Ecuador, se comercializan una amplia variedad de tableros que provienen de diferentes procesos productivos, tales como los aglomerados de partículas finas y los contrachapados. Estos materiales son altamente versátiles y encuentran aplicaciones diversas en el ámbito de la arquitectura, siendo utilizados comúnmente en acabados, muros y revestimientos. En este contexto, se detallan tres tipos específicos de tableros:

1. **Probetas tipo A:** Este tipo consiste en aglomerados de partículas finas y comprende un total de 7 muestras. Las primeras 5 muestras se basan en una propuesta de porcentajes de totora y cabuya (90% totora y 10% cabuya, 70% totora y 30% cabuya, 50% totora y 50% cabuya, 30% totora y 70% cabuya, 10% totora y 90% cabuya), con el fin de evaluar el efecto de cada material en el otro. Además, se incluyen muestras de 100% totora y 100% cabuya para compararlas con datos previamente obtenidos sobre los coeficientes de conductividad térmica (k) de las fibras: $0,057 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ para la totora (Hidalgo et al., 2022) y $0,045 \text{ W/(m}^{\circ}\text{C)}$ para la cabuya (Muñoz et al., 2007). Como aglomerante, se emplea una mezcla en proporción 2:1 de PVA y agua. Esta mezcla se compacta en un molde de dimensiones $8 \times 8 \times 4 \text{ cm}$. El espesor propuesto oscila entre $3,5 \text{ cm}$ y $4,2 \text{ cm}$, similar al de los tableros comerciales utilizados en muros para aislación térmica. Además, se aumenta un 20% la cantidad de material para compensar posibles desperdicios.

- Probetas tipo B:** Este tipo sigue el mismo proceso productivo y dimensiones que el tipo A, pero se le añade una capa de tela de cabuya para aumentar su resistencia y estudiar su impacto en la transferencia de calor. Se toman muestras del tipo A, excluyendo las que contienen 100% totora y 100% cabuya, las cuales se elaboraron con fines comparativos. A estas muestras se les aplica una capa de tela de cabuya adherida con PVA.
- Probetas tipo C:** Se trata de tableros contrachapados elaborados con tallos enteros de totora, sin triturar, con el objetivo de evaluar las propiedades térmicas del tallo entero, ya que su tejido interno está compuesto por cámaras de aire (Hidalgo et al., 2022). Estos tableros se construyen con tallos de 8 cm de longitud unidos con PVA. Los tallos se disponen en capas que se unen perpendicularmente, y sus superficies exteriores están recubiertas con tela de cabuya.

Figura 34: Prototipos de tableros tipo A, B y C



Fuente: (Propia).

3.5. Selección de formulaciones

Para determinar una fórmula adecuada para la fabricación de tableros aislantes térmicos a base de totora y cabuya, se realizaron una serie de pruebas de dosificación en dos etapas.

En la primera etapa de dosificación, el enfoque se centró en el aglutinante. Se estableció una proporción de 2:1, lo que indica que se utilizaron dos partes de PVA por una parte de agua para diluir el aglutinante. Esta medida fue necesaria debido a la consistencia pegajosa del PVA, la cual dificulta su manejo adecuado (Ver Figura 35).

Figura 35: Dosificación 2: 1 para aglutinante.



Fuente: (Propia).

La segunda etapa de dosificación tuvo como objetivo determinar la proporción adecuada del aglutinante en relación con las fibras, utilizando únicamente una parte de las dosificaciones de las fibras. Esta etapa involucró tres pruebas diferentes para analizar las fibras en relación con el aglutinante.

1. En la primera prueba, se evaluaron proporciones iguales de totora, cabuya y aglutinante (1:1:1, respectivamente, con 10g de cada uno). Sin embargo, esta mezcla resultó en una baja trabajabilidad y una pobre adherencia de las partículas de las fibras.

Figura 36: Primera prueba con dosificación 1:1:1.



Fuente: (Propia).

2. En la segunda prueba, se exploraron tres combinaciones distintas de totora y cabuya: 90% totora y 10% cabuya, 70% totora y 30% cabuya, y 50% totora y 50% cabuya. Estas mezclas se prepararon en una proporción de 1:2, lo que indica una parte de fibras y dos partes de aglutinante. A pesar de que esta prueba mostró una mejor trabajabilidad, se observó que durante el desmoldado y el proceso de secado de las muestras se producían desprendimientos de material y grietas. Cabe destacar que estas mezclas se colocaron en el molde con dimensiones de 8 x 8 x 4 cm.

Figura 37:Segunda prueba con dosificación 1:2



Fuente: (Propia).

3. Debido a los problemas observados en la segunda prueba, se realizó una tercera prueba con las mismas proporciones de fibras que la segunda prueba. Sin embargo, se aumentó la proporción de aglutinante en un 10% para mejorar la adherencia de las fibras. Esta prueba resultó en una excelente trabajabilidad y una sólida adherencia de las partículas de las fibras.

Como resultado de estas pruebas, la tercera formulación se seleccionó como la más adecuada para la fabricación de los tableros aislantes de partículas finas.

Figura 38: Tercera prueba con dosificación 1:2 más 10% de aglutinante.



Fuente: (Propia).

3.6. Desarrollo de probetas

Basándonos en las tres propuestas previamente establecidas para la fabricación de tableros aislantes a partir de totora y cabuya, se han desarrollado tres tipos de probetas. Las probetas tipo A (aglomerado) constan de siete muestras, las tipo B comprenden cinco muestras, y las tipo C (contrachapados) una muestra. El desarrollo de las probetas de tipo A y B se lleva a cabo en dos etapas. La primera etapa consiste en la determinación de las cantidades en peso de cada fibra y aglutinante, mediante la densidad aparente. La segunda etapa comprende varios procedimientos para la fabricación de las probetas, los cuales se encuentran descritos en la metodología. Debido al diferente proceso productivo de la probeta tipo C, esta se elabora en una tercera fase.

En la primera etapa (Determinación de la densidad aparente de las fibras), el proceso de fabricación de las probetas tipo A y B comienza con la determinación de las densidades de las fibras para calcular la cantidad en peso (gramos) de totora, cabuya y aglutinante necesaria para cada muestra. El cálculo de densidades se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$D_{\text{aparente}} = \frac{\text{Peso (g)}}{\text{Volumen del recipiente para ensayo (cm}^3\text{)}}$$

Donde:

$$D_{\text{totora}} = \frac{57 \text{ g}}{8 \times 8 \times 4 \text{ cm}} = \frac{57 \text{ g}}{256} = 0,223 \text{ g/cm}^3$$

$$D_{\text{cabuya}} = \frac{53 \text{ g}}{8 \times 8 \times 4 \text{ cm}} = \frac{53 \text{ g}}{256} = 0,207 \text{ g/cm}^3$$

Con las densidades calculadas, se determinan las cantidades de totora, cabuya y aglutinante para cada una de las cinco muestras de las probetas tipo A y B, como se muestra en las Tablas 11 y 12.

Tabla 11: Dosificación para las probetas tipo A.

Muestra	Porcentaje totora (%)	P 1 (peso totora)(g)	Porcentaje cabuya(%)	P 2 (peso cabuya)(g)	Aglutinante (Dosificación 2:1)(g)	P 3 (Peso total (g))
1A	90%	61,56	10%	6,36	(P1+ P2) +	149,42
2A	70%	47,88	30%	19,08	10%	147,31
3A	50%	34,20	50%	31,80		145,20
4A	30%	20,52	70%	44,52		143,09
5A	10%	6,84	90%	56,76		139,93
6A	100%	68,40	0%	0		159,48
7A	0%	0	100%	63,6		139,92

Fuente: (Propia).

Tabla 12: Dosificación para las probetas tipo B.

Muestra	Porcentaje totora (%)	P 1 (peso totora)(g)	Porcentaje cabuya(%)	P 2 (peso cabuya)(g)	Aglutinante (Dosificación 2:1)(g)	P 3 (Peso total (g))
1B	90%	61,56	10%	6,36	(P1+ P2) +	149,42
2B	70%	47,88	30%	19,08	10%	147,31
3B	50%	34,20	50%	31,80		145,20
4B	30%	20,52	70%	44,52		143,09
5B	10%	6,84	90%	56,76		139,93

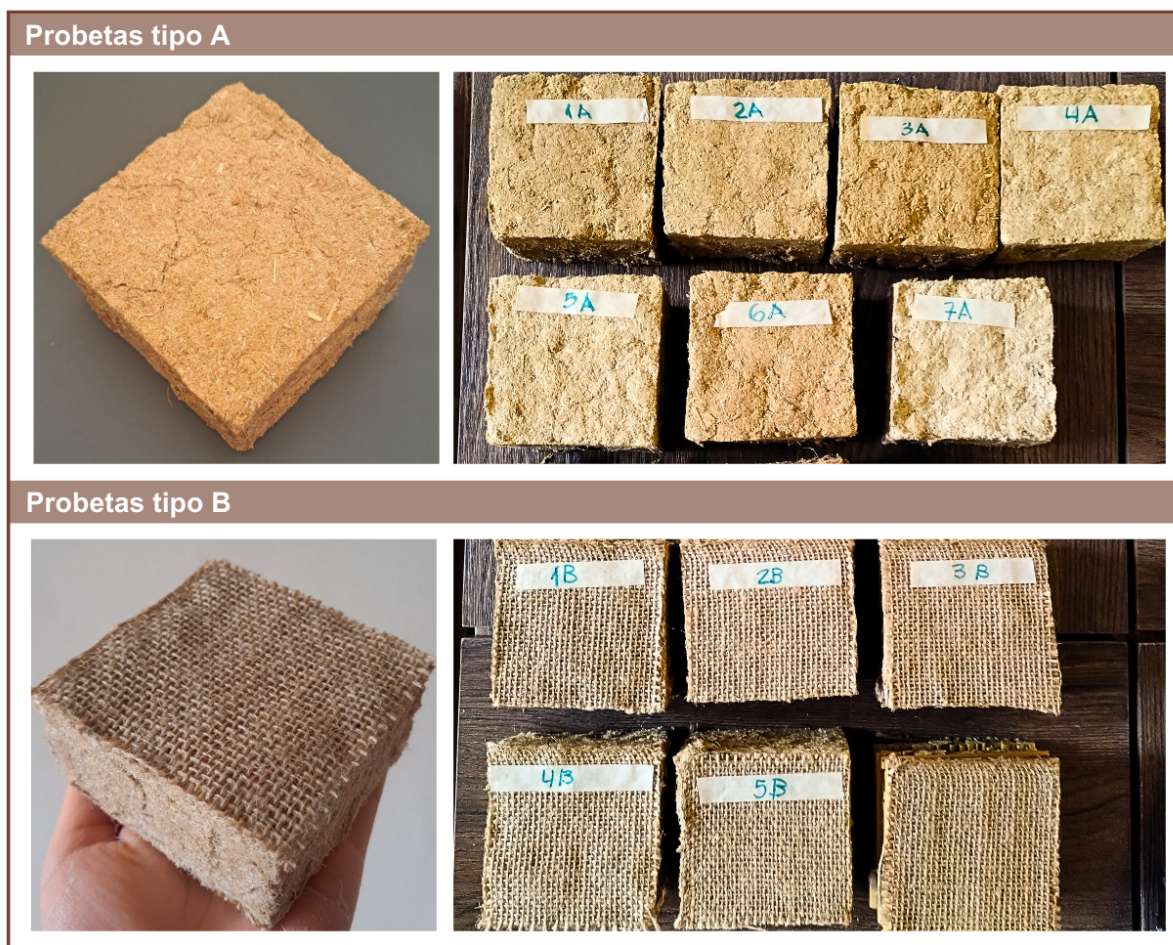
Fuente: (Propia).

En la segunda etapa (Metodología), una vez completados los cálculos, se procede a la fabricación de 12 muestras de tablero siguiendo el siguiente procedimiento:

Metodología:

1. **Preparación del aglutinante:** Se prepara el aglutinante utilizando dos partes de cola blanca y una parte de agua.
2. **Pesaje de materiales:** Para cada tipo de muestra, se procede al pesaje de las cantidades de totora, cabuya y aglutinante según la Tabla 11 y 12.
3. **Mezcla de componentes:** En un recipiente de aluminio, la mezcla se lleva a cabo en dos etapas. Primero, se mezclan las fibras para asegurar una uniformidad adecuada. Posteriormente, se agrega el aglutinante con el fin de humedecer las fibras y lograr una mezcla homogénea con una buena trabajabilidad.
4. **Colado en moldes:** La mezcla resultante se vierte en un molde de madera con dimensiones de 8 x 8 x 4 cm. Se opta por el uso de un molde de madera debido a su facilidad de construcción. Además, se aplica vaselina como material desmoldante en las caras de la madera para facilitar la extracción de las probetas sin dañar el material. Durante el proceso de colado, se distribuye la mezcla en capas sucesivas asegurando una distribución uniforme en todo el molde y evitando la formación de espacios vacíos en el perímetro y las aristas. Se aplica presión con las manos en cada capa para prevenir la creación de espacios vacíos.
5. **Secado de muestras:** Después de 72 horas, las probetas se desmoldan y se dejan secar a temperatura ambiente durante 30 días.
6. **Elaboración de probetas tipo B:** En el caso de las probetas tipo B, se adhiere la tela de cabuya al tablero utilizando cola blanca.

Figura 39: Probetas tipo A y B.



Fuente: (Propia).

En la tercera etapa (Fabricación de tableros tipo C), las probetas tipo C se fabrican siguiendo los siguientes procedimientos:

Metodología:

1. **Corte de tallos de totora:** Los tallos de totora se cortan a una longitud de 8 cm.
2. **Lijado de los tallos:** Se procede al lijado de los tallos para mejorar la adherencia, siguiendo las recomendaciones de Aza (2016).
3. **Ensamblaje de capas de tallos de totora:** Los tallos de totora se adhieren unos a otros mediante cola blanca industrial. Cada capa está conformada por aproximadamente 10 tallos, los cuales se secan durante 24 horas. Tras este periodo, se unen las capas de manera que la orientación de sus ejes sea opuesta a la capa anterior.

4. **Aplicación de presión y secado:** Con el objetivo de garantizar una mayor adherencia entre las capas, se aplica presión manualmente hasta que los elementos estén firmemente unidos. Luego, se procede al secado, extendiéndose a lo largo de un periodo de 48 horas.
5. **Acabado final:** Finalmente, se adhiere la tela de cabuya a las caras superior e inferior del tablero tipo C mediante el uso de cola blanca, completando así el proceso de fabricación con un acabado especial.

Figura 40: Probeta tipo C.



Fuente: (Propia).

3.7. Ensayos de caracterización

3.6.1. Pruebas de conductividad térmica

3.6.1.1. Prueba de conductividad térmica mediante la metodología PASCO modelo TD-8561

Objetivos:

- Determinar el comportamiento térmico de los tres tipos de probetas elaboradas a partir de fibras vegetales y cola industrial.
- Registrar las mediciones de la cantidad de agua derretida por la temperatura ambiente y la caja térmica
- Analizar los resultados de la prueba de la transferencia de calor por convección en las 13 muestras de tableros.

Principios físicos:

La transferencia de calor entre dos puntos específicos ocurre a través de tres mecanismos fundamentales: conducción, convección y radiación. En este experimento, haremos hincapié en el estudio de la conducción térmica, que implica la propagación de energía a través del aumento de temperatura en una superficie. Para llevar a cabo este análisis, aplicamos la Ley de Fourier, que se expresa mediante la ecuación (1)

$$(1) \Delta Q = k A \Delta T \frac{(\Delta t)}{h}$$

En esta ecuación, ΔQ representa, el flujo de calor, medida en $\frac{\text{Joules}}{\text{segundo}} = \text{Watt (W)}$, lo cual indica la cantidad de calor que se propaga por unidad de tiempo. El coeficiente de conductividad térmica k , expresado en vatios por metro-Kelvin $\text{W}/(\text{m}^\circ\text{K})$. La conductividad térmica es una propiedad del material que describe su capacidad para conducir el calor. Los materiales considerados como buenos conductores de calor tienen valores altos de k , mientras que los malos conductores (o aislantes térmicos) tienen valores bajos.

Además, A representa el área de la sección transversal del cilindro de hielo a través del cual se transfiere el calor, medida en metros cuadrados (m^2). El gradiente de temperatura ΔT , medido en grados Kelvin por metro ($^\circ\text{K}/\text{m}$), indica la variación de temperatura en la dirección de la propagación. El tiempo Δt se refiere al intervalo durante el cual ocurre la conducción térmica, mientras que h representa el espesor del material.

La ecuación (1) demuestra que el flujo de calor al que se somete el tablero es directamente proporcional al área de transferencia y al gradiente de temperatura aplicado en el material. Sin embargo, es inversamente proporcional a la conductividad térmica del material, representada por k . Dado que este coeficiente k es esencial para medir la velocidad de transmisión de calor, podemos despejarlo de la ecuación (1) para obtener la ecuación (2):

$$(2) \quad k = \frac{\Delta Q h}{A \Delta t \Delta T}$$

Adicionalmente, es importante considerar que ΔQ es igual a la masa (m) multiplicada por el calor latente de fusión (L_f). Dado que el agua cambiará su estado de sólido a líquido, debemos tener en cuenta que la velocidad de fusión del hielo es de 1 gramo por cada 80 calorías de flujo de calor. Además, el gradiente de temperatura ΔT al que estarán expuestos los tableros será el siguiente: la cara inferior estará en contacto con vapor de agua, que hierve a 100°C , mientras que la cara superior estará en contacto con un cilindro de hielo a aproximadamente 0°C . El área (A) será igual a: $\pi \frac{D^2}{4}$.

Por lo tanto, el coeficiente de conductividad térmica k , será medido utilizando la ecuación (3)

$$(3) \quad k = \left(\frac{\text{cal cm}}{\text{cm}^2 \text{ seg}} \right) = \frac{(\text{masa de hielo derretido}) \left(80 \frac{\text{cal}}{\text{gm}} \right) (\text{espesor del tablero})}{(\text{área del hielo})(\text{tiempo durante el cual se derrite el hielo})(\text{diferencias de temperatura})}$$

Materiales:

1. Olla, con manguera
2. Cilindro de hielo
3. Cilindro de poliuretano
4. Balanza
5. Pie de rey
6. Cronómetro
7. Cámara térmica HT-A1, marca Hti
8. Anemómetro Kestrel 5500
9. Probetas tipo A, B y C, en las que se determina el valor K .
10. Base y cámara de vapor basados en los aparatos para medición de la conductividad térmica PASCO TD-8561.

Figura 41: Materiales para la prueba de conductividad térmica mediante la metodología de los aparatos PASCO TD-8561.



Fuente: (Propia).

Metodología:

La metodología que se expone a continuación está basada en el documento titulado "Manual de Instrucciones y Guía de Experimentos para el Científico PASCO, Modelo TD-8561". El propósito de este método es investigar la velocidad de conducción térmica en distintos materiales. La medición de la conductividad térmica, causada exclusivamente por el proceso de fusión del hielo a la temperatura ambiente, se lleva a cabo mediante los siguientes procedimientos:

1. **Preparación de las Muestras de Hielo:** Se llena un molde cilíndrico de plástico con agua y se congela, garantizando un período de congelación superior a 24 horas.
2. **Extracción del Hielo Congelado:** Una vez que el agua alcanza un estado sólido a temperaturas por debajo de 0°C , se procede a la extracción del hielo congelado mediante inmersión del molde en agua tibia.
3. **Registro de Espesores:** Los espesores de cada muestra de los tres tipos de tableros se miden y registran en la variable "h."
4. **Preparación de la Cámara de Vapor:** Se acondicionan las muestras de tableros de totora y cabuya en la cámara de vapor.
5. **Medición del Diámetro del Cilindro de Hielo:** El diámetro del cilindro de hielo congelado se mide y se almacena en la variable "d1." Se coloca una lámina de papel de aluminio sobre las muestras de tablero para evitar la absorción de agua del hielo derretido, y se coloca el cilindro de hielo encima de esta capa.
6. **Registro de Temperatura:** Utilizando una cámara térmica, se registra la temperatura del hielo.
7. **Fase de Observación:** Se espera hasta que el hielo comience a cambiar de estado sólido a líquido. Los datos no deben registrarse antes de que este proceso de fusión comience.
8. **Medición de Peso:** Se toma el peso del recipiente utilizado para recoger el agua derretida, que se coloca debajo del canal.
9. **Cálculo de la Masa de Agua Derretida:** Se calcula y registra el peso de la masa de agua derretida debida a la temperatura ambiente.
10. **Recopilación de Datos de Tiempo:** Durante un intervalo de aproximadamente 1200 segundos (variable "ta"), se recoge el agua derretida en un recipiente.
11. **Determinación de la Masa Final:** Se registra la masa del recipiente junto con el agua derretida.
12. **Cálculos y Determinación de Conductividad Térmica:** Los cálculos se realizan con base en los datos recopilados. Se calcula el diámetro promedio "davg" del hielo durante el experimento, se sustituye este valor en la ecuación de "A," y se determinan los valores de "Ra" y "R," que representan los recipientes en los que se recogió el

agua derretida debida al derretimiento a temperatura ambiente y la cámara de vapor, respectivamente.

Asimismo, la medición de la conductividad térmica que se produce al estar el tablero en contacto con la cámara de vapor y el cilindro de hielo se lleva a cabo de acuerdo a los siguientes pasos:

1. **Preparación de la Olla de Vapor:** Se llena una olla con agua y se espera a que alcance su punto de ebullición, aproximadamente 100 °C.
2. **Conexión de la Cámara de Vapor:** Se conecta una manguera al conducto de vapor que surge de la olla hacia la cámara de vapor. Se aguarda unos minutos hasta que la cámara alcance una temperatura constante de alrededor de 95 a 100 °C, que se registra con la cámara térmica. Además, se coloca un recipiente debajo del conducto de drenaje para recolectar el agua que se escapa de la cámara de vapor.
3. **Ajuste de las Muestras de Tablero:** Se acondicionan las muestras de tableros de totora y cabuya en la cámara de vapor, y se posiciona una capa de papel de aluminio sobre la muestra. Luego, se coloca el cilindro de hielo en la parte superior.
4. **Replicación del Proceso:** Se repiten los pasos 6 al 12 del procedimiento anterior, con el fin de medir y registrar la masa del hielo derretido ("mv") y el tiempo durante el cual se derrite el hielo ("t").
5. **Registro del Diámetro del Cilindro de Hielo:** Se mide el diámetro del cilindro de hielo y se almacena en la variable "d2."
6. **Cálculos y Determinación de la Conductividad Térmica:** Los cálculos realizados anteriormente se aplican nuevamente utilizando los datos recopilados. La conductividad térmica "k" se calcula de acuerdo con la ecuación:

$$k = \frac{(R_0)(80 \text{ cal/gm})(h)}{(A)(\Delta T)}$$

7. **Conversión de unidades:** Los datos obtenidos se expresan inicialmente en $\frac{\text{cal cm}}{\text{cm}^2 \text{ seg}}$, y para facilitar la lectura, se convierten a unidades de W/m°K.

Figura 42: Aplicación de la metodología para el ensayo de conductividad térmica mediante el método de los aparatos PASCO TD-8561.



Fuente: (Propia).

Condiciones en las que se realizó el ensayo:

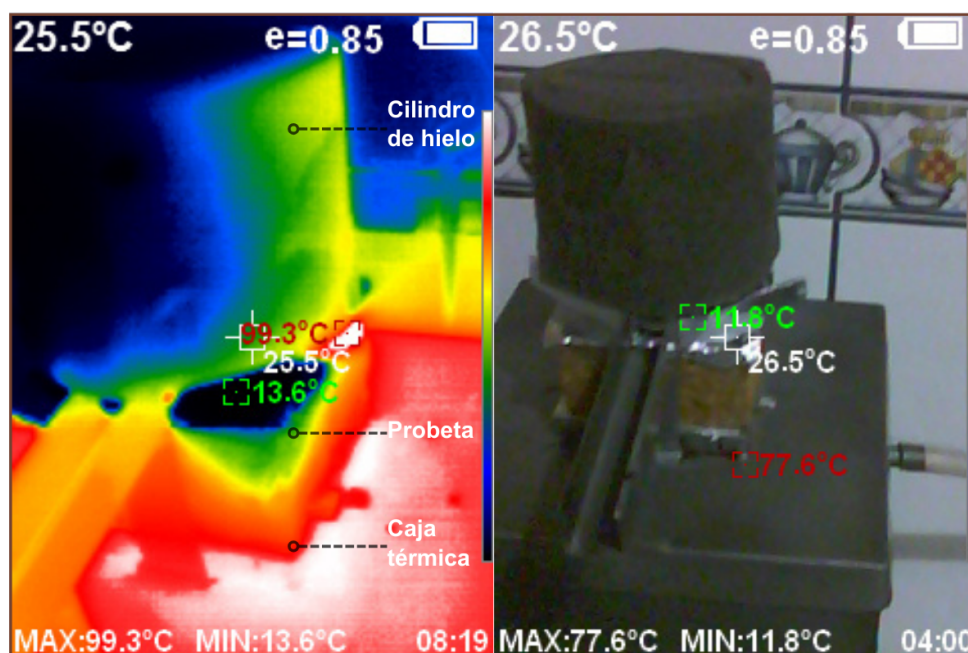
El manual de PASCO detalla el procedimiento y las condiciones teóricas del ensayo, que implica la exposición de la probeta a dos focos térmicos: $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, correspondiente al punto de ebullición del agua, y 0°C en forma de cilindro de hielo. Sin embargo, durante el ensayo experimental, las condiciones de la gradiente de temperatura (focos térmicos) no pudieron mantenerse constantes, fluctuando entre $96,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Esto se debe a los principios físicos relacionados con la presión atmosférica, especialmente relevante en regiones montañosas como los Andes ecuatorianos, donde se llevó a cabo el ensayo. La disminución de la presión atmosférica debido a la altitud provoca que el punto de ebullición del agua sea menor que $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, el foco térmico caliente se mantuvo entre los $96,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, en lugar de alcanzar los $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ como se esperaba.

En cuanto al foco térmico frío de 0°C, este se fundamenta en principios físicos como el punto de fusión del agua, que ocurre a 0°C. Durante el ensayo, el cilindro de hielo, inicialmente a temperaturas entre -3,4 °C y -2,9°C, experimentó una transición al estado líquido al recibir energía térmica del vapor de agua que atravesaba la probeta. Este proceso permitió que el hielo se convirtiera en agua líquida, manteniendo una temperatura constante.

Los registros de temperatura para los focos térmicos caliente y frío se encuentran detallados en la tabla "Registro de la temperatura para las cuatro pruebas (PASCO-TD-8561)" que se presenta en los Anexos. Estos registros incluyen las variables de temperatura de la caja térmica y del hielo. Además, la Figura 43 proporciona una visualización de la toma de temperaturas durante el ensayo.

Figura 43: Registro de focos térmicos con la cámara térmica.



Fuente: (Propia).

Limitaciones:

El ensayo realizado durante el período de las cuatro pruebas enfrentó diversas limitaciones que potencialmente podrían haber afectado la precisión de los resultados obtenidos. Una de estas limitaciones se originó en condiciones externas. Específicamente, las condiciones climáticas fluctuantes podrían haber influenciado los resultados del ensayo, ya que las condiciones climáticas no fueron constantes a lo largo de las pruebas.

Para mitigar esta limitación, siguiendo las recomendaciones del manual de PASCO, se tomó la precaución de aislar el cilindro de hielo utilizando espuma de poliuretano, asegurando que el hielo se derritiera únicamente debido al efecto térmico y no a factores externos. Es importante señalar que este procedimiento se llevó a cabo sin la conexión de la caja de vapor, lo que podría haber introducido ciertas variaciones en los resultados.

Además, otra limitación identificada en el ensayo se relaciona con la precisión de los instrumentos utilizados, como el cronómetro, la balanza, la cámara térmica y el anemómetro. Pequeñas desviaciones en la precisión de estos instrumentos podrían haber afectado la exactitud de los datos recopilados y, por lo tanto, la interpretación de los resultados.

Por otra parte, una parte del ensayo se centró en determinar la cantidad de hielo derretido únicamente a temperatura ambiente. Esta medida se consideró necesaria debido a la reconocida influencia de las condiciones climáticas variables en la reproducibilidad de los experimentos, especialmente en entornos donde la temperatura no está controlada.

Asimismo, la transferencia de calor entre los dos focos térmicos y la probeta también se reconoce como un área de posible incertidumbre. Es posible que existieran pérdidas de calor o inconsistencias en la transferencia de energía térmica, lo que podría haber afectado la uniformidad de la distribución de temperatura en la muestra.

Recomendaciones:

De acuerdo con el documento titulado "Manual de Instrucciones y Guía de Experimentos para el Científico PASCO, Modelo TD-8561," se obtienen mejores resultados al aislar el hielo lo máximo posible de su entorno. Por lo tanto, se recomienda cubrirlo con espuma de poliuretano. Además, se sugiere utilizar vaselina en la unión entre los tableros y la cubeta de agua para prevenir posibles fugas.

3.6.1.2. Prueba de conductividad térmica mediante la conducción en paredes compuestas en estado estable.

Objetivos:

- Calcular el coeficiente de conductividad térmica de la probeta 4A.
- Analizar y comparar el resultado con los datos obtenidos con el método del aparato PASCO TD-8561.

Principios físicos:

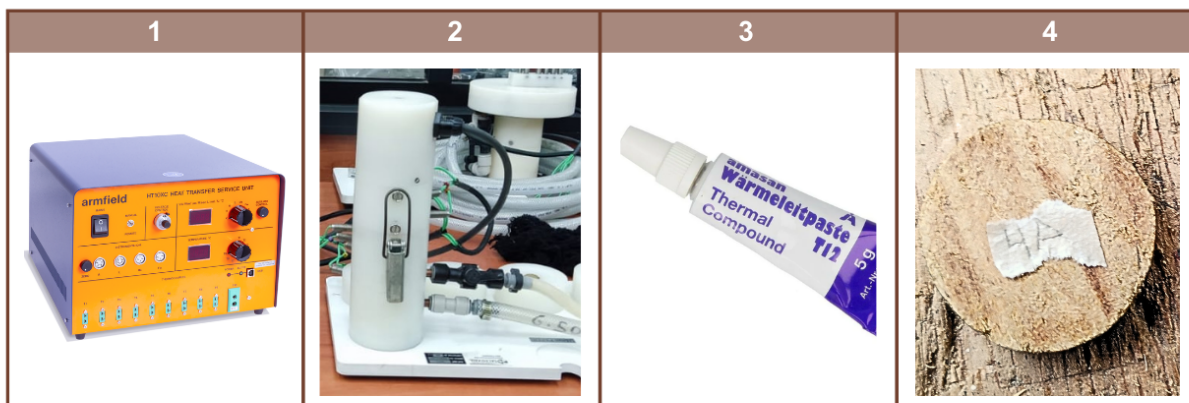
Los principios físicos que sigue esta metodología es la ley de Fourier que corresponde a la transmisión de calor por convección en elementos sólidos que se encuentran sometidos a un gradiente de temperatura que es proporcional al área transversal de la probeta. La cual sigue la siguiente ecuación:

$$(1) \Delta Q = k A \Delta T \frac{(\Delta t)}{h}$$

Materiales:

1. Unidad de servicio de transferencia de calor HT10CX.
2. Equipo de transferencia de calor de conducción lineal HT11C.
3. Pasta térmica.
4. Probeta de totora y cabuya (4A), de espesor 4 cm y de 1 pulgada de diámetro.

Figura 44: Materiales para la prueba de conductividad térmica mediante la conducción en paredes compuestas en estado estable.



Fuente: (Propia).

Metodología:

La metodología sigue los lineamientos presentados en el documento "Instrucción Manual HT11C", son los siguientes:

1. Colocar el accesorio de conducción de calor lineal HT11C junto a la Unidad de Servicio HT10XC en un banco adecuado.
2. Aplicar pasta térmica en las caras de acoplamiento del accesorio de conducción de calor, así como en la probeta 4A.

3. Conectar los termopares del HT11C a los enchufes correspondientes en la unidad de servicio.
4. Conectar la válvula de control de flujo de agua fría y el sensor de caudal de agua fría a la unidad de servicio.
5. Poseer un suministro de agua fría, un tubo de salida adecuado y conexión.
6. Ubicar el dispositivo HT11C armado al mismo nivel que la unidad de servicio HT10XC.
7. Encender la unidad de servicio HT10XC y el panel frontal.
8. Ajustar el voltaje inicial a 9 Voltios.
9. Estabilizar el equipo durante 4 minutos.
10. Registro de valores de temperatura y voltaje.
11. Cálculo del coeficiente de conductividad térmica por medio de la ecuación de Fourier.

Figura 45: Aplicación de la metodología descrita en el documento “Instrucción Manual HT11C”.



Fuente: (Propia).

3.6.2. Ensayo de absorción de humedad

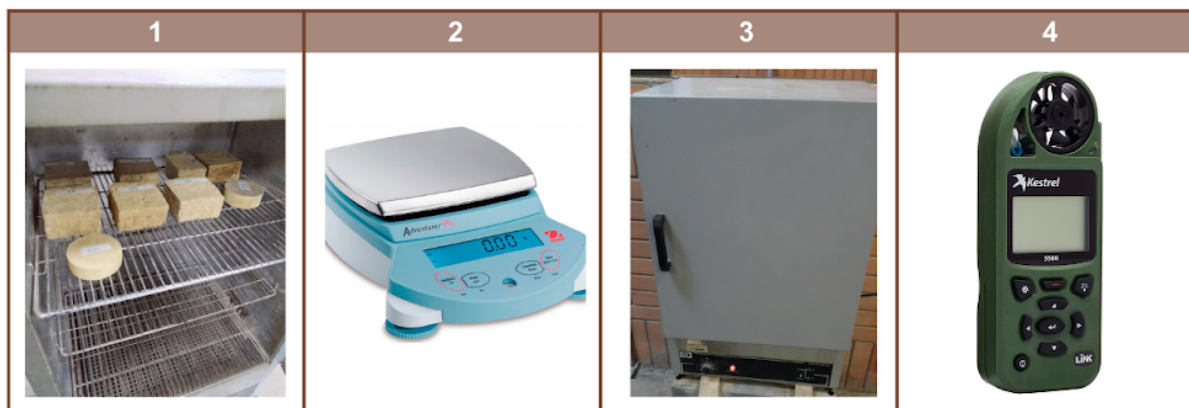
Con el propósito de determinar la velocidad de absorción de humedad de las probetas de totora y cabuya bajo condiciones normales de aplicación, se llevó a cabo un proceso meticuloso. Inicialmente, las muestras fueron sometidas a un proceso de desecación hasta alcanzar el peso anhidro. Posteriormente, se procedió a medir el peso de las probetas en

intervalos de 5 minutos, registrando la cantidad de aumento de peso en cada medición. Este método proporciona un indicador preciso de la cantidad de humedad ambiental absorbida por las probetas, permitiendo así una evaluación detallada de su capacidad de absorción.

Materiales:

1. Probetas de totora y cabuya.
2. Balanza.
3. Horno marca Humboldt, modelo 40GC Series Lab Ovens.
4. Anemómetro Kestrel 5500.

Figura 46: Materiales para el ensayo de absorción de humedad.



Fuente: (Propia).

Metodología:

1. Ajustar la temperatura del horno a 103°C.
2. Colocar las probetas de totora y cabuya en el horno durante un periodo de 24 horas.
3. Retirar las muestras del horno.
4. Registrar la temperatura y humedad ambiental al inicio del ensayo (H inicial y T inicial) y a los 30 minutos (H final y T final).
5. Registrar el peso seco de cada probeta.
6. Registrar los pesos de cada muestra en intervalos de 10 minutos a lo largo de un periodo de 30 minutos.

Resultados:

Tabla 13: Coeficiente de absorción de agua por difusión de tableros de totora y cabuya en un periodo de 30 minutos.

Código	Peso seco (g)	Peso (10min) (g)	Peso (20min) (g)	Peso (30min) (g)	H inicial (%)	H final (%)	T inicial (°C)	T final (°C)
1A	97,8	97,9	98	98,1	63,1	64,3	20,3	20,4
2A	102,1	102,3	102,4	102,5	63,1	64,3	20,3	20,4
3A	91,7	91,8	91,9	92	61,2	62,9	20,4	20,2
4A	94,2	94,3	94,4	94,5	61,2	62,9	20,4	20,2
5A	82,9	83	83,1	83,2	62,2	62,3	20,3	20,9
6A	25,9	26	26,1	26,1	62,2	62,3	20,3	20,9
1B	74,5	74,6	74,9	75	65	60,5	19,6	19,9
2B	71	71,3	71,4	71,5	65	60,5	19,6	19,9
3B	36,9	37,1	37,1	37,2	62,3	62,4	20,8	20,2
4B	88,5	88,7	88,8	88,9	65,1	49,7	20,7	21,4
5B	87,8	87,8	87,9	88	65,1	49,7	20,7	21,4

Fuente: (Propia).

Durante la observación, se evidenció que las probetas experimentaron un aumento de peso en un rango específico, situándose entre 0,01 y 0,02 gramos por cada intervalo de 10 minutos. Este hallazgo indica que tanto la totora como la cabuya blanca exhiben una capacidad de absorción de agua limitada. En consecuencia, se infiere que la conductividad térmica y la degradación del material no se verán afectadas significativamente.

3.6.3. Ensayo de densidad básica

La densidad de un material aislante guarda una relación directa con su capacidad para capturar y retener el calor. Los materiales con una mayor capacidad de aislamiento exhiben una baja densidad, ya que resisten el flujo de calor, permitiendo así mantener una temperatura constante en el interior de las edificaciones. Este ensayo se lleva a cabo conforme a la normativa Chilena NCh 176/2.

Materiales:

1. Probetas de totora y cabuya
2. Balanza
3. Flexómetro.

4. Pie de rey.

Figura 47: Materiales para ensayo de densidad.



Fuente: (Propia).

Metodología:

1. Preparar las probetas para la medición de volumen. Esto significa que las superficies y ángulos sean lisas y rectas.
2. Medir la longitud (l) y el ancho (a) y el espesor. Realizar este procedimiento de una a dos veces.
3. Pesar cada probetas.
4. Calcular la densidad de acuerdo a la expresión: $d = \frac{m}{v}$. Esto significa, m es igual a la masa pesada en gramos y v es igual a volumen expresado en centímetros cúbicos.

Resultados:

Tabla 14: Densidad de los tableros de totora y cabuya.

Código	Peso Inicial (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1A	98,8	216,60	0,46
2A	103,5	225,26	0,46
3A	92,7	240,24	0,39
4A	96	157,17	0,61
5A	84,3	193,12	0,44
6A	26,5	63,02	0,42
1B	76,3	216,45	0,35

2B	72,9	240,16	0,30
3B	37,5	80,78	0,46
4B	89,6	240,24	0,37
5B	89	225,26	0,40

Fuente: (Propia).

La densidad registrada en los tableros elaborados con totora y cabuya blanca oscila entre $0,61 \text{ g/cm}^3$ y $0,30 \text{ g/cm}^3$. Estos datos revelan que la estructura interna de las muestras es porosa y aireada, lo que resulta en una reducción significativa de la transferencia de calor a través del material. Además, la ligereza del peso de los tableros presenta ventajas notables durante el transporte de los mismos.

3.8. Resultados de la prueba de conductividad térmica

Para analizar la conductividad térmica mediante la metodología PASCO, se llevaron a cabo cuatro pruebas con el propósito de validar los resultados y asegurar su consistencia y reproducibilidad. La repetición del ensayo en múltiples ocasiones permitió identificar y evaluar la variabilidad inherente en los datos, lo cual es especialmente relevante al trabajar con materiales naturales.

Para determinar la fiabilidad de los resultados, se decidió calcular el promedio como el valor final del coeficiente de conductividad térmica (k). Este promedio se obtuvo utilizando los valores más similares de las cuatro pruebas, descartando los valores atípicos que podrían ser el resultado de anomalías o errores experimentales. Por ejemplo, en la probeta 1A, se consideraron exclusivamente los valores más similares, que fueron $0,0336 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ y $0,0489 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, para calcular el promedio.

Al examinar la variabilidad en los resultados de cada prueba, se identificaron datos atípicos, lo que motivó el cálculo del rango intercuartílico como medida de dispersión. Esto proporcionó una mejor comprensión de la dispersión de los resultados y permitió evaluar la consistencia entre las pruebas. El cálculo de esta medida de dispersión realizó bajo la siguiente metodología:

1. **Ordenar los datos:** Se ordenan los datos de mayor a menor.
2. **Calcular los cuartiles:** Se determinan los valores correspondientes a los cuartiles Q1 (primer cuartil) y Q3 (tercer cuartil). Q1 representa el valor por debajo del cual se encuentra el 25% de los datos, mientras que Q3 es el valor por debajo del cual se encuentra el 75% de los datos.

3. **Calcular el rango intercuartílico:** El rango intercuartílico se calcula restando el valor de Q1 del valor de Q3: $RI = Q3 - Q1$.

El RI proporciona una medida de la dispersión de los datos alrededor del promedio y ayuda a evaluar la consistencia de los resultados de conductividad térmica para cada tipo de tablero. Es relevante señalar que los valores inusuales pueden ser influenciados por diversos factores, como las condiciones ambientales, incluidas las variaciones en la temperatura, que pueden afectar la precisión de las mediciones. Además, la precisión de los instrumentos de medición también puede contribuir a la generación de datos anómalos.

Finalmente, se presenta en la tabla 15 los resultados del ensayo aplicado a las 13 probetas, proporcionando una visión detallada de los hallazgos obtenidos.

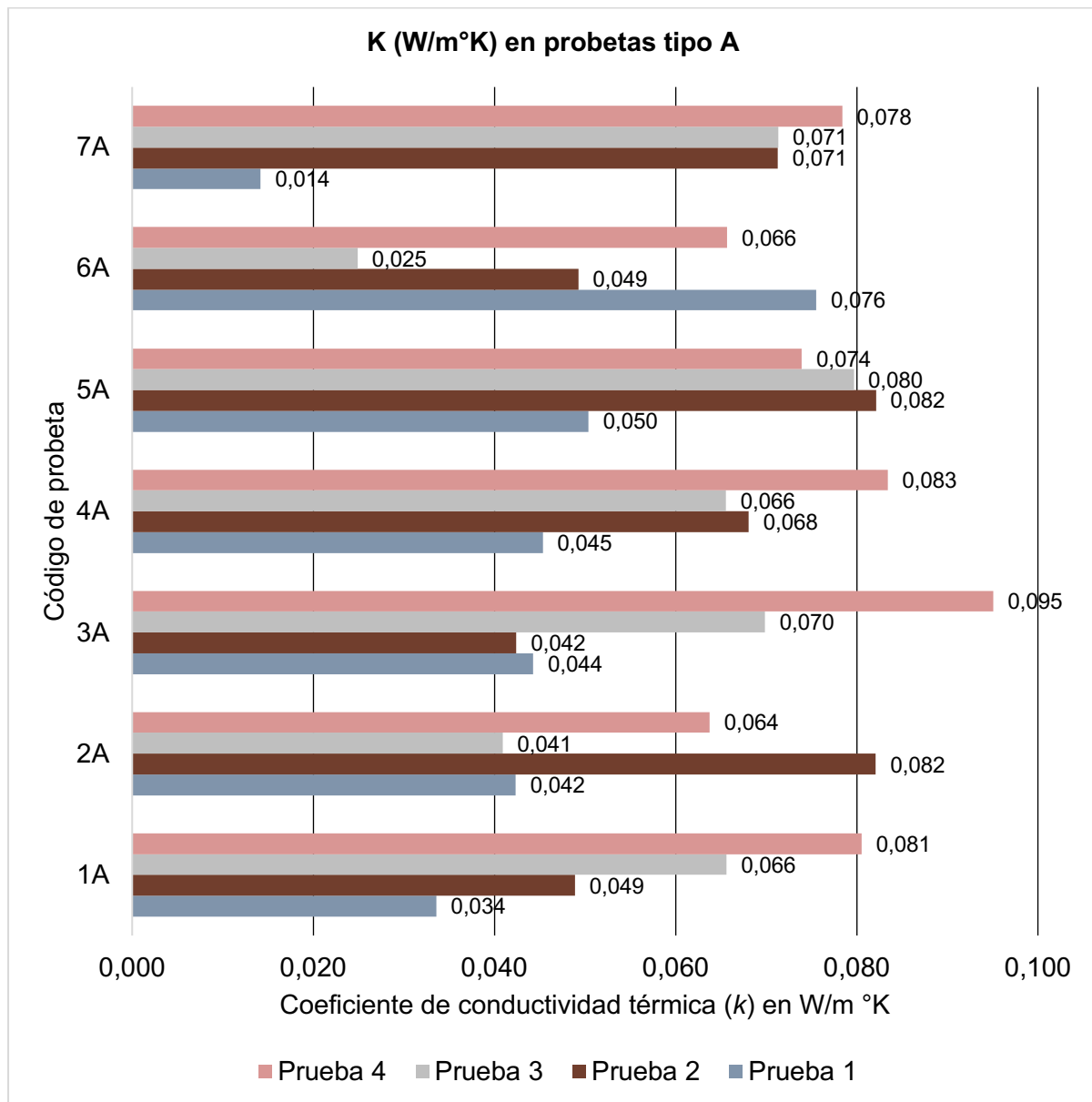
Tabla 15: Análisis estadístico de las cuatro pruebas realizadas a las trece probetas.

Resultados de la prueba de conductividad térmica PASCO						
Código	1 ^{ra} Prueba (W/m ^o K)	2 ^{da} Prueba (W/m ^o K)	3 ^{ra} Prueba (W/m ^o K)	4 ^{ta} Prueba (W/m ^o K)	Promedio (W/m ^o K)	Rango intercuartílico (W/m ^o K)
Tableros tipo A						
1A	0,0336	0,0489	0,0656	0,0805	0,0412	0,0318
2A	0,0423	0,0821	0,0409	0,0638	0,0416	0,0314
3A	0,0443	0,0424	0,0699	0,0951	0,0434	0,0391
4A	0,0453	0,0681	0,0656	0,0834	0,0668	0,0203
5A	0,0504	0,0821	0,0797	0,0739	0,0768	0,0186
6A	0,0755	0,0493	0,0249	0,0657	0,0371	0,0335
7A	0,0142	0,0713	0,0713	0,0784	0,0737	0,0321
Tableros tipo B						
1B	0,0759	0,1225	0,0554	0,0807	0,0681	0,0359
2B	0,0778	0,1072	0,0638	0,0638	0,0638	0,0287
3B	0,0733	0,0626	0,0860	0,0790	0,0761	0,0145
4B	0,0668	0,0693	0,0744	0,0909	0,0702	0,0146
5B	0,0586	0,0759	0,0818	0,0675	0,0788	0,0158
Tableros tipo C						
1C	0,0364	0,0816	0,0712	0,0726	0,0719	0,0233

■ Datos considerados para el cálculo del promedio.

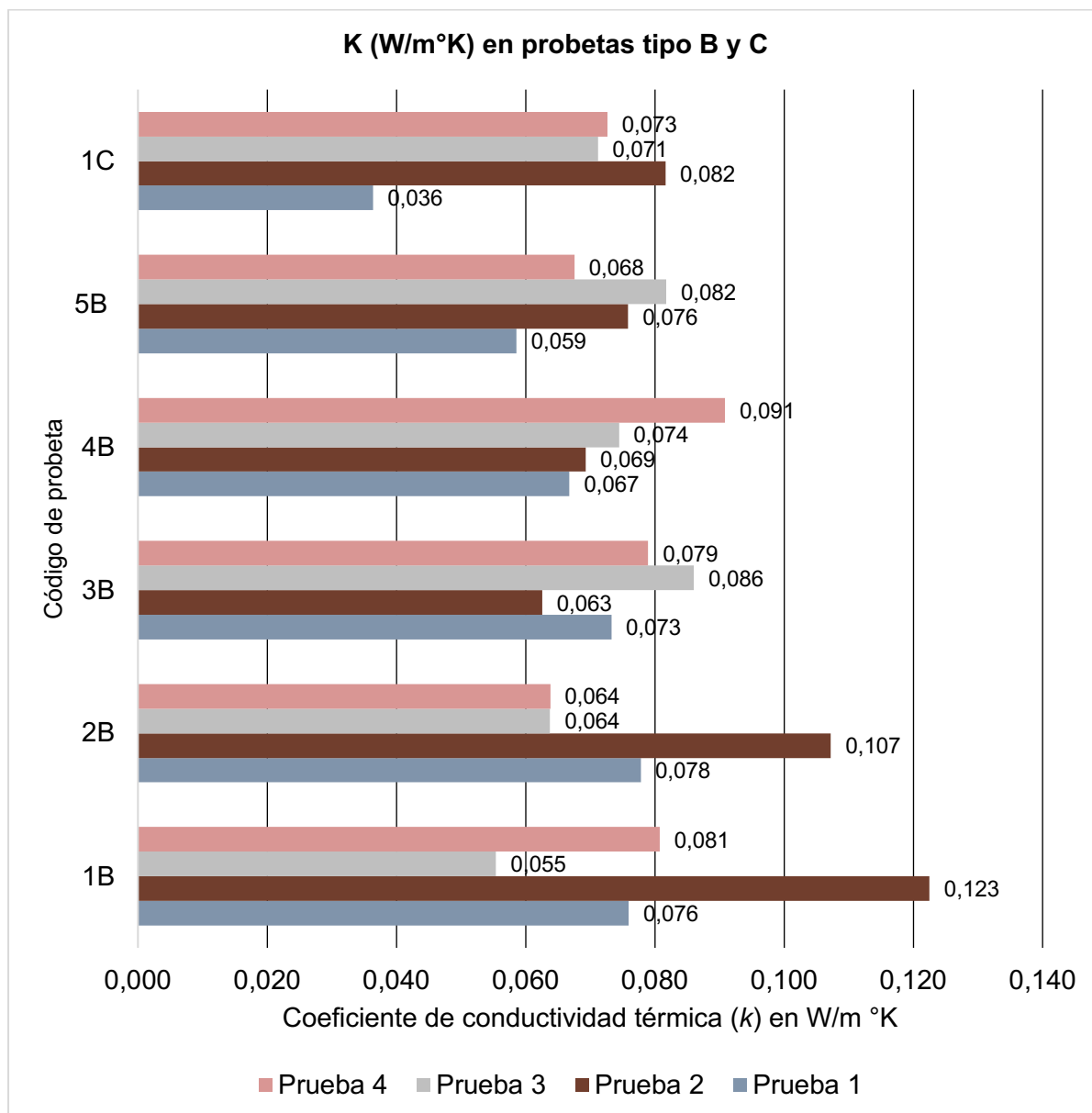
Fuente: (Propia).

Figura 48: Comportamiento térmico de las cuatro pruebas a las probetas tipo A.



Fuente: (Propia).

Figura 49: Comportamiento térmico de las cuatro pruebas a las probetas tipo B y C.



Fuente: (Propia).

Las Figuras 48 y 49 muestra el comportamiento térmico durante las cuatro pruebas de las probetas tipo A, B y C. Se observa que, en la primera prueba, más del 50% de las probetas mostraron coeficientes térmicos más bajos, mientras que en la cuarta prueba se obtuvo el coeficiente térmico más alto.

La determinación de la conductividad térmica se ejecutó en un intervalo de temperaturas comprendido entre 20,6 °C y 17,3 °C, abarcando las trece probetas objeto de estudio. Este rango térmico revela que la variabilidad en el comportamiento térmico de los tableros tipo A es mínima, a excepción del tablero 6A, caracterizado por una divergencia singular. Es

imperativo destacar que estos tableros exhiben un coeficiente térmico inferior en comparación con las variantes B y C.

En lo que respecta al rendimiento térmico de los tableros tipo B, recubiertos con tela de cabuya de 1 mm de espesor, los resultados reflejan variaciones modestas en virtud de las condiciones térmicas a las cuales fueron expuestos. Sin embargo, las probetas 1B y 2B, así como la probeta 1C elaborada a partir de tallos enteros de totora recubiertos con tela de cabuya de 1 mm de espesor, manifiestan susceptibilidad ante las fluctuaciones de la temperatura ambiente.

Los cálculos promedio de la conductividad térmica para la totora oscilan entre 0,040 y 0,048 W/m^{°K}, mientras que, para la cabuya blanca (F. andina), aún no se ha calculado, se considera el valor estimado de *Furcraea macrophylla*, fluctuando entre 0,045 y 0,032 W/m^{°C}. Los resultados promedio de las probetas 6A y 7A (constituidas al 100% por totora y 100% por cabuya, respectivamente) oscilan entre 0,0371 W/m^{°K} (totora) y 0,0737 W/m^{°K} (cabuya), revelando una notable concordancia en los datos.

El análisis de la proporción de totora y cabuya en las probetas demuestra que la totora exhibe un coeficiente k inferior al de la cabuya. Sin embargo, cada probeta manifiesta un elevado potencial como componente de aislación térmica, ya que los valores obtenidos se sitúan por debajo del rango de 0,1 y 0,2, típico para la madera. De manera notable, las probetas 1A, 2A, 3A y 6A presentan valores análogos a aquellos observados en materiales comunmente utilizados como barreras aislantes en muros, pisos, techos, y revestimientos (Ver tabla 16).

Tabla 16: Conductividad térmica de materiales aislantes.

Material	Conductividad térmica (W/m^{°K})
Lana mineral I	0,042
Lana mineral II	0,041
Lana de vidrio	0,041
Poliestireno expandido	0,038
Vidrio celular	0,044
Corcho	0,03

Fuente: Muñoz., et al, (2007).

Con el propósito de validar los datos, se realizó una segunda medición de la transmitancia térmica en la probeta 4A, mediante el aparato HT11C, que transmite el calor por conducción lineal. El coeficiente de conductividad térmica derivado es $0,0602 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, siendo su valor muy cercano al obtenido mediante PASCO, el cual es $0,0668 \text{ W/m}^\circ\text{K}$. Por lo tanto, se observa que los resultados son fidedignos.

3.9. Conclusiones

La investigación realizada ha confirmado las excepcionales propiedades aislantes de las fibras naturales de totora y cabuya en cuanto a la transferencia de calor. Los valores promedio de conductividad térmica obtenidos para las probetas tipo A (1A, 2A, 3A y 6A), elaboradas con totora y cabuya, se sitúan en un rango de $0,0371$ a $0,045 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, demostrando su capacidad para competir con aislantes sintéticos convencionales como la lana mineral, la lana de vidrio y el poliestireno expandido. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de emplear estas fibras naturales como alternativas sostenibles para el aislamiento térmico en la construcción.

Respecto a los objetivos planteados al inicio del estudio, cada uno ha sido abordado de manera satisfactoria:

1. **Análisis de las propiedades aislantes de las fibras vegetales de totora y cabuya:**

A través de ensayos de conductividad térmica, se ha evaluado el comportamiento térmico de las fibras de totora y cabuya, confirmando su eficacia como materiales de aislamiento térmico en la construcción. La totora, con su estructura interna de cámaras de aire, muestra una conductividad térmica promedio entre $0,040$ y $0,048 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, según Hidalgo et al. (2022), mientras que la cabuya (*Furcraea macrophylla*) exhibe una conductividad térmica promedio entre $0,045$ y $0,032 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$, según Muñoz et al. (2007). Los coeficientes de conductividad térmica determinados para la totora y la cabuya en este estudio oscilan entre $0,037$ y $0,073 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, obteniendo así valores cercanos a los determinados en estudios previos.

2. **Revisión de la aplicación de la totora y cabuya en la arquitectura:**

Se ha realizado un análisis exhaustivo de la literatura pertinente, resaltando ejemplos históricos y contemporáneos de su uso en diversas culturas y contextos geográficos. Por ejemplo, en la comunidad de los Uros, las propiedades aislantes de la totora se han aprovechado para proporcionar confort en las viviendas construidas con este material. En la región sierra del Ecuador, se han perfeccionado técnicas de trenzado con totora, destacándose la fabricación de esteras utilizadas para mejorar las condiciones ambientales en edificaciones. La cabuya, por otro lado, ha sido empleada por culturas

prehispánicas para las uniones de cubiertas y muros de viviendas vernáculas debido a su resistencia a la tracción. Proyectos actuales han desarrollado tableros de partículas finas aprovechando la pulpa generada en los procesos de obtención de los hilos de cabuya, así como paneles modulares para ser utilizados en el interior de las edificaciones como pared y tabiquería.

3. **Construcción de un tablero aislante con fibras naturales de totora y cabuya:** Se ha logrado llevar a cabo la construcción de prototipos de tableros empleando una cuidadosa selección de parámetros, incluyendo la proporción de totora y cabuya, así como la dosificación entre fibras y aglutinante. Estos diseños meticulosamente planificados han sido sometidos a pruebas de dosificación tanto de aglutinante como de fibras, utilizando una relación de 1:2, es decir, una parte de fibras (totora y cabuya, dependiendo de la proporción) y dos partes de aglutinante aumentando en un 10% debido a su consistencia. Esta mezcla resultó ser favorable, ya que ayudó a que las fibras se adhirieran adecuadamente sin grietas ni desprendimiento de material. Asimismo, la cantidad de aglutinante en proporción 2:1 (dos partes de PVA y una parte de agua) en la mezcla, al momento de secarse, no añadió un peso considerable a los tableros. Posteriormente, estos tableros han sido sometidos a exhaustivas pruebas de conductividad térmica para evaluar sus propiedades aislantes con precisión.
4. **Análisis de las propiedades aislantes del tablero de totora y cabuya:** Se demuestra que el tablero posee propiedades aislantes que lo posicionan como un material eficaz en este ámbito. La evaluación de los objetivos propuestos al inicio del estudio confirma la viabilidad de producir tableros de totora y cabuya como aislantes térmicos. Además, los coeficientes de conductividad térmica de los tres tipos de probetas están por debajo de $0,1 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$, comparable a algunas fibras de madera, validando así la competencia de estos materiales para inhibir el flujo de calor.

En conclusión, esta investigación ha demostrado el potencial de las fibras naturales de totora y cabuya como alternativas sostenibles y efectivas para el aislamiento térmico en la construcción. Los resultados obtenidos no solo contribuyen al conocimiento en este campo, sino que también ofrecen una opción viable para reducir la huella ambiental de las edificaciones y promover prácticas constructivas más sostenibles. Al trabajar con totora y cabuya, se estaría contribuyendo a la disminución de la huella ambiental y promoviendo la economía circular, ya que varias comunidades comercializan estas fibras, al mismo tiempo que se rescatarían saberes y técnicas constructivas utilizadas por pueblos milenarios.

3.10. Futuras líneas de investigación:

Para ampliar el alcance y la relevancia de este estudio sobre el tablero aislante con fibras naturales de totora y cabuya, es imperativo explorar nuevas fronteras y considerar diversos aspectos que enriquezcan tanto su viabilidad como su eficacia. En este sentido, se proponen varias líneas de investigación que abordan aspectos cruciales para el desarrollo y la aplicación de este material innovador:

1. **Exploración de alternativas en el procesamiento y tratamiento de materiales:** Se insta a investigar nuevas metodologías de procesamiento y tratamiento de la totora y cabuya, con el fin de potenciar sus propiedades aislantes y mejorar su resistencia a condiciones ambientales adversas. Esta exploración podría incluir la experimentación con diversos aglutinantes para optimizar las propiedades de las fibras, así como el análisis de la influencia en el tamaño de partícula de las fibras en la conductividad térmica. Además, se propone analizar diferentes proporciones de aglutinante y fibras, así como explorar la influencia de la proporción entre la totora y la cabuya.
2. **Evaluación exhaustiva del rendimiento térmico:** Se sugiere llevar a cabo estudios experimentales detallados para cuantificar y contrastar el rendimiento térmico del tablero aislante propuesto con respecto a materiales convencionales, en una variedad de condiciones climáticas y aplicaciones específicas. Este enfoque permitirá comprender mejor las capacidades aislantes del material y su idoneidad en diferentes contextos ambientales.
3. **Análisis integral de sostenibilidad:** Es esencial investigar el ciclo de vida completo del tablero aislante, considerando el impacto ambiental de su producción, uso y disposición final. Esta evaluación integral permitirá determinar la viabilidad del material como una alternativa sostenible a los materiales tradicionales, contribuyendo así a la mitigación de los impactos ambientales asociados con la construcción y el diseño arquitectónico.
4. **Estudios de mercado y percepción del consumidor:** Se plantea realizar investigaciones de mercado exhaustivas para evaluar la aceptación del tablero aislante propuesto por parte de consumidores, contratistas y profesionales de la construcción.

Mediante la exploración y el desarrollo en estas áreas de investigación, se espera impulsar significativamente la evolución y la aplicación práctica del tablero aislante de totora y cabuya, estableciendo así una base sólida para su integración exitosa en el ámbito de la construcción sostenible y la innovación en materiales.

3.10.1. Recomendaciones:

El estudio actual se sumerge en la evaluación del potencial de los tableros aislantes hechos de fibras naturales de totora y cabuya como alternativas sostenibles para el aislamiento térmico en la construcción. En esta búsqueda de soluciones ecoamigables y eficientes, surgen diversas recomendaciones que podrían robustecer la investigación y orientar futuros desarrollos y aplicaciones de estos materiales. A continuación, se presentan algunas sugerencias para ampliar el alcance y la efectividad del estudio:

1. Realizar ensayos detallados sobre la estructura molecular de la cabuya y su impacto en su capacidad aislante. Profundizar en este aspecto podría proporcionar una comprensión más completa de las propiedades térmicas de la cabuya y su potencial como material aislante.
2. Explorar a fondo las técnicas y procesos de fabricación de los tableros. Una comprensión más profunda de los métodos de fabricación podría conducir a mejoras en la eficiencia y calidad de los tableros aislantes, así como a la identificación de posibles áreas de innovación.
3. Experimentar con diferentes proporciones de totora y cabuya en los tableros para determinar la combinación óptima que maximice las propiedades aislantes. Esta investigación podría ayudar a optimizar la formulación de los tableros y mejorar su rendimiento térmico.
4. Realizar pruebas adicionales en los tableros aislantes para validar su desempeño en una variedad de condiciones ambientales y aplicaciones de construcción. Estas pruebas podrían incluir pruebas de resistencia al fuego, durabilidad a largo plazo y capacidad para resistir la humedad.
5. Realizar un análisis exhaustivo del impacto ambiental de la producción y el uso de los tableros aislantes de totora y cabuya en comparación con los aislantes convencionales. Este análisis podría abarcar la evaluación de los recursos naturales utilizados, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del producto.

Al atender estas recomendaciones, se espera que el estudio pueda sentar bases sólidas para la aplicación de los tableros aislantes de totora y cabuya en la construcción sostenible, contribuyendo así a la reducción de la huella ambiental de las edificaciones y promoviendo prácticas constructivas más responsables.

Referencias

- Aguirre, C., Jarrín, G., Guilcapo, E., y Montenegro, F. (2023). Cabuya (*Furcraea andina*, Asparagaceae): una persistencia biocultural para la reproducción del ser social Puruhá en la microcuenca del Río Guano (Andes Ecuatorianos). *Acta Botanica Mexicana*.
- Aza, L. C. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Baldeón, J. E. (2013). *Estudio de retención de matorrales pesados en aguas sintéticas (preparadas en el laboratorio) utilizando como lecho filtrante la fibra de cabuya furcraea andina como alternativa de biorremediación*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Camargo, M. D. (2022). *Caracterización morfológica de la fibra de fique (Furcraea andina) para uso en obras de bioingeniería*. Tunja: Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.
- Checa, C. M., y Jurado, A. F. (2001). *Mejoramiento de la calidad de la fibra de cabuya y su aplicación*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Contreras, Eduardo, T., y Montalvan, N. A. (2022). *Elaboración de un panel a base de totora y hormigón para vivienda de interés social*. Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
- Criollo, O. H., Benitez, J., y Morillo, E. (2011). *Establecimiento de un protocolo para la propagación masiva in vitro de cabuya azul (Agave americana L.) y cabuya blanca (Furcraea andina Trel.)*. Pichincha: Instituto Nacional Autónomo de Investigadores Agropecuarias.
- Daza, P. J. (2010). *Construcción sostenible de edificios: Una alternativa responsable para el desarrollo urbano de Quito*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- De Santis, J. A. (2018). *Análisis de los residuos de construcción y demolición en Guayaquil: Propuesta para su reducción, uso y mitigación de su impacto*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Dobrowolska, K. (04 de marzo de 2021). *Consejos para la construcción, noticias y buenas prácticas*. Obtenido de ARCHDESK.: <https://archdesk.com/es/blog/como-afecta-la-construccion-al-medio-ambiente/>
- Enzo, V. (21 de Marzo de 2022). *Arch daily*. Obtenido de Suelos blandos: tradición constructiva de las islas flotantes de los Uros: <https://www.archdaily.cl/cl/02-345104/suelos-blandos-tradicion-constructiva-de-las-islas-flotantes-de-los-uros>
- Estrella, S. A. (2016). *Estudio de un material compuesto a base de fibras naturales de cabuya para mejorar las propiedades mecánicas de elementos de concreto reforzado*. Riobamba: Universidad nacional de Chimborazo.

- FAO. (8 de Julio de 1994). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de Consulta de expertos sobre productos forestales no madereros para America Latina y el Caribe: <https://www.fao.org/3/t2354s/t2354s.pdf>
- González, E. M. (2020). *Revalorización de la totora como material de construcción*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- GoRaymi. (07 de 2023). *Go Raymi*. Obtenido de Go Raymi: <https://www.goraymi.com/en-ec/tungurahua/ambato/tejidos/quisapincha-shigras-aqhaxp9lc>
- Heredia, F. G. (2014). *Re-significación de la totora, a través del diseño y la innovación de técnicas, usos y formas*. Córdoba.
- Hidalgo, J. F. (2007). *Aprovechamiento de la Totora como material de construcción*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Hidalgo, J. F. (2013). *JFH*. Obtenido de Juan Fernando Hidalgo: <https://www.juanfernandohidalgo.com/home/news>
- Hidalgo, J. F., y García, J. n. (2018). La Totora (*Shoenoplectos californicus* (CA Mey. Soják) y su potencial como material de construcción. *Industrial Crops and Products*, 467-480.
- Hidalgo, J. F., y Aza, L. C. (2022). Análisis del comportamiento térmico de elementos elaborados con totora mediante diferentes procesos productivos. *Journal of Building Engineering*.
- Holguino, A., Olivera, L., y Escobar, K. (2018). Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calos en los andes del Perú. *Revista de Investigaciones Altandinas*, 301-3014.
- Hýsková, P., Gaff, M., Hidalgo, J. F., y Hýsek, Š. (2020). Materiales compuestos de totora (*Schoenoplectus californicus*. CA Mey, Sojak): ¿Vale la pena? *Composite Structures*, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026382231932731X>).
- Iannacone, J., La Torre, M., Lorena, A., Carla, C., Hildebrando, A., y Argota, G. (2013). Toxicidad de los bioplaguicidas agave americana, fuercrea andina (asparagaceae) y sapindus saponaria (sapindaceae) sobre el caracol invasor melanoides tuberculata (thiaridae). *Neotrop Helminthol*, 231-241.
- Jara, O., y Gonza, M. (2020). *Tablero compuesto Totoraecopack*. Otavalo: Municipio de Otavalo.
- Lerner, F. (2020). *BQA*. Obtenido de Archivo BQA: <https://arquitecturapanamericana.com/cubo-de-totora/>
- Mera, M. C. (2012). Ensayo de tableros de partículas en una matriz de pulpa de celulosa y urea formaldehido. *Axioma*, 11-17.
- Muñoz, D., y Gerardo, C. (2007). *El fique como aislante térmico* .

- Palomo, M. (2017). *Aislantes térmicos criterios de selección por requisitos energéticos*. Madrid: Universidad Politécnica Madrid.
- PASCO, s. (1987). *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model TD-8561*. Roseville.
- Pérez, M. (1974). *El fique su taxonomía cultivo y tecnología*. Medellín: Colina.
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador, P. (20 de Mayo de 2023). *Bioweb*. Obtenido de Reptiles del Ecuador: <https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/GeografiaClima/>
- Rengel Coronel, D. E. (2018). *Aglomerantes de origen natural aplicables a la fibra de totora*. Cuenca : Universidad Católica de Cuenca.
- Rua, J., Buchelyb, S., Monteiroc, N., Echeverri, G., y Coloradoc, H. (2021). Comportamiento al impacto de compuestos laminados construidos con fibras de fique y resina epoxi: un análisis mecánico utilizando el comportamiento al impacto y a la flexión. *Journal of Materials Research and Technology*, 428-438.
- Sánchez, P. A. (2020). *Fibras vegetales de totora y cabuya y su aplicación en espacios interiores de viviendas sociales de la Parroquia Totoras*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato .
- Tumbaco, D. J. (2022). *Utilización de la fibra de cabuya en la elaboración de bloques para mampostería para fortalecer la actividad productiva en las parroquias rurales del cantón Latacunga, provincia del Ecuador*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Tumbaco, D. J. (2022). *Utilización de la fibra de cabuya en la elaboración de bloques para mampostería para fortalecer la actividad productiva en las parroquias rurales del cantón Latacunga, provincia de cotopaxi*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Vallejo, C. (23 de febrero de 2022). *Perú travel*. Obtenido de <https://www.peru.travel/es/masperu/caballitos-de-totora-milenaria-embarcacion-para-la-pesca-en-peru-que-aun-se-mantiene>.
- Vera, K. C. (2018). *Estudio acústico y térmico de la fibra de Cabuya como panel para revestimiento de paredes*. Guayaquil: Universidad laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.
- Viteri, A. V. (2017). *Comportamiento térmico de dosplntsd fibrosas ecuatorinas para la utilización como aislamiento en viviendas*. Quito: Universidad De las fuerzas Armadas

Anexos

Primera prueba (PASCO-TD-8561)

Datos y Cálculos de los tableros tipo A															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa(cm)	t(seg)	mw(g)	davg(cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1A	3,8	6,8	6,6	6,4	1200	10	1200	14	6,60	34,19	0,0083	0,0117	0,003	0,00008	0,034
2A	3,8	6,8	6,6	6,4	1200	10	1200	15	6,60	34,19	0,0083	0,0125	0,004	0,00010	0,042
3A	4	6,7	6,6	6,4	1200	10	1200	15	6,57	33,85	0,0083	0,0125	0,004	0,00011	0,044
4A	3,9	6,5	6,4	6,3	1200	10	1200	15	6,40	32,15	0,0083	0,0125	0,004	0,00011	0,045
5A	3,8	6,7	6,6	6,5	1200	9	1200	15	6,60	34,19	0,0075	0,0125	0,005	0,00012	0,050
6A	3,8	6,8	6,6	6,4	1200	9	1200	18	6,60	34,19	0,0075	0,015	0,008	0,00018	0,076
7A	3,3	6,9	6,7	6,5	1200	7	1200	9	6,70	35,24	0,0058	0,0075	0,002	0,00003	0,014

Datos y Cálculos de los tableros tipo B															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa(cm)	t(seg)	mw(g)	davg(cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1B	3,7	6,6	6,5	6,4	1200	10	1200	19	6,50	33,1663	0,0083	0,0158	0,008	0,00018	0,076
2B	3,8	6,7	6,5	6,4	1200	10	1200	19	6,53	33,5073	0,0083	0,0158	0,008	0,00019	0,078
3B	4,1	6,8	6,5	6,4	1200	10	1200	18	6,57	33,8501	0,0083	0,015	0,007	0,00018	0,073
4B	3,9	6,8	6,7	6,6	1200	8	1200	16	6,70	35,2387	0,0067	0,0133	0,007	0,00016	0,067
5B	3,9	6,8	6,8	6,5	1200	8	1200	15	6,70	35,2387	0,0067	0,0125	0,006	0,00014	0,059

Datos y Cálculos de los tableros tipo C															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa(cm)	t(seg)	mw(g)	davg(cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1A	4,2	6,9	6,7	6,4	1200	10	1200	14	6,67	34,8889	0,0083	0,0117	0,003	0,00009	0,036

Segunda Prueba (PASCO-TD-8561)

Datos y Cálculos de los tableros tipo A															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1A	3,8	6,9	6,7	6,5	1200	8	1200	14	6,70	35,2387	0,0067	0,0117	0,005	0,00012	0,049
2A	3,8	6,8	6,7	6,5	1200	8	1200	18	6,67	34,8889	0,0067	0,015	0,008	0,00020	0,082
3A	4	6,9	6,8	6,5	1200	8	1200	13	6,73	35,5902	0,0067	0,0108	0,004	0,00010	0,042
4A	3,9	6,8	6,7	6,4	1200	8	1200	16	6,63	34,5409	0,0067	0,0133	0,007	0,00016	0,068
5A	3,8	6,8	6,7	6,5	1200	10	1200	20	6,67	34,8889	0,0083	0,0167	0,008	0,00020	0,082
6A	3,8	6,8	6,7	6,5	1200	10	1200	16	6,67	34,8889	0,0083	0,0133	0,005	0,00012	0,049
7A	3,3	6,8	6,7	6,5	1200	11	1200	21	6,67	34,8889	0,0092	0,0175	0,008	0,00017	0,071

Datos y Cálculos de los tableros tipo B															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1B	3,7	6,8	6,7	6,5	1200	5	1200	20	6,60	34,1946	0,0042	0,0167	0,013	0,00029	0,123
2B	3,8	6,9	6,6	6,5	1200	3	1200	16	6,67	34,8889	0,0025	0,0133	0,011	0,00026	0,107
3B	4,1	6,8	6,7	6,5	1200	10	1200	17	6,67	34,8889	0,0083	0,0142	0,006	0,00015	0,063
4B	3,9	6,8	6,6	6,4	1200	9	1200	17	6,60	34,1946	0,0075	0,0142	0,007	0,00017	0,069
5B	3,9	6,8	6,7	6,5	1200	12	1200	21	6,67	34,8889	0,01	0,0175	0,008	0,00018	0,076

Datos y Cálculos de los tableros tipo C															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1C	4,2	6,8	6,7	6,5	1200	10	1200	19	6,67	34,8889	0,0083	0,0158	0,008	0,00020	0,082

Tercera prueba (PASCO-TD-8561)

Datos y Cálculos de los tableros tipo A															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1A	3,8	6,8	6,7	6,5	1200	10	1200	18	6,67	34,8889	0,0083	0,015	0,007	0,00016	0,066
2A	3,8	6,9	6,6	6,5	1200	9	1200	14	6,67	34,8889	0,0075	0,0117	0,004	0,00010	0,041
3A	4	6,8	6,7	6,4	1200	9	1200	17	6,63	34,5409	0,0075	0,0142	0,007	0,00017	0,070
4A	3,9	6,9	6,8	6,6	1200	10	1200	18	6,77	35,9434	0,0083	0,015	0,007	0,00016	0,066
5A	3,8	6,9	6,8	6,6	1200	10	1200	20	6,77	35,9434	0,0083	0,0167	0,008	0,00019	0,080
6A	3,8	6,8	6,6	6,5	1200	12	1200	15	6,63	34,5409	0,01	0,0125	0,003	0,00006	0,025
7A	3,3	6,8	6,7	6,5	1200	8	1200	18	6,67	34,8889	0,0067	0,015	0,008	0,00017	0,071

Datos y Cálculos de los tableros tipo B															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1B	3,7	6,9	6,7	6,5	1200	11	1200	18	6,70	35,2387	0,0092	0,015	0,006	0,0001	0,055
2B	3,8	6,9	6,8	6,6	1200	9	1200	17	6,77	35,9434	0,0075	0,0142	0,007	0,0002	0,064
3B	4,1	6,9	6,8	6,6	1200	8	1200	18	6,77	35,9434	0,0067	0,015	0,008	0,0002	0,086
4B	3,9	6,9	6,8	6,5	1200	9	1200	18	6,73	35,5902	0,0075	0,015	0,008	0,0002	0,074
5B	3,9	6,9	6,8	6,6	1200	9	1200	19	6,77	35,9434	0,0075	0,0158	0,008	0,0002	0,082

Datos y Cálculos de los tableros tipo C															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1C	4,2	6,9	6,8	6,5	1200	9	1200	17	6,73	35,5902	0,0075	0,0142	0,007	0,0002	0,071

Cuarta prueba (PASCO-TD-8561)

Datos y Cálculos de los tableros tipo A															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1A	3,8	6,9	6,8	6,5	1200	10	1200	20	6,73	35,5902	0,0083	0,0167	0,008	0,00019	0,081
2A	3,8	6,9	6,8	6,6	1200	9	1200	17	6,77	35,9434	0,0075	0,0142	0,007	0,00015	0,064
3A	4	6,8	6,7	6,5	1200	8	1200	19	6,67	34,8889	0,0067	0,0158	0,009	0,00023	0,095
4A	3,9	6,9	6,7	6,5	1200	8	1200	18	6,70	35,2387	0,0067	0,015	0,008	0,00020	0,083
5A	3,8	6,8	6,7	6,5	1200	9	1200	18	6,67	34,8889	0,0075	0,015	0,008	0,00018	0,074
6A	3,8	6,8	6,7	6,5	1200	10	1200	18	6,67	34,8889	0,0083	0,015	0,007	0,00016	0,066
7A	3,3	6,8	6,7	6,5	1200	10	1200	21	6,67	34,8889	0,0083	0,0175	0,009	0,00019	0,078

Datos y Cálculos de los tableros tipo B															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1B	3,7	6,8	6,6	6,5	1200	9	1200	19	6,63	34,5409	0,0075	0,0158	0,008	0,00019	0,0807
2B	3,8	6,9	6,8	6,6	1200	10	1200	18	6,77	35,9434	0,0083	0,015	0,007	0,00015	0,0638
3B	4,1	6,9	6,7	6,5	1200	9	1200	18	6,70	35,2387	0,0075	0,015	0,008	0,00019	0,0790
4B	3,9	6,9	6,8	6,5	1200	9	1200	20	6,73	35,5902	0,0075	0,0167	0,009	0,00022	0,0909
5B	3,9	6,8	6,7	6,5	1200	9	1200	17	6,67	34,8889	0,0075	0,0142	0,007	0,00016	0,0675

Datos y Cálculos de los tableros tipo C															
Código	h(cm)	d1(cm)	d2(cm)	d3(cm)	ta(seg)	mwa (cm)	t(seg)	mw(g)	davg (cm)	A(cm ²)	Ra	R	Ro	K(cal*cm/cm ² *seg)	W(m*K)
1C	4,2	6,8	6,7	6,5	1200	10	1200	18	6,67	34,8889	0,0083	0,015	0,007	0,00017	0,073

Registro de la temperatura para la primera prueba (PASCO-TD-8561)

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1A	3	13	-3,1	19,7	3	17	-3,1	99	369,05	20,1
2A	3	13	-3,1	19,8	3	18	-3,1	96	366,05	20,2
3A	3	13	.3,2	20	3	18	.3,2	99	372,15	20,5
4A	3	13	.3,3	20,5	3	18	.3,3	100	373,15	20,5
5A	3	12	-3,1	20,5	3	18	-3,1	99	369,05	20,5
6A	3	12	-3,3	18,9	3	21	-3,3	99,5	369,35	18,6
7A	3	10	-3,2	17	3	12	-3,2	98,2	368,15	18

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1B	3	13	-3,4	22,1	3	22	-3,4	99	368,75	20,6
2B	3	13	-3,2	21,3	3	22	-3,2	96	365,95	20,7
3B	3	13	-3,2	20,9	3	21	-3,2	99	368,95	20,8
4B	3	11	-3,3	17,1	3	19	-3,3	100	369,85	17,6
5B	3	11	-3,3	17,2	3	18	-3,3	99	368,85	17,8

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1C	3	13	-3,1	19,7	3	17	-3,1	99	369,05	17,9

Registro de la temperatura para la segunda prueba (PASCO-TD-8561)

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1A	3	11	-3	17,5	3	17	-3	99	369,15	17,5
2A	3	11	-3,1	17,5	3	21	-3,1	100	370,05	17,7
3A	3	11	-3,1	17,5	3	16	-3,1	99,5	369,55	17,7
4A	3	11	-3,1	17,7	3	19	-3,1	100	370,05	17,9
5A	2	12	-3	20	3	23	-3	99,8	369,95	19,4
6A	3	13	-3,1	19,6	3	19	-3,1	100	370,05	19,5
7A	3	14	-3,1	19,5	3	24	-3,1	100	370,05	19,6

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1B	3	8	-3,4	17,1	3	23	-3,4	99,8	369,55	17,3
2B	3	6	-3,4	17,2	3	19	-3,4	98,6	368,35	17,5
3B	3	13	-3,1	17,6	3	20	-3,1	96,7	366,75	17,7
4B	2	11	-3,4	18,1	3	20	-3,4	97,6	367,35	19
5B	3	15	-3,3	19,3	3	24	-3,3	100	369,85	19,4

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1C	3	13	-3	19,3	3	22	-3	100	370,15	19,5

Registro de la temperatura para la tercera prueba (PASCO-TD-8561)

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1A	3	13	-2,9	19,2	3	21	-2,9	100	370,25	19
2A	3	12	-2	19	3	17	-2	100	371,15	19,1
3A	3	12	-3,2	19,4	3	20	-3,2	99,8	369,75	19,4
4A	3	13	-3,2	19,3	3	21	-3,2	99,3	369,25	19,4
5A	3	13	-3	19,4	3	23	-3	100	370,15	19,4
6A	2	14	-3,1	19,4	3	18	-3,1	100	370,05	19,4
7A	3	11	-3,3	19,2	3	21	-3,3	100	369,85	19,4

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1B	2	13	-3,3	19,5	3	21	-3,3	100	369,85	19
2B	3	12	-3,2	19,6	3	20	-3,2	100	369,95	19,1
3B	3	11	-3,3	19,8	3	21	-3,3	100	369,85	19,4
4B	3	12	-3,2	18,9	3	21	-3,2	99,6	369,55	19,2
5B	3	12	-3,1	18,9	3	22	-3,1	100	370,05	18,9

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1C	3	12	-3,2	18,8	3	20	-3,2	100	369,95	19,1


Registro de la temperatura para la cuarta prueba (PASCO-TD-8561)

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1A	3	13	-3,3	18,8	3	23	-3,3	100	369,85	19,1
2A	2	11	-3,1	18,7	3	20	-3,1	100	370,05	19,1
3A	3	11	-3,1	18,7	3	22	-3,1	100	370,05	19,1
4A	3	11	-3	18,9	3	21	-3	100	370,15	19,3
5A	3	12	-3,3	19,3	3	21	-3,3	100	369,85	19,4
6A	3	13	-3,2	19,5	3	21	-3,2	100	369,95	19,7
7A	3	13	-3	19,7	3	24	-3	100	370,15	19,2


Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1B	3	12	-3,1	19,2	3	22	-3,1	100	370,05	19,4
2B	2	12	-3,4	18,8	3	21	-3,4	100	369,75	18,7
3B	3	12	-3,3	18,9	3	21	-3,3	100	369,85	18,6
4B	3	12	-3,2	18,6	3	23	-3,2	100	369,95	18,7
5B	3	12	-3,3	18,8	3	20	-3,3	99,5	369,35	19,1
							20			

Hielo derretido por la temperatura ambiente					Hielo derretido por la caja térmica					
Código	Peso vaso	Peso v y agua	T1 hielo	Tambiente	Peso vaso	Peso v y agua	T hielo	Tcaja térmica	°K	Tambiente
1C	3	13	-3,3	19,4	3	21	-3,3	100	369,85	19,4

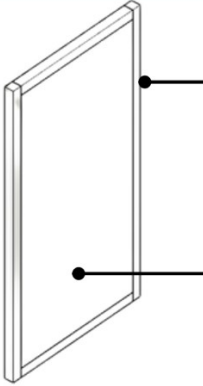
Módulos de totora y cabuya para uso en paredes y cielo raso




Tablero tipo A



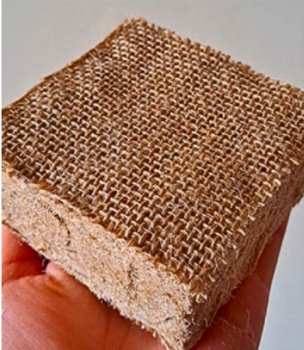
Dimensiones
60 cm
120 cm



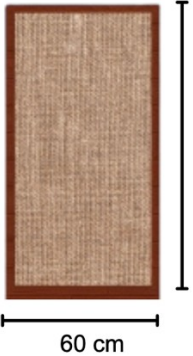
Materiales
Tiras de eucalipto
4cm x120cm x 4cm
Tableros tipo A
52cm x 112cm x 4cm



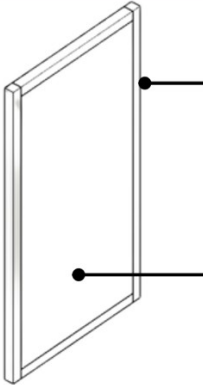
Tablero con Gypsum




Tablero tipo B y C



Dimensiones
60 cm
120 cm

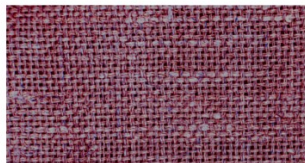


Materiales
Tiras de eucalipto
4cm x120cm x 4cm
Tableros tipo B y C
52cm x 112cm x 4cm



Tablero con Gypsum

Tinturado de la tela de cabuya



Aplicación de módulos de totora y cabuya en paredes y cielo raso



Tablero tipo A



Tablero tipo B y C

Aplicación de módulos de totora y cabuya en paredes y cielo raso



Tablero tipo B y C
con tinturado de tela de cabuya



Tablero tipo B y C
con tinturado de tela de cabuya

Aparato de medición de conductividad térmica basado en el aparato PASCO TD-8561

