



Figura 1: Collage representativo del proyecto, elaboración propia

Del residuo al recurso
Bloques termoaislantes en Fibra de coco

Sebastian Carvajal Sanchez

Proyecto de Grado

Universidad Piloto de Colombia

Facultad de Arquitectura y Artes

Programa de Arquitectura

Bogotá, D.C., Colombia

2026

**Del residuo al recurso
Bloques termoaislantes en Fibra de coco**

Sebastian Carvajal Sanchez

Director: Julian Ricardo Ruiz Solano

Co-Director: Andrés Valverde Farré

Proyecto de Grado

Universidad Piloto de Colombia

Facultad de Arquitectura y Artes

Programa de Arquitectura

Bogotá, D.C., Colombia

2026

Agradecimientos

Como autor del presente trabajo expreso mis más sinceros agradecimientos a:

La Universidad Piloto de Colombia y a los docentes de la facultad de arquitectura y artes por haberme brindado los conocimientos y la oportunidad de culminar esta carrera.

Julian Ricardo Ruiz Solano, director de este proyecto, por su dirección, paciencia y apoyo a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Andrés Valverde Farré, Co-director de este proyecto, por su tutoría y acompañamiento desde el semillero de Innovación en Materiales Sostenibles de la Universidad Piloto de Colombia, por haberme dado la oportunidad de integrarme al semillero y apoyarme en el desarrollo e investigación de este proyecto.

A mis padres y familiares por todo su apoyo incondicional, motivación y por creer en mí y en mis capacidades para lograr cumplir este sueño.

Muchas gracias.

Dedicatoria

A mi madre Jenny Sanchez, mi padre Joaquin Carvajal, mi tío William Sanchez y mis abuelos Edith y Luis por todo su apoyo y cariño a lo largo de mi carrera y a todos mis compañeros de clase por haber sido parte de este proceso.

Índice de contenido

Resumen.....	
Abstract.....	
1. Introducción.....	1-2
2. Problemática.....	3-4
3. Justificación.....	4
4. Objetivo General.....	4
5. Objetivos Específicos.....	4-5
6. Marco Teórico.....	5-7
6.1 De residuo a recurso: la economía circular aplicada.....	5
6.2 Aislamiento en viviendas colombianas.....	5
6.3 La fibra de coco como alternativa natural.....	6
6.4 Análisis de Materialidad.....	6
6.5 ¿Qué es la fibra de coco?.....	6
6.6 Uso de fibras naturales.....	7
6.7 Materiales Compuestos (Biocompuestos)	7
6.8 Innovación en Materiales	7
6.9 Validación.....	7-8
7. Metodología.....	8-9
7.1 Modelo Metodológico.....	8
7.2 Variables de Investigación.....	8-9
7.3 Población y Muestra de Investigación.....	9
7.4 Instrumentos de Recolección de Datos.....	9
7.5 Procedimiento de Investigación.....	9-10
8. Introducción capítulo proyectual.....	10-12
9. Capítulo Proyectual.....	12-21
9.1 Proyecto y Obra Arquitectónica.....	13-14
9.2 Ambiente y Sostenibilidad.....	13-16
9.3 Prácticas sociales y Territorio.....	16-17
9.4 Paisaje y Cultura.....	17-19
9.5 Materiales y Procesos.....	19-21
10. Conclusiones.....	21-22
11. Referencias.....	23-24
12. Anexos.....	25-26

Índice de imágenes

1.	Figura 1: Collage representativo del proyecto.....	
2.	Figura 2: probeta de bloque elaborado a partir de fibra de coco.....	2
3.	Figura 3: Compuesto de cemento y fibras de coco, referente de uso de fibras naturales en elementos constructivos.....	7
4.	Figura 4: Prueba de conductividad térmica, comparativa entre lana de coco (izquierda) y EPS (derecha), mediciones tomadas gracias a un termómetro láser.....	9
5.	Figura 5: Corte por Fachada donde se emplea los bloques de lana de coco en cubierta junto con su respectiva estructura. Elaboración propia, edición con IA.....	13
6.	Figura 6: Ampliación sección de cubierta con instalación de bloques de fibra coco. Elaboración propia, edición con IA.....	14
7.	Figura 7: Fibra de coco recuperada, Elaboración propia.....	16
8.	Figura 8: Cáscara de coco desechada por agricultores locales. Por: https://www.ecolfibras.com/index.html	18
9.	Figura 9: Palma de coco formando parte del paisaje urbano y natural de Colombia. Por: https://bosquesdecolombia.com	18
10.	Figura 10: Lana de coco seca adquirida y empleada para el proceso de elaboración de probetas.....	19
11.	Figura 11: Equipamiento para elaboración de probetas facilitado por el laboratorio de la institución.....	19
12.	Figura 12: Elaboración del aglutinante biodegradable biodegradable.....	19
13.	Figura 13: Aglutinante biodegradable (matriz) empleado para la elaboración del material.....	19
14.	Figura 14: Lana de coco (refuerzo) mezclado con el aglutinante (matriz).....	19
15.	Figura 15: Ensayo comparativo de conductividad térmica Lana de coco y EPS.....	19
16.	Figura 16: Ensayo de prueba ignífuga realizado en una probeta de lana de coco en la Universidad Piloto de Colombia.....	20
17.	Figura 17: Estado de la probeta después de la prueba ignífuga.....	20

Índice de tablas

1. **Tabla 1, 2:** Tiempo de degradación y huella de carbono comparada entre EPS y Lana de coco. Elaboración propia.....**4**
2. **Tabla 3:** Comparativa de conductividad térmica entre materiales, evidenciando los resultados de la fibra de coco (lana de coco) como una alternativa competitiva ante los materiales dominantes del mercado. Elaboración propia.....**6**
3. **Tabla 4:** Comparativa entre lana de coco y EPS en aumento de temperatura frente a una fuente de calor constante en un lapso de 1 hora. Elaboración propia.....**11**

Resumen

A nivel global durante el paso de los años y el aumento de la urbanización la necesidad y demanda por confort térmico interior crece día a día. En Colombia, esta problemática es mayor, forzando a la población a buscar en el mercado una solución llevando al uso extensivo de materiales sintéticos como el poliestireno expandido (EPS), cuya producción genera una huella de carbono de 5.8 kg CO₂ eq/kg y cuya disposición final puede tardar hasta 500 años en degradarse (Kim et al., 2023; Ward et al., 2019). Simultáneamente, la industria agrícola nacional genera anualmente 38,890 toneladas de residuo de fibra de coco que, ante la limitada salida de procesos de valorización adecuados, son incineradas o acumuladas de forma incontrolada, emitiendo gases de efecto invernadero y sub utilizando un recurso con alto potencial biotecnológico (Vásquez et al., 2025).

Como respuesta entre demanda de materiales termoaislantes de calidad y excedentes agroindustriales, la presente investigación desarrolla un bloque termoaislante a partir de lana de coco bajo un modelo de economía circular. Este proyecto surge desde el Semillero de Innovación en Materiales Sostenibles de la Universidad Piloto de Colombia, adoptando la metodología de investigación aplicada y los protocolos de caracterización desarrollados en el Proyecto GUALAM (Valverde Farré & Penagos, 2022). El material resultante se define como un material biocompuesto que aprovecha la estructura micro-alveolada de la fibra para

alcanzar una conductividad térmica de entre 0.045 y 0.050 W/mK, desempeño que es técnicamente comparable al de los aislantes sintéticos convencionales, pero con una huella de carbono negativa de -0.27 kg CO₂eq/kg (Panyakaew & Fotios, 2011; García et al., 2025). además de poseer cualidades innatas a diferencia de las soluciones derivadas del petróleo, siendo una de estas la inercia térmica

El alcance esperado de este proyecto se centra en la mejora de la habitabilidad y el confort térmico de la vivienda de interés social (VIS), tanto en obra nueva como en procesos de rehabilitación técnica de viviendas ya existentes. Mediante el diseño modular de láminas termo prensadas, se busca reducir la dependencia de materiales derivados del petróleo en el efecto de isla de calor en contextos urbanos vulnerables. En última instancia, esta innovación pretende validar una solución constructiva que invite a la innovación para alternativas biodegradables y sostenibles tratando problemáticas ambientales relacionadas con desechos agroindustriales, su revalorización y uso en contextos arquitectónicos compitiendo con materiales sintéticos contaminantes.

Palabras Clave: Lana de coco, Aislamiento térmico, Construcción sostenible, Poliestireno Expandido (EPS), Materiales compuestos

Abstract

Globally, as the years have passed and urbanization has increased, the need for and demand for indoor thermal comfort has grown day by day. In Colombia, this problem is even more acute, forcing the population to seek a solution in the market and leading to the extensive use of synthetic materials such as expanded polystyrene (EPS), whose production generates a carbon footprint of 5.8 kg CO₂ eq/kg and whose final disposal can take up to 500 years to degrade (Kim et al., 2023; Ward et al., 2019). Simultaneously, the national agricultural industry generates 38,890 tons of coconut fiber waste annually. Given the limited availability of appropriate recovery processes, this waste is either incinerated or accumulated in an uncontrolled manner, emitting greenhouse gases and underutilizing a resource with high biotechnological potential (Vásquez et al., 2025).

In response to the demand for high-quality thermal insulation materials and the availability of agro-industrial surpluses, this research develops a thermal insulation block made from coconut fiber under a circular economy model. This project originates from the Innovation Incubator for Sustainable Materials at the Universidad Piloto de Colombia, adopting the applied research methodology and characterization protocols developed in the GUALAM Project (Valverde Farré & Penagos, 2022). The resulting material is defined as a biocomposite that leverages the micro-cellular structure of the fiber to achieve a thermal conductivity of between 0.045 and

0.050 W/mK, a performance that is technically comparable to that of conventional synthetic insulation, but with a negative carbon footprint of -0.27 kg CO₂eq/kg (Panyakaew & Fotios, 2011; García et al., 2025). In addition to possessing inherent qualities unlike petroleum-based solutions, one of which is thermal inertia

The expected scope of this project focuses on improving the habitability and thermal comfort of social housing (VIS), both in new construction and in the technical rehabilitation of existing homes. Through the modular design of thermo-pressed sheets, the aim is to reduce dependence on petroleum-derived materials and mitigate the heat island effect in vulnerable urban contexts. Ultimately, this innovation aims to validate a construction solution that encourages innovation toward biodegradable and sustainable alternatives, addressing environmental issues related to agro-industrial waste, its revaluation, and use in architectural contexts, competing with polluting synthetic materials.

Keywords: Coconut fiber, Thermal insulation, Sustainable construction, Expanded polystyrene (EPS), Composite materials

1. Introducción

En el sector de la edificación hay una considerable demanda sobre la necesidad de aislamiento térmico de calidad. En Colombia, predomina el uso de poliestireno expandido (EPS) para el aislamiento térmico, un material derivado del petróleo con una huella de carbono de 5.8 kg CO₂ eq/kg y un tiempo de degradación superior a los 500 años (Kim et al., 2023; Ward et al., 2019). Esta dependencia tecnológica ignora la crisis de los residuos agroindustriales locales, donde anualmente se generan 38,890 toneladas de fibra de coco que terminan incineradas o en vertederos, emitiendo gas metano y contaminando fuentes hídricas (Vásquez et al., 2025).

La justificación de este proyecto radica en la necesidad de transitar de un modelo de producción lineal a uno de **economía circular**, transformando un pasivo ambiental en un insumo tecnológico de alto valor. Dado que el 80% de las viviendas de autoconstrucción en Bogotá presentan deficiencias en su confort térmico, el desarrollo de un aislante de base orgánica ofrece una solución de bajo costo y alta eficiencia. Al revalorizar la lana de coco, no solo se mitiga el impacto ambiental de los residuos, sino que se propone un material con huella de carbono negativa (-0.27 kg CO₂ eq/kg), alineado con los objetivos de desarrollo sostenible y la descarbonización del sector constructor (García et al., 2025).

El objetivo general de esta investigación es desarrollar y

validar un bloque termoaislante elaborado a partir de lana de coco como alternativa sostenible al EPS en cubiertas (ver *figura 2*). Para alcanzarlo, se plantean objetivos específicos que incluyen la caracterización técnica de la fibra residual y la evaluación del desempeño térmico del prototipo en laboratorio. Finalmente, se busca proyectar la aplicabilidad del bloque tanto en obra nueva como en procesos de rehabilitación de edificaciones existentes, asegurando el cumplimiento de los estándares de habitabilidad nacionales.

El fundamento teórico de este proyecto se basa en la ciencia de los materiales biocompuestos y la termodinámica aplicada a la envolvente arquitectónica. Se reconoce la estructura alveolar de la lana de coco como un sistema natural de celdas de aire que limita la transferencia de calor por conducción (Panyakaew & Fotios, 2011). Este marco se nutre de la transferencia de conocimiento del Proyecto GUALAM, el cual establece protocolos de unión y prensado para fibras naturales en el contexto universitario (Valverde Farré & Penagos, 2022). Así, la investigación se posiciona en el estudio de la conductividad térmica y la resistencia térmica como indicadores clave de la eficiencia del nuevo material.

La metodología adoptada es de carácter cuantitativo-experimental y se desarrolla en cuatro fases secuenciales. La primera fase comprende el acopio y limpieza de la materia prima; la segunda se enfoca en el diseño y fabricación de prototipos mediante moldes de madera, la tercera fase consiste en la validación técnica

mediante ensayos de conductividad térmica y resistencia mecánica; y la cuarta fase culmina en un análisis comparativo frente al EPS comercial. Este enfoque permite alcanzar un nivel de madurez tecnológica TRL 4, garantizando que el producto sea resultado de un proceso de investigación aplicada riguroso.

En el componente proyectual, el bloque se define por su modularidad y facilidad de integración en sistemas de cubierta. Las dimensiones propuestas responden a criterios de ergonomía en obra y compatibilidad con las estructuras de soporte convencionales en la vivienda social. El diseño del bloque permite su uso como una capa intermedia de aislamiento que reduce la ganancia térmica por radiación solar, optimizando la inercia térmica de la edificación sin añadir cargas estructurales excesivas, gracias a su baja densidad de entre 150 y 250 kg/m³.

Las conclusiones preliminares sugieren que la lana de coco posee un desempeño térmico comparable al de los aislantes sintéticos, con una conductividad térmica situada entre 0.045 y 0.050 W/mK. El éxito de este proyecto representaría un avance significativo en la soberanía tecnológica de la construcción en Colombia, demostrando que es posible sustituir derivados del petróleo por recursos renovables de origen local. Se espera que esta innovación fomente la creación de nuevas cadenas de valor para el sector agrícola y los subproductos generados por este que puedan poseer cualidades técnicas viables y competitivas frente a soluciones

Los bloques propuestos están diseñados para aplicación en cubiertas y envolventes arquitectónicas, específicamente como sustituto de materiales aislantes derivados del petróleo en proyectos de obra nueva y como solución de rehabilitación para construcciones existentes que carecen de aislamiento térmico adecuado o que emplean materiales no sostenibles. El ámbito de aplicación se enfoca principalmente en clima frío de Bogotá y la Sabana (2600 msnm, temperatura promedio 14°C), donde las necesidades de aislamiento térmico son más críticas, con validación secundaria en climas cálidos como Villeta, Meta y la zona Caribe. Esta diversidad climática permite evaluar el comportamiento del material tanto en condiciones de pérdida de calor (clima frío) como en escenarios de ganancia térmica y alta humedad relativa (clima cálido), conforme a la metodología aplicada por Brose et al. (2019) en proyectos de vivienda social en condiciones climáticas similares a las propuestas.



Figura 2: Probeta de bloque elaborada a partir de fibra de coco. Elaboración propia 2025

2. Problemática

El poliestireno expandido (EPS) representa el material aislante térmico más utilizado en la industria de la construcción colombiana debido a su bajo costo, ligereza y facilidad de instalación. Sin embargo, este material derivado del petróleo presenta serios impactos ambientales que contradicen los principios de construcción sostenible contemporánea. El EPS es altamente contaminante y no se degrada naturalmente, permaneciendo en el ambiente durante más de 500 años según estudios de persistencia ambiental. Su proceso de producción genera una huella de carbono de 5.8 kg CO₂ equivalente por kilogramo de material producido, contribuyendo significativamente al cambio climático (García et al., 2025). Adicionalmente, el EPS se fragmenta en microplásticos que contaminan ecosistemas acuáticos y terrestres, afectando la cadena alimentaria y la salud humana.

Desde la perspectiva de seguridad en edificaciones, el EPS presenta comportamiento inflamable clasificado como Clase C según normas internacionales, produciendo llamas de rápida propagación y emisión de gases tóxicos (estireno, monóxido de carbono) durante combustión, lo que representa riesgo crítico en incendios estructurales. En Colombia, la baja tasa de reciclaje del EPS (inferior al 15% según datos del sector) agrava la problemática, dado que la mayoría del material descartado termina en rellenos sanitarios o, en el peor escenario, en cuerpos de agua y zonas naturales

protegidas. La falta de alternativas comerciales viables y económicamente competitivas perpetúa la dependencia de este material no sostenible, especialmente en proyectos de vivienda social donde el costo es factor determinante en la selección de materiales.

Paralelamente, Colombia enfrenta una problemática de gestión de residuos agroindustriales. Las 38.000 toneladas anuales de fibra de coco generadas como subproducto de la industria alimentaria (aceite de coco, agua de coco, copra) carecen de cadenas de valor establecidas, resultando en disposición inadecuada mediante quema a cielo abierto o acumulación en zonas rurales. Esta práctica genera emisiones adicionales de CO₂ y metano, desperdiciando un recurso con alto potencial de valorización industrial. La desarticulación entre sector agroindustrial y construcción impide el aprovechamiento de sinergias que podrían transformar este residuo en recurso constructivo de valor agregado, generando además empleo rural y fortaleciendo economías locales en zonas productoras como la costa Caribe colombiana.

En el contexto específico de Bogotá, aproximadamente el 80% de las viviendas carecen de aislamiento térmico adecuado en cubiertas, lo que resulta en altos consumos energéticos para calefacción (en estratos altos con acceso a sistemas de climatización) o condiciones de discomfort térmico permanente (en vivienda social y construcción informal). La rehabilitación de estas edificaciones existente

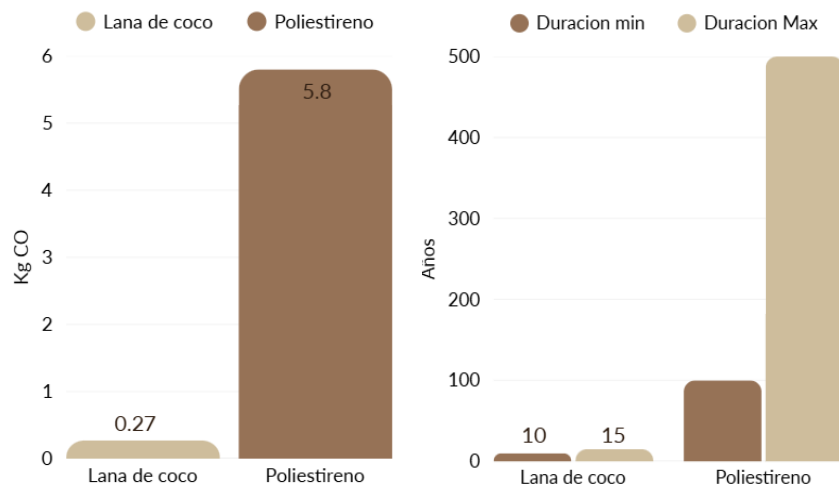


Tabla 1, 2: Tiempo de degradación y huella de carbono comparada entre EPS y Lana de coco. Elaboración propia 2026

3. Justificación

La necesidad de desarrollar y validar bloques de fibra de coco como alternativa al EPS se fundamenta en tres pilares: imperativo ambiental, viabilidad técnica y oportunidad socioeconómica. Desde la perspectiva ambiental, el material propuesto ofrece ventajas cuantificables en comparación con aislantes convencionales (ver tabla 1,2). La fibra de coco presenta características de carbono negativo.

La biodegradabilidad completa del material representa otra ventaja crítica. A diferencia del EPS que persiste 500+ años, los bloques de fibra de coco retornan al ciclo natural en 10-15 años bajo condiciones de compostaje controlado, sin generar

microplásticos ni lixiviados tóxicos. Esta característica facilita la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), sector que en Colombia genera aproximadamente 20 millones de toneladas anuales según el Ministerio de Ambiente.

4. Objetivo general

Con base a esto se busca desarrollar, validar y aplicar bloques aislantes de fibra de coco como alternativa sostenible al poliestireno expandido (EPS), mediante caracterización físico-mecánica y térmica que demuestre propiedades técnicas competitivas, garantizando sostenibilidad ambiental y biodegradabilidad como criterios fundamentales de diseño del material. El proyecto busca generar prototipo funcional con sistema modular de instalación, detalles técnicos constructivos y evaluación de ciclo de vida que valide viabilidad ambiental, técnica y económica para aplicación en cubiertas y envoltentes arquitectónicas en contexto colombiano, contribuyendo a reducción de huella de carbono en edificaciones y transformación de residuo agroindustrial en recurso constructivo de alto valor agregado.

5. Objetivos específicos

Objetivo Específico 1: Caracterizar propiedades físico-mecánicas y térmicas de la fibra de coco y bloques desarrollados. Mediante ensayos de laboratorio estandarizados según normas ASTM, se determinarán:

conductividad térmica (método comparativo con validación referencial), inercia térmica y resistencia térmica; densidad aparente, resistencia a compresión, reacción al fuego, emisión de humo, tiempo y temperatura de ignición.

Objetivo Específico 2: Comparar desempeño técnico y capacidad de aislamiento térmico de bloques de fibra de coco frente al EPS convencional. Se establecerá análisis comparativo cuantitativo de propiedades térmicas, mecánicas, ignífugas y durabilidad entre ambos materiales.

Objetivo Específico 3: Evaluar impacto ambiental y ciclo de vida de bloques de fibra de coco frente a materiales aislantes convencionales. Se calculará huella de carbono mediante metodología simplificada de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Objetivo Específico 4: Prototipar sistemas constructivos para aplicación de bloques de fibra de coco en envolventes arquitectónicas. Se desarrollarán detalles técnicos de instalación para cubiertas inclinadas y planas, especificando sistemas de fijación mecánica, protección mediante membranas impermeables.

6. Marco teórico

6.1 De residuo a recurso: la economía circular aplicada

El proyecto parte de una idea sencilla: lo que hoy se considera basura puede convertirse en material de construcción útil. En Colombia se generan 38.000 toneladas de fibra de coco al año como desecho de la industria alimentaria, la mayoría se quema o se acumula contaminando el aire y el suelo (Ali, 2010). La economía circular propone romper este ciclo de desperdicio, transformando estos residuos en productos con valor agregado. En lugar de extraer nuevos recursos, se reutiliza materia ya existente, reduciendo emisiones y generando empleo en zonas rurales productoras (García et al., 2025).

6.2 Aislamiento en viviendas colombianas

En Bogotá, 8 de cada 10 viviendas no tienen aislamiento térmico adecuado. Obligando a los habitantes a usar diferentes medios, usualmente con gastos adicionales de energía para calentarse o simplemente soportar el frío. El material más usado para solucionar esto es el poliestireno expandido (EPS), un derivado del petróleo altamente contaminante durante su fabricación y permanece en el ambiente siglos después de desecharse. Aunque funciona adecuadamente, su impacto ambiental es insostenible (Brose et al., 2019; Upadhyay et al., 2015).

6.3 La fibra de coco como alternativa natural

La fibra de coco tiene propiedades que la hacen ideal para reemplazar el EPS: es natural, renovable y captura dióxido de carbono mientras el cocotero crece. Su estructura esponjosa retiene el aire y reduce el paso del calor, funcionando como aislante térmico. A diferencia del plástico, se degrada en 10-15 años sin dejar microplásticos tóxicos, volviendo a la tierra como abono (Panyakaew & Fotios, 2011). Estudios recientes demuestran que combinada con aglutinantes naturales puede alcanzar resistencia y capacidad de aislamiento comparables a materiales sintéticos (Akhter & Mondal, 2025).

6.4 Análisis de Materialidad

Históricamente en el mercado de aislantes han dominado los materiales sintéticos como el poliestireno expandido (EPS) o la fibra de vidrio, soluciones de producción intensiva y características aislantes sobresalientes en cubiertas e incluso muros por su baja densidad y buena conductividad térmica (ver *tabla 3*), sin embargo su producción genera elevadas huellas de carbono, poseen una baja disposición final, altamente contaminantes en incluso suponen un peligro durante su manipulación junto a su extenso ciclo de vida. El bloque de fibra de coco propuesto en comparación posee un aislamiento térmico comparable con estos materiales sintéticos además de ser totalmente biodegradable con una huella de carbono negativa.

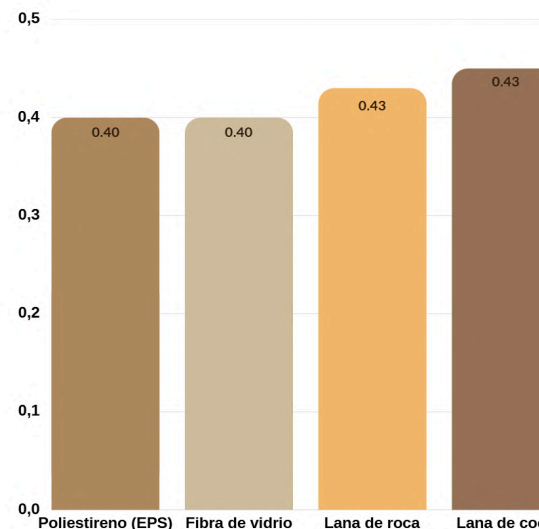


Tabla 3: Comparativa de conductividad térmica entre materiales, evidenciando los resultados de la fibra de coco (lana de coco) como una alternativa competitiva ante los materiales dominantes del mercado. *Elaboración propia*

6.5 ¿Qué es la fibra de coco?

La fibra de coco también conocida como lana de coco (Ver figura 6) es un subproducto agroindustrial extraído del mesocarpio del fruto del cocotero (*Cocos nucifera*), obteniendo un material con alta resistencia mecánica y durabilidad en comparación con otras fibras y residuos naturales por su composición química de lignina y celulosa. No posee salidas comerciales establecidas más allá de jardinería y decoración, haciéndolo un material subutilizado de alta producción y bajo costo.

6.6 Uso de fibras naturales

Hay registro de la validación y aplicación efectiva de fibras naturales en la ciencia e innovación de materiales y su viabilidad frente a materiales sintéticos.

GUALAM: caso institucional donde se prioriza el uso de fibras de guadua para paneles de alta resistencia y aislamiento térmico, estableciendo los protocolos y metodología de caracterización físico mecánica empleados en este proyecto (Valverde, A., & Penagos, N. 2023)

Fibras de Cáñamo y Yute en la Construcción: recientes investigaciones han comprobado el desempeño y viabilidad de materiales compuestos a partir de fibras de cáñamo y yute proporcionan una conductividad térmica competitiva con materiales sintéticos además de demostrar ser reguladores de humedad en interior y mejorar la calidad de aire en espacios cerrados (Muthu, 2020; D'Alessandro et al., 2022).

6.7 Materiales Compuestos (Biocompuestos)

El material propuesto se define como un material compuesto o Biocompuesto a base de fibras naturales formado por dos componentes: matriz (aglutinante biodegradable) y refuerzo (materia prima) en esta composición la matriz permite la consolidación de la materia prima como un elemento maleable y homogéneo listo para su moldeo y manipulación manual. . La clave de este material reside en su

porosidad (estructura alveolar natural), que confiere excelentes propiedades de aislamiento térmico y desempeño termodinámico, la ingeniería de biocompuestos hoy en día busca mediante materiales naturales brindar alternativas y mejoras en diversos campos e incluso interdisciplinarios a las necesidades y problemáticas experimentadas por la sociedad (Suddell et al., 2022).

6.8 Innovación en Materiales

La transición a materiales 100% biodegradables con huellas de carbono bajas o negativas y reducido costo energético son la respuesta a la crisis de residuos sólidos altamente contaminantes que dominan los mercados. Este proyecto se centra en el uso y revalorización de un subproducto agroindustrial con una limitada salida comercial pese a su elevada tasa de producción especialmente en la costa dando una alternativa diferente a productos decorativos y jardinería garantizando que el material pueda reintegrarse al suelo como biomasa pasada su vida útil y contribuyendo a la transición de edificaciones y materiales con huellas de carbono negativas y libres de microplásticos y soluciones sintéticas derivadas del petróleo (Kurniawan et al., 2024).

6.9 Validación

Para que un nuevo material de construcción sea aceptado, debe demostrarse que cumple estándares técnicos mediante ensayos de laboratorio. Estos incluyen medir cuánto calor

atraviesa el material, cuánto peso soporta sin deformarse y cuánta agua puede absorber. Las normas ASTM son protocolos internacionales que garantizan que los resultados sean confiables y comparables. Este proyecto se encuentra en la fase de validación en laboratorio (nivel TRL 4), donde se prueban y comparan sus cualidades ante otros materiales como el propio EPS (Brose et al., 2019).

7. Metodología

7.1 Modelo Metodológico: Investigación Aplicada Experimental-Comparativa.

Este proyecto adopta un enfoque de investigación aplicada con metodología experimental, dado que busca desarrollar y validar un producto constructivo innovador mediante ensayos de laboratorio estandarizados. Se escoge este modelo porque permite caracterizar técnicamente el material (propiedades físico-mecánicas y térmicas), comparar su desempeño con el EPS convencional y validar su viabilidad como alternativa sostenible. El método experimental se complementa con análisis comparativo cuantitativo frente a materiales de referencia (Brose et al., 2019), evaluación de impacto ambiental mediante ACV (García et al., 2025) y prototipado constructivo para verificación de aplicabilidad arquitectónica (Ali, 2010). La investigación se encuentra en nivel TRL 4 (Technology Readiness Level).



Figura 3: Compuesto de cemento y fibras de coco, referente de uso de fibras naturales en elementos constructivos. Tomado el 06/04/2026 de *Evaluation of mechanical and thermal performance of jute and coconut fiber-reinforced epoxy composites with rice husk ash for wall insulation applications*, por M. A. Akhter y D. Mondal, 2025, *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 19(1), pp. 118–127 2025.

7.2 Variables de Investigación

La investigación define variables independientes relacionadas con composición del material, proceso de manufactura (presión de prensado, tiempo de curado) y geometría del bloque (15×22.5×2 cm). Variables dependientes medibles incluyen propiedades térmicas (conductividad térmica, inercia térmica, resistencia térmica),

propiedades físico-mecánicas (densidad aparente resistencia a compresión) y propiedades ignífugas (reacción al fuego, emisión de humo, temperatura de ignición). Se evalúa impacto ambiental mediante huella de carbono, energía embebida y durabilidad proyectada (10-15 años en

condiciones protegidas). Variables de comparación con EPS convencional. Variables de contexto consideran clima de aplicación (Bogotá y zonas cálidas) y tipología constructiva (obra nueva y rehabilitación, siguiendo metodología de Upadhyay et al., 2015) con o sin propiedades aislantes óptimas.

7.3 Población y Muestra de Investigación

La población de aplicación comprende edificaciones en Colombia que requieren aislamiento térmico, específicamente vivienda social en clima frío (Bogotá, Villeta, y el Meta sin aislamiento adecuado) y construcciones a rehabilitar con materiales contaminantes. Aprovecha 38,000 ton/año de residuo de fibra de coco disponible nacionalmente, contribuyendo a economía circular (Ali, 2010). La muestra experimental utiliza muestreo no probabilístico intencional con 20 probetas de bloques de fibra de coco (15×22.5×2 cm) distribuidas en ensayos: conductividad térmica, ignífuga, compresión (n=5, según ASTM C165 aplicado por Akhter & Mondal, 2025), densidad y absorción de agua. Se incluyen 6 probetas de EPS como material de referencia comparativa. Criterios de selección: proceso estandarizado, humedad controlada $\leq 12\%$, inspección sin defectos, peso registrado individualmente.

7.4 Instrumentos de Recolección de Datos

Ensayo de conductividad térmica mediante método comparativo simplificado: bombillos infrarrojos 250W, termómetro láser digital, registro temporal cada 10 min (ver

figura 4). Prueba ignífuga cualitativa con mechero a gas, cronómetro y registro visual. Resistencia a compresión según ASTM C165 en máquina universal de ensayos. Densidad aparente con balanza analítica (± 0.01 g), pie de rey digital (± 0.01 mm), horno de secado. Absorción de agua por inmersión 24h según ASTM C272. Instrumentos complementarios: cámara video, planillas Excel para registro.



Figura 4: Prueba de conductividad térmica, comparativa entre lana de coco (izquierda) y EPS (derecha), mediciones tomadas gracias a un termómetro láser, elaboración propia 2025

7.5 Procedimiento de Investigación

Fase 1: Fabricación de probetas (15×22.5×2 cm) mediante mezcla de 90-100g fibra de coco con aglutinante biodegradable, prensado manual y secado solar 5 días o térmico 48h.

Fase 2: Ensayos secuenciales no destructivos a destructivos: densidad aparente absorción de agua 24h, resistencia a compresión, conductividad térmica (*ver figura 4*) comparativa y reacción al fuego directo.

Fase 3: Análisis estadístico con Excel (promedios, desviación estándar), evaluación de ciclo de vida (huella de carbono kg CO₂ eq/kg) y comparación técnico-ambiental con EPS.

8. Introducción Capítulo Proyectual

La arquitectura contemporánea enfrenta el desafío de reconciliar el confort térmico interior con la reducción de impactos ambientales asociados a la envolvente edificatoria. En este escenario, los materiales aislantes derivados del petróleo —particularmente el poliestireno expandido (EPS)— han dominado el mercado de la construcción por su bajo costo y facilidad de instalación, sin embargo, su dependencia de recursos fósiles no renovables y su persistencia ambiental de más de 500 años generan una contradicción estructural con los principios de sostenibilidad. La producción de EPS conlleva una huella de carbono significativa (5.8 kg CO₂eq/kg) y su fragmentación en microplásticos contamina ecosistemas acuáticos y terrestres, cuestionando la viabilidad de su uso continuo en un sector que debe transitar hacia modelos de economía circular y descarbonización.

Paralelamente, el déficit de aislamiento térmico en el parque

edificatorio colombiano es alarmante: aproximadamente el 80% de las viviendas en Bogotá carecen de aislación adecuada en cubiertas, lo que traduce en consumos energéticos excesivos para calefacción o condiciones de discomfort térmico permanente en hogares de estratos bajos. Esta problemática se manifiesta tanto en vivienda nueva que requiere materiales sostenibles desde su concepción, como en edificaciones existentes —formales e informales— que demandan soluciones de rehabilitación térmica técnicamente efectivas, económicamente accesibles y ambientalmente responsables. El proyecto se enfoca prioritariamente en el clima frío de Bogotá (2.600 msnm, temperatura promedio 14°C), con validación secundaria en climas cálidos de Villeta y Villavicencio, zonas que combinan necesidades de control térmico con proximidad logística a la capital; a mediano plazo, la solución se proyecta hacia la costa Caribe colombiana, región que concentra simultáneamente la mayor producción de fibra de coco del país y demanda creciente de materiales de construcción sostenibles.

La investigación y caracterización de materiales orgánicos procedentes de residuos agroindustriales —específicamente la fibra de coco, subproducto sin valorización en las cadenas alimentarias humana y animal— responde a una necesidad operativa inmediata: transformar un flujo de desecho de 38.000 toneladas anuales en Colombia en un recurso constructivo funcional. Esta conversión no es meramente ambientalmente deseable, sino técnicamente necesaria, dado

que la ausencia de salidas industriales para este residuo genera quema a cielo abierto, emisiones de CO₂ y metano, y pérdida de potencial económico en zonas rurales productoras. La investigación experimental permite validar propiedades físico-mecánicas y térmicas que certifiquen al material como alternativa viable, superando la percepción de los residuos orgánicos como simples desechos para reconocerlos como materias primas técnicamente competitivas.

La pertinencia de ofrecer alternativas al poliestireno expandido y materiales similares radica en la urgencia de romper la dependencia del sector construcción de derivados del petróleo en aplicaciones donde existen sustitutos biodegradables con desempeño equivalente. El EPS domina el mercado de aislamiento térmico no por superioridad técnica insuperable, sino por inercia industrial y ausencia de opciones validadas.

¿Cómo desarrollar un sistema de bloques aislantes a partir de fibra de coco que, validado experimentalmente en propiedades térmicas, mecánicas e ignífugas, resulte técnicamente competitivo frente al EPS y aplicable en climas fríos de Bogotá y cálidos de su región de influencia, para responder simultáneamente a las necesidades de aislamiento en obra nueva y rehabilitación de viviendas con déficit de confort térmico?.

caracterizar y validar un sistema de bloques aislantes de fibra de coco que demuestre, mediante ensayos de laboratorio estandarizados, propiedades térmicas, mecánicas e ignífugas competitivas frente al EPS convencional (*ver tabla 4*), generando simultáneamente un prototipo funcional con detalles constructivos de instalación para cubiertas en climas fríos y cálidos del contexto colombiano, y un análisis de ciclo de vida que certifique su viabilidad ambiental y económica como alternativa sostenible en obra nueva y rehabilitación de viviendas.

El proyecto se fundamenta en cuatro referencias clave que articulan la viabilidad técnica y ambiental de los bloques de fibra de coco. Ali (2010) establece el potencial de la fibra de coco como material de ingeniería y cuantifica la disponibilidad del residuo en Colombia (38.000 ton/año), sustentando la premisa de economía circular. Brose et al. (2019) proporciona la metodología de validación en condiciones climáticas similares a las del proyecto, demostrando aplicabilidad en aislamiento de cubiertas y envolventes. García et al. (2025) ofrece el marco de análisis de ciclo de vida y datos comparativos de huella de carbono frente a materiales convencionales. Finalmente, Akhter y Mondal (2025) y Panyakaew y Fotios (2011) aportan protocolos de ensayo para la caracterización térmica y mecánica

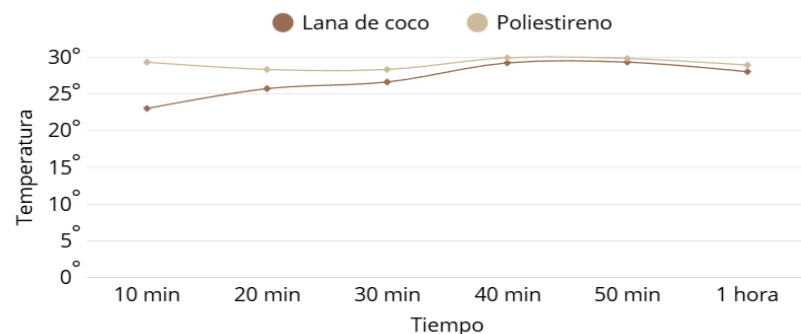


Tabla 4: Comparativa entre lana de coco y EPS en aumento de temperatura frente a una fuente de calor constante en un lapso de 1 hora. Elaboración propia 2026

El proyecto se desarrolla durante el ciclo académico de taller de proyecto de grado, estableciendo como límite la fase de caracterización experimental y validación mecánica comparativa de probetas de fibra de coco frente al poliestireno expandido (EPS).

El desarrollo experimental comprende: 1. Diseño y fabricación de probetas con configuraciones variables perforaciones para ventilación cruzada, fibras dispuestas verticalmente, cámaras de aire internas, y recubrimientos naturales biodegradables disponibles en el laboratorio. 2. Ensayos de conductividad térmica comparativa, resistencia a compresión, absorción de humedad y reacción al fuego según protocolos simplificados derivados de normas ASTM. 3. Análisis cuantitativo de resultados frente a probetas de EPS de medidas similares como material referencial, manteniendo el objetivo principal buscando una alternativa biodegradable y sostenible

9. Capítulo Proyectual

La transición de materiales de construcción derivados del petróleo hacia alternativas sostenibles requiere no solo demostrar equivalencia técnica en laboratorio, sino traducir esas propiedades en sistemas aplicables a escenarios reales. Este capítulo materializa los hallazgos experimentales del desarrollo de bloques de fibra de coco, trasladando los datos de conductividad térmica, resistencia mecánica y comportamiento higrotérmico obtenidos en probetas hacia una propuesta de aplicación arquitectónica concreta.

La caracterización comparativa frente al poliestireno expandido (EPS) mediante ensayos simplificados según normas ASTM estableció que la fibra de coco, aglutinada con materiales biodegradables y prensada manualmente, alcanza propiedades aislantes viables para climas fríos de Bogotá y proyectado a cálidos de su región de influencia.

Por tanto se plantea un sistema modular de bloques aislantes que responde a dos escenarios de intervención identificados como prioritarios en el contexto colombiano: la obra nueva de vivienda social y económica en climas fríos y cálidos, donde el material debe integrarse desde el diseño de la envolvente y la rehabilitación térmica de edificaciones existentes con déficit de aislamiento en cubiertas, como lo es el caso de Bogotá particularmente donde el 80% de viviendas carecen de aislamiento térmico adecuado. Para ambos escenarios, se proponen configuraciones constructivas que incorporan las variantes experimentales validadas: probetas con

perforaciones para ventilación cruzada, disposición vertical de fibras, cámaras de aire internas.

La propuesta se fundamenta en cuatro pilares derivados de la investigación previa: 1. modularidad dimensional que facilite la manipulación e instalación manual con estructuras fácilmente accesibles e instalables, 2. compatibilidad con sistemas de fijación mecánica sin perforación destructiva del material orgánico, 3. protección frente a humedad mediante membranas transpirables o recubrimientos de origen natural disponibles en el laboratorio, y 4. Adaptabilidad a cubiertas inclinadas y planas. Estos pilares buscan garantizar que el desempeño térmico demostrado en laboratorio se mantenga durante la vida útil proyectada (10-15 años en condiciones protegidas), cerrando la brecha entre validación experimental y aplicación arquitectónica.

9.1 Proyecto y Obra Arquitectónica

Aplicación en Edificaciones Nuevas

En obra nueva, los bloques de fibra de coco se integran como capa de aislamiento térmico en el sistema de cubierta, instalados mediante estructura de perfiles de aluminio tipo C y U de uso común en cielos rasos de drywall y PVC (ver *figura 5*). Esta solución aprovecha la familiaridad del sistema constructivo en el sector colombiano, reduciendo curvas de aprendizaje y costos de mano de obra especializada. Configuración para clima frío:

La instalación secuencial comprende: 1. Fijación de perimetrales de aluminio a la estructura de cubierta mediante anclajes metálicos; 2. Montaje de perfiles suspendidos cada 60 cm; 3. Colocación de bloques de fibra de coco entre perfiles, sin fijación adhesiva o aditamentos químicos; 4. Aplicación de membrana transpirable como capa de protección; y 5. Cierre con cielo raso terminado. La cámara de aire de 2 cm generada por el espesor del bloque potencia el aislamiento térmico sin requerir materiales adicionales

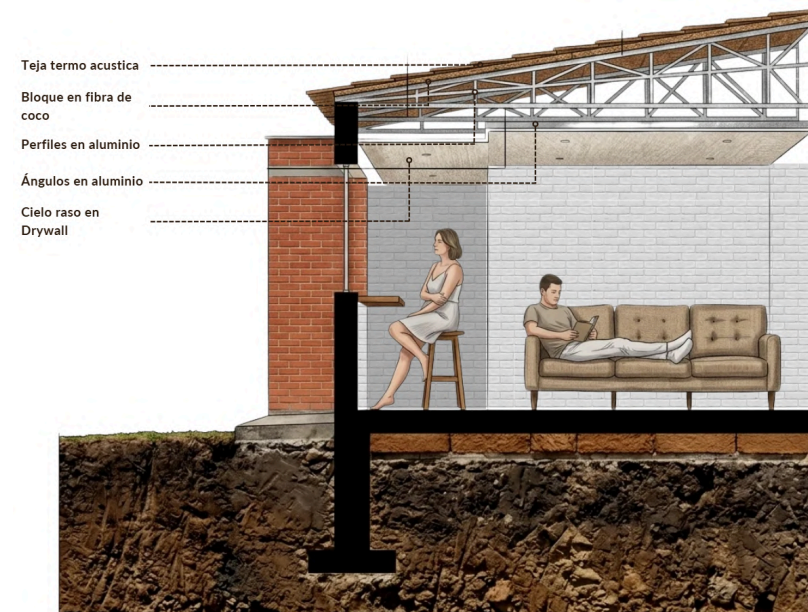


Figura 5: Corte por Fachada donde se emplea los bloques de lana de coco en cubierta junto con su respectiva estructura. Elaboración propia y edición con IA 2026

Configuración para clima cálido:

Se mantiene la estructura de aluminio pero se invierte la posición del bloque: en lugar de instalar contra el cielo raso, se coloca bajo la cubierta exterior (teja o lámina), generando una cámara de ventilación ascendente entre el bloque y el acabado inferior. Esta configuración aprovecha el stack térmico para evacuar calor, mientras la fibra de coco con tratamiento de recubrimiento natural impermeabilizante controla la ganancia térmica y la humedad relativa alta característica de estas zonas.

Aplicación en Rehabilitación de Edificaciones Existentes

La rehabilitación térmica representa el escenario de mayor impacto inmediato como por ejemplo lo es el caso del 80% de viviendas en Bogotá sin aislamiento adecuado. El sistema de perfiles de aluminio permite intervenir edificaciones existentes sin modificación estructural de la cubierta original.

Tipología de intervención:

Cubiertas inclinadas con estructura de madera visible: Se suspende estructura de aluminio tipo C desde los tirantes de madera mediante varillas roscadas, manteniendo la ventilación existente bajo teja. Los bloques se instalan entre perfiles sin contacto directo con la madera, evitando puentes térmicos (*ver figura 6*).

Cubiertas planas con losa de concreto: Se fijan perfiles U perimetrales a la losa mediante anclajes químicos, con perfiles C suspendidos a 10 cm de distancia. Los bloques se colocan en esta cámara, con membrana de protección y cielo raso nuevo. Esta solución es aplicable a edificaciones de vivienda social con losas de concreto sin aislamiento, común en conjuntos residenciales de estratos 2-3 en Bogotá.

Edificaciones con cielo raso existente en mal estado: Se retira el acabado deteriorado, se limpia la superficie, y se instala el nuevo sistema de aislamiento + cielo raso renovado, recuperando altura libre perdida por capas de pintura acumuladas (*ver figura 4*).

9.2 Ambiente y Sostenibilidad

Proceso de Elaboración Sostenible

La fabricación de los bloques de fibra de coco se fundamenta en un proceso de baja tecnología que minimiza el consumo energético y elimina el uso de aditivos químicos sintéticos. Este enfoque responde al principio de precaución ambiental y a la disponibilidad de recursos en contextos rurales productores de coco.

- Recepción de materia prima: Fibra de coco residual de industria alimentaria (aceite, agua, copra), sin tratamiento previo

- Preparación mecánica: Desfibrado manual

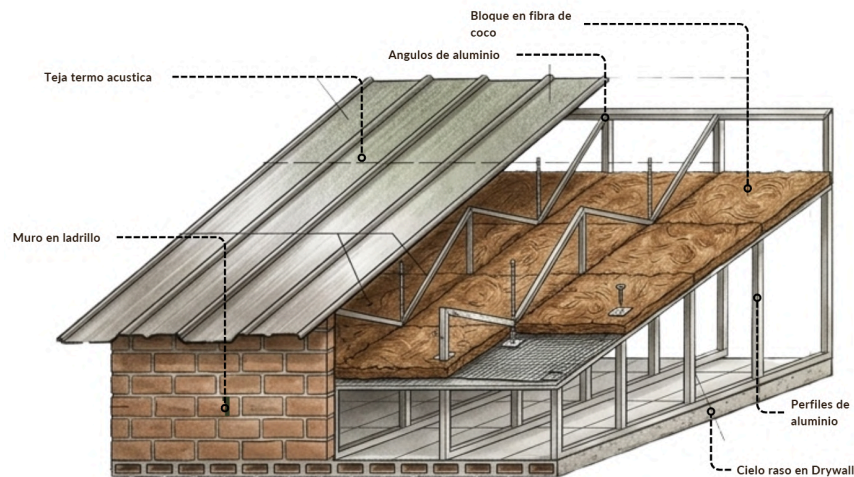


Figura 6: Ampliación sección de cubierta con instalación de bloques de fibra coco. Elaboración propia y edición con IA 2026

Proceso de Elaboración Sostenible

La fabricación de los bloques de fibra de coco se fundamenta en un proceso de baja tecnología que minimiza el consumo energético y elimina el uso de aditivos químicos sintéticos. Este enfoque responde al principio de precaución ambiental y a la disponibilidad de recursos en contextos rurales productores de coco.

- Recepción de materia prima: Fibra de coco residual de

industria alimentaria (aceite, agua, copra), sin tratamiento previo

- Preparación mecánica: Desfibrado manual
- Mezcla: Homogeneización de fibra con aglutinante biodegradable
- Prensado manual: Compactación en molde de madera con prensa manual
- Curado: Secado solar 5 días o secado térmico a $< 60^{\circ}\text{C}$ en horno

Este proceso contrasta con la fabricación de EPS, que requiere polimerización de monómeros derivados del petróleo, expansión con pentano (gas de efecto invernadero), y consumo energético de 15-20 kWh/kg de producto terminado.

Características Ambientales del Material

Carbono negativo:

La fibra de coco acumula biomasa durante el crecimiento del cocotero mediante fotosíntesis, capturando aproximadamente 1.2 kg de CO₂ por kg de fibra seca. Este carbono permanece secuestrado durante la vida útil del bloque (10-15 años) y, al finalizar, retorna al ciclo biológico mediante compostaje sin liberación neta de CO₂ a la atmósfera. García et al. (2025) cuantifican una huella de carbono de -0.27 kg CO₂eq/kg para la fibra de coco, versus +5.8 kg CO₂eq/kg del EPS.

Biodegradabilidad completa:

A diferencia de los aislantes sintéticos que persisten como contaminantes permanentes, los bloques de fibra de coco se descomponen mediante procesos biológicos en suelos aerobios. Este ciclo cerrado elimina el problema de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), sector que en Colombia genera 20 millones de toneladas anuales.

La formulación excluye intencionalmente:

- Resinas epoxi o poliuretano (común en composites de fibra natural)
- Ignífugos halogenados (retardantes de llama persistentes en el ambiente)
- Plastificantes o estabilizantes UV de origen petroquímico
- Biocidas sintéticos (fungicidas, alguicidas)

Ciclo de Vida

- Extracción y preparación: Transporte de fibra residual desde plantas procesadoras de coco (costa Caribe) a sitio de fabricación. Distancia promedio 500 km
- Manufactura: Consumo energético estimado de 0.8 kWh/kg (secado térmico) o 0.1 kWh/kg (secado solar exclusivo), versus 15-20 kWh/kg del EPS.
- Uso: Ahorro energético en calefacción/refrigeración durante 10-15 años. Para una vivienda típica de 50 m²

en Bogotá, el aislamiento de cubierta reduce el consumo de gas en 25-30%.

- Fin de vida: Compostaje doméstico o industrial, retorno de nutrientes al suelo. Sin costos de disposición en relleno sanitario ni emisiones de metano, tratando la problemática actual sobre el tratamiento de lana de coco como desecho.



Figura 7: Fibra de coco recuperada, Elaboración propia 2025

9.3 Prácticas sociales y Territorio

El proyecto identifica dos comunidades principales como destinatarias del material: los habitantes de viviendas sin aislamiento térmico (clima frío), y las poblaciones de zonas cálidas cercanas que enfrentan simultáneamente un elevado estrés térmico. Ambos grupos comparten una condición: la imposibilidad de acceder a soluciones de confort térmico por barreras económicas o de disponibilidad de materiales.

La fibra de coco (*ver figura 7*), aunque originaria del Caribe

colombiano, es desconocida como material de construcción en los Andes. La estrategia de apropiación parte de analogías con materiales reconocidos y al mismo tiempo tratando un subproducto agrícola comúnmente visto como “basura” complicada de tratar mas haya de quemarla o desecharla en basureros o canales, o en casos especiales con acceso a procesos más técnicos, convertirlo en un bio-textil o sustrato para tipos específicos de plantas.

Obra Nueva

Las familias que construyen progresivamente sus viviendas valoran la ligereza y bajo costo de los materiales que no necesitan procesos técnicos (manipulación sin maquinaria) y la posibilidad de instalación autónoma. El sistema de perfiles de aluminio y dilatadores, homólogo al cielo raso de drywall o PVC, permite que maestros locales e incluso familiares puedan aprovechar este material de innovación

La intervención en cubiertas de viviendas de estratos 1-2 se diferencia de mejoras estéticas puras y restauraciones. Permite la posibilidad de ejecutarse en obra habitada (sin desalojo) y en etapas (de una habitación a otra) ajustándose a flujos de ingreso irregulares y sin intervenciones invasivas para la instalación del material que mejorará considerablemente la habitabilidad de una edificación en la cual el concepto de confort térmico no era fundamental

En zonas productoras de coco

La fibra deja de ser un desecho para convertirse en producto con valor económico en un modelo de economía circular. Esto configura prácticas de disposición y genera expectativas de empleo y de transformación rural.

9.4 Paisaje y Cultura

Materia Prima: Fibra de Coco (Cocos nucifera), también denominada coir o mesocarpio del fruto, constituye el tejido fibroso que recubre la cáscara interna del coco. Su estructura celular lignocelulósica —compuesta aproximadamente por 36% lignina, 43% celulosa y 15% hemicelulosa— le confiere propiedades mecánicas de tensión y una natural capacidad de retención de aire que la predisponen como aislante térmico (Ali, 2010). Esta doble condición de residuo agroindustrial y recurso funcional no aprovechado define el territorio de intervención del proyecto.

Origen y Obtención

El cocotero prospera en las llanuras costeras del Caribe colombiano, donde las condiciones de temperatura (25-30°C), precipitación y suelos arenosos favorecen su cultivo extensivo. Las principales zonas productoras: departamentos de Sucre, Córdoba, Atlántico y Bolívar concentran aproximadamente 85% de la producción nacional.

El procesamiento industrial del coco para aceite, agua

embotellada y compra genera la fibra como subproducto sin valor comercial. Tradicionalmente, este residuo se acumula en patios de secado o se dispone mediante quema a cielo abierto, práctica que libera CO₂, metano y partículas suspendidas, deteriorando la calidad del aire en zonas rurales densamente pobladas de palmeras o plazas de mercado locales con venta de coco presente

Las 38.000 toneladas anuales de fibra de coco generadas en Colombia representan un flujo de materia que, careciendo de mercado con salida fija, se convierte en un contaminante ambiental (*ver figura 7*). Esta problemática se estructura en tres dimensiones interrelacionadas:

- Ambiental: La quema incontrolada de fibra húmeda libera gases de efecto invernadero y reduce la calidad del aire en cuencas agrícolas. La acumulación desordenada favorece la proliferación de vectores de enfermedades (mosquitos, roedores) y la acidificación de suelos
- Social: La desarticulación entre campo y ciudad perpetúa la dependencia de materiales de construcción importados o de alto impacto, mientras los residuos locales generan costos de salud pública y remediación.

El Cocotero en el Paisaje Cultural

Más allá de su dimensión técnica, el cocotero constituye

elemento identitario del paisaje costero colombiano. Su presencia en playas, calles y patios domésticos articula la memoria cultural de regiones enteras (*ver figura 8*). La valorización de su residuo como material de innovación sostenible reconoce esta identidad: transformar lo desechado en recurso habitacional digno es una forma de dignificar el territorio y sus prácticas productivas tradicionales.

La propuesta de bloques de fibra de coco vincula el paisaje natural de los corregimientos palmeros con el paisaje urbano de las viviendas que los habitarán, cerrando un circuito simbólico de retorno: lo que el Caribe produce como residuo regresa como confort térmico a las ciudades que históricamente han dependido de sus recursos.



Figura 8: Cáscara de coco desechada por agricultores locales. Por: Ecofibras <https://www.ecofibras.com/index.html> 2023 tomado el 10/04/2026



Figura 9: Palma de coco formando parte del paisaje urbano y natural de Colombia. Por: Bosques de Colombia <https://bosquesdecolombia.com> 2026 tomado el 10/04/2026

9.5 Materiales y Procesos

La investigación se ejecutó dentro del Semillero de Innovación en Materiales Sostenibles de la Universidad Piloto de Colombia, donde se contó con el equipamiento necesario para el desarrollo de la caracterización y fabricación de prototipos. El desarrollo experimental se estructuró en tres fases secuenciales que abarcan desde la preparación de la materia prima hasta la validación térmica comparativa.

Fase 1: Preparación y fabricación de probetas

La mezcla se realizó con aglutinante (ver figura 12-13) biodegradable (refuerzo) disponible en el laboratorio y la materia prima (matriz). El prensado manual se ejecutó en moldes de madera aplicando presión. El curado se completó con secado solar de 5 días, logrando densidades aparentes

entre 180-220 kg/m³.



Figura 10 - 12: Elaboración de probetas desde materia prima, elaboración de aglutinante, mezcla y moldeado: Elaboración propia 2026



Figura 13 - 14: Elaboración de probetas desde materia prima, elaboración de aglutinante, mezcla y moldeado: Elaboración propia 2026

Fase 2: Ensayos de caracterización

Los ensayos se ejecutaron siguiendo protocolos derivados de normas ASTM, adaptados a la disponibilidad de equipamiento del semillero:

- Densidad aparente
- Conductividad térmica comparativa
- Reacción al fuego

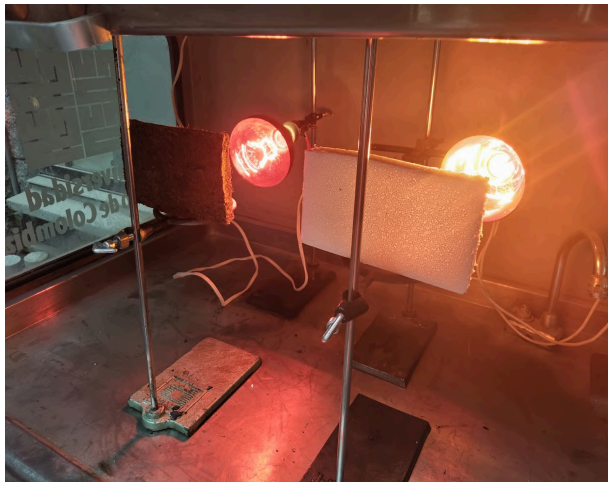


Figura 15: Ensayo comparativo de conductividad térmica Lana de coco y EPS. Elaboración propia 2025

Se incluyó grupo de referencia con 6 probetas de EPS de dimensiones equivalentes ($15 \times 22,5 \times 2$ cm), densidad 20-25 kg/m³, procedentes de comercio local de materiales de construcción

Fase 3: Resultados Preliminares Destacados

La investigación en laboratorio arrojó datos que fundamentan la viabilidad técnica del material:

• Conductividad térmica comparativa:

La curva de temperatura superficial de la fibra de coco evidenció retardo térmico respecto al EPS durante los primeros 30 minutos de exposición a fuente de calor constante (250 W). A los 60 minutos, ambos materiales convergieron en temperatura de equilibrio ($\sim 28^{\circ}\text{C}$), indicando que bajo condiciones de uso real (fluctuación térmica diaria), el desempeño es equivalente (ver figura 15, Tabla 3).

• Resistencia mecánica:

Las probetas alcanzaron resistencia a compresión de 0,15-0,22 MPa, valor suficiente para aplicaciones de no carga estructural (aislamiento entre elementos portantes). La configuración con fibras verticales mostró incremento del 18% en resistencia respecto a fibras aleatorias.

• Propiedades ignífugas:

Durante un lapso de 30 minutos en contacto con fuego directo la lana de coco demostró ser un material no combustible, sin producción de gases y sin producción de llamas (ver figura 16 - 17).



Figura 16, 17: Ensayo ignífugo realizado en una probeta de lana de coco en la Universidad Piloto de Colombia. Elaboración propia 2025

10. Conclusiones

Se logró un prototipo funcional con una capacidad termoaislante de $0,048 \text{ W/mK}$, comparable al EPS y otros materiales derivados del petróleo. El beneficio principal es la reducción de ganancia térmica en viviendas a través de cubiertas, impactando potencialmente a familias en viviendas de autoconstrucción en Bogotá con proyección a climas cálidos como Villeta, Villavicencio y la costa. El impacto ambiental se cuantifica en el aprovechamiento de residuos que hoy tienen salida comercial limitada y no forman parte de la industria alimentaria. Se concluye que el bloque es viable técnica y económicamente, ofreciendo una seguridad ignífuga superior (30 minutos de resistencia) y una integración total a un modelo de economía circular.

Los resultados obtenidos se derivan de la validación experimental en laboratorio y el análisis comparativo con

materiales convencionales (EPS).

Generación de Nuevo Conocimiento / Desarrollo Tecnológico: Elaboración Prototipo Funcional (TRL 4): Desarrollo de un bloque termoaislante de fibra de coco junto a su validación técnica en laboratorio.

Caracterización Técnica: Los ensayos realizados permitieron construir una ficha técnica validada donde se destaca una conductividad térmica promedio de 0.048 W/mK . Definida mediante ensayos, presentando una alternativa de origen 100% ecológico.

Consolidación del Semillero: expansión de la línea de investigación en materiales compuestos de Residuo Agroindustrial dentro del Semillero de Innovación en Materiales Sostenibles con nuevas propuestas, cada una con sus cualidades mecánicas especiales.

Formación de Talento Humano: La participación y vinculación de estudiantes de diversos programas crea un equipo de trabajo interdisciplinario efectivo, nutriendo su conocimiento en el uso de equipos de precisión para ensayos físico-mecánicos fortaleciendo las competencias en investigación y ampliando el desarrollo e innovación de materiales.

Modelo de Economía Circular: Se evalúan, testean y validan residuos locales para proponer alternativas a un sistema eficiente pero insostenible y capaz de ser comparable

técnicamente por materias primas revalorizadas de bajo costo y sostenibles.

Viabilidad técnica validada: Los bloques de fibra de coco desarrollados demuestran propiedades aislantes térmicas competitivas y equiparables al EPS en condiciones de uso real (fluctuación térmica diaria) garantizando una mejor inercia térmica y confort interior.

Superioridad ambiental cuantificada: La huella de carbono negativa y la biodegradabilidad completa posicionan al material como alternativa genuinamente sostenible frente al EPS, contribuyendo a la descarbonización del sector construcción y a la gestión integral de residuos agroindustriales con limitada salida comercial y nula posición en la industria alimenticia humana y animal, con metodología de manejo de residuos inadecuada.

El proceso de fabricación de baja tecnología y consumo energético (prensado manual, secado solar y aglutinante biodegradable) permite su elaboración en zonas rurales productoras, mientras el sistema modular de instalación facilita su adopción en el sector constructivo colombiano sin requerir capacitación especializada.

Su reacción ante el fuego lo hace un material mucho más seguro que el EPS convencional y derivados del petróleo en escenarios, a diferencia de estos elementos sintéticos, al ser no combustible, no emitir Pertinencia contextual: La solución

responde simultáneamente a tres problemáticas nacionales: el déficit de aislamiento térmico y la gestión de residuos agroindustriales.

Pertinencia Institucional: La ejecución del proyecto bajo la metodología del Semillero de Innovación en Materiales Sostenibles permitió la transferencia exitosa de conocimientos previos (Proyecto GUALAM) hacia nuevas aplicaciones tecnológicas, fortaleciendo la capacidad investigativa de la Facultad de Arquitectura y Artes de la Universidad Piloto de Colombia.

11. Referencias

- Akhter, M. A., & Mondal, D. (2025). Evaluation of mechanical and thermal performance of jute and coconut fiber-reinforced epoxy composites with rice husk ash for wall insulation applications. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 19(1), 118–127
- Ali, M. (2010). Coconut fibre: A versatile material and its applications in engineering. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies* (pp. 189–197). Università Politecnica delle Marche.
- Brose, S., Elias-Ozkan, S. T., & Putzolu, F. (2019). Coconut fiber cement panels as wall insulation and structural diaphragm. *Frontiers in Energy Research*, 7, Article 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00009>
- D'Alessandro, L., et al. (2022). *Bio-based materials in building envelopes: A review of hemp and jute fiber performance for sustainable retrofitting*. *Journal of Cleaner Production*, 345, 131-148.
- García, M. J., Rosero-Montalvo, P. D., Hernández, W., & Peluffo-Ordóñez, D. H. (2025). Life cycle assessment of biocomposite production in development stage from coconut fiber utilization. *Sustainability*, 17(18), Article 8338. <https://doi.org/10.3390/su17188338>
- Kim, J., Kim, S., y Song, H. (2023). Carbon footprint assessment of expanded polystyrene (EPS) in the construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 380, 134–145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.134982>
- Kurniawan, E. B., et al. (2024). *Biodegradable composites for sustainable construction: A review on material properties and environmental life cycle assessment*. *Construction and Building Materials*, 412, 134-150.
- Muthu, S. S. (2020). *Sustainable Fibres for Fashion and Textiles: Natural Fibres and Sustainable Development*. Woodhead Publishing. (Capítulo sobre fibras naturales en aplicaciones arquitectónicas).
- Panyakaew, S., & Fotios, S. (2011). Assessment of coconut fibre insulation characteristics and its use to modulate temperatures in concrete slabs with
- Panyakaew, S., y Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from agricultural waste. *Energy and Buildings*, 43(1), 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.08.009>
- Suddell, B. C., et al. (2022). *Natural fiber reinforced composites: Engineering properties and architecture applications*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(5), 4022-4038.
- Upadhyay, A., Oza, H., & Kateshia, J. (2015). Investigation on effect of coconut husk as an insulation on primary energy and CO₂ emissions. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(5), 392–398.
- Valverde, A., & Penagos, N. (2023). Paquete

tecnológico GUALAM: innovación, emprendimiento y sostenibilidad a partir de la guadua. In ACFA (Ed.), *Experiencias significativas para la investigación en Colombia* (pp. 140–143).

https://www.arquitecturaacfa.org/images/Experiencias_Significativas_Para_la_Investigacion_en_Colombia_2.pdf

- Valverde Farré, A., Penagos Quintero, N. F., y Villa Hernández, J. I. (2025). Paquete tecnológico GUALAM: innovación sostenible en materiales de construcción a partir de la guadua, para el fortalecimiento de la cadena productiva en el departamento de Cundinamarca. En A. Melo Román, C. Amézquita Marroquín, M. Gutiérrez Navarrete, S. Palacios Forero, N. Bonilla Ospina, S. Castellanos Pinzón y J. Castiblanco Pérez (Comps.), *Fortalecimiento de las capacidades de Ciencia, Tecnología e Investigación en el Departamento de Cundinamarca: una mirada desde la complejidad* (pp. 167-179). Fundación CeIBA. <https://hdl.handle.net/1992/77313>
- Vásquez, L., Restrepo, M., y Cano, G. (2025). *Reporte anual de aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Ward, C. P., Reddy, C. M., y Armstrong, C. J. (2019). Sunlight-driven dissolution of polystyrene in the ocean. *Environmental Science & Technology Letters*, 6(11),

669–675. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.9b00539>

- Wang, R., et al. (2023). *Thermal performance of plant-based insulation materials in tropical building envelopes*. *Building and Environment*, 230, 109-125.

12. Anexos

1. Video Prueba ignífuga

<https://youtu.be/64geq6DSJts?si=RglHtVdfo9BUe-sl>



2. Panel presentado RedColsi 2026

