



Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura

Carrera de Ingeniería Marítima

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MARÍTIMO**

**“ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA APLICACIÓN
DE FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO EN COMPUESTOS DE
FIBRA DE VIDRIO PARA EMBARCACIONES ARTESANALES”**

AUTORA:

Casquete Moreno Mayra Alejandra

TUTOR DE TESIS:

Ing. Francisco Javier Paredes Mera

Manta – Ecuador

2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Mayra Alejandra Casquete Moreno, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2026-2027, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es “ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LA APLICACIÓN DE FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO EN COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO PARA EMBARCACIONES ARTESANALES”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 28 de Julio de 2026.

Lo certifico,



**Francisco Javier
Paredes Mera**



Ing. Francisco Paredes Mera
Docente Tutor
Área: Ingeniería, Industria y Arquitectura

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.

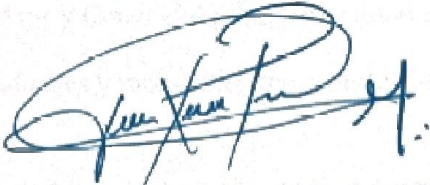
	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO	REVISIÓN: 1
		Página III de 70

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **CASQUETE MORENO MAYRA ALEJANDRA**, con cedula de identidad;
0950906669, egresado de la **UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**, de la
carrera de Ingeniería Marítima, expongo que cada uno de los contenidos, referencias
bibliográficas, recopilación de los datos obtenidos, análisis, conclusiones y recomendaciones de
esta investigación con el nombre de **“ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y
ECONÓMICO DE LA APLICACIÓN DE FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO EN
COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO PARA EMBARCACIONES ARTESANALES”**,
período académico **2025-2026**, son de mi total autoría.

Manta, 28 de julio de 2026.

Mayra Casquete M.
Sra. Casquete Moreno Mayra Alejandra


Ing. Francisco Javier Paredes Mero
Docente Tutor

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por brindarme salud, fortaleza y perseverancia para culminar esta etapa académica y alcanzar uno de los objetivos más importantes de mi vida.

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y a la carrera de Ingeniería Marítima, por permitirme formar parte de esta institución y proporcionarme los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional.

A mi tutor de tesis, Ing. Francisco Paredes, por su guía, paciencia, dedicación y conocimientos compartidos durante el desarrollo de esta investigación, los cuales fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

A todo el grupo de docentes de la carrera de Ingeniería Marítima, por transmitir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, contribuyendo a mi formación académica y profesional.

A mis padres, Nela Moreno y José Casquete, por su amor, apoyo incondicional y por motivarme siempre a continuar adelante.

A mi esposo, Kelvin Ponce, por su comprensión, apoyo y acompañamiento durante este proceso.

A mis hijos, Eiza y Eydmar, quienes son mi mayor motivación para seguir superándome y alcanzar mis metas.

A mi suegra, María Barreto, por su apoyo y cariño brindado durante esta etapa.

A mis amigas, Grecia Alcívar y Cindy Holguín, por su amistad, apoyo y por haber compartido conmigo experiencias, aprendizajes y momentos importantes a lo largo de mi formación universitaria.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo de esta investigación y a la culminación de mi carrera profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para alcanzar esta meta.

A mis hijos, Eiza y Eydmar, por ser mi mayor inspiración y el motivo para seguir adelante aun en los momentos más difíciles. A mis padres, por su amor, apoyo y consejos incondicionales, que han sido fundamentales en cada etapa de mi vida.

A mi esposo, por acompañarme, comprenderme y brindarme su apoyo durante este camino. Y a todas las personas que, de una u otra manera, estuvieron presentes y aportaron para que hoy pueda cumplir este sueño.

Con mucho amor y gratitud, dedico este logro a todos ustedes.

RESUMEN

La presente investigación analiza el impacto ambiental y económico de la aplicación de fibras naturales como refuerzo en compuestos de fibra de vidrio destinados a la construcción de embarcaciones artesanales. El estudio surge ante la necesidad de buscar alternativas más sostenibles frente al uso convencional de la fibra de vidrio, considerando su elevado consumo energético, baja biodegradabilidad y dificultades asociadas a su disposición final. Se realizó una investigación de carácter documental y descriptivo, mediante la revisión de información científica relacionada con las fibras de plátano, coco, paja toquilla y cacao, así como con materiales compuestos híbridos y sus aplicaciones navales e industriales. Para la evaluación ambiental se consideraron indicadores como biodegradabilidad, huella de carbono, consumo energético, aprovechamiento de residuos agrícolas, generación de residuos y toxicidad acuática. En el análisis económico se consideraron el costo de adquisición, procesamiento, fabricación, mantenimiento y vida útil estimada. Los resultados permitieron identificar a la fibra de plátano como una de las alternativas con mayor potencial para su incorporación como refuerzo parcial, debido a su disponibilidad como residuo agrícola y sus características ambientales y mecánicas reportadas en la literatura. El análisis económico evidenció que la viabilidad de los compuestos híbridos depende principalmente del costo de adquisición y procesamiento de la fibra natural. En consecuencia, la incorporación parcial de fibras naturales representa una alternativa con potencial para reducir el impacto ambiental de los materiales compuestos utilizados en embarcaciones artesanales, aunque se requiere continuar con investigaciones experimentales que permitan validar su comportamiento mecánico, durabilidad y viabilidad económica en condiciones reales de servicio.

Palabras clave: fibras naturales, fibra de vidrio, materiales compuestos, embarcaciones artesanales, impacto ambiental, análisis económico.

ABSTRACT

This research analyzes the environmental and economic impact of using natural fibers as reinforcement in fiberglass composites for the construction of artisanal fishing boats. The study arises from the need to identify more sustainable alternatives to the conventional use of fiberglass, considering its high energy consumption, low biodegradability, and difficulties associated with its end-of-life disposal. A documentary and descriptive research approach was conducted through a review of scientific information related to banana, coconut, toquilla straw, and cocoa fibers, as well as hybrid composite materials and their naval and industrial applications. The environmental assessment considered indicators such as biodegradability, carbon footprint, energy consumption, agricultural waste utilization, waste generation, and aquatic toxicity. The economic analysis considered acquisition, processing, manufacturing, maintenance, and estimated service-life costs. The results identified banana fiber as one of the alternatives with the greatest potential for partial incorporation as reinforcement due to its availability as an agricultural residue and its environmental and mechanical characteristics reported in the literature. The economic analysis showed that the feasibility of hybrid composites depends mainly on the acquisition and processing costs of the natural fiber. Therefore, the partial incorporation of natural fibers represents a promising alternative for reducing the environmental impact of composite materials used in artisanal boats; however, further experimental research is required to validate their mechanical performance, durability, and economic feasibility under real service conditions.

Keywords: natural fibers, fiberglass, composite materials, artisanal boats, environmental impact, economic analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	I
AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
INTRODUCCIÓN	1
1. Tema	2
Contexto del estudio	2
Planteamiento Del Problema	3
Justificación.....	3
Problema de investigación	4
Objeto de la investigación	4
Hipótesis	4
Objetivo General	4
Tareas de investigación	4
Variables	4
1.2 Dimensiones del problema	5
1.2.1 <i>Dimensión ambiental</i>	5
1.2.2 <i>Análisis del ciclo de vida de los materiales</i>	5
1.2.3 <i>Beneficios ambientales de las fibras naturales</i>	6
1.2.4 <i>Dimensión Económica</i>	6

1.2.5	<i>Dimensión Productiva</i>	7
CAPÍTULO II : Marco Teórico		8
2.	Tipos de Matrices Poliméricas para Uso Naval	8
	Resinas Termoestables (Uso Estructural y Cascos)	9
	Resinas Termoplásticas (Componentes y Accesorios)	9
2.1	Funciones Críticas de la Matriz con Fibras Naturales	10
2.2	Interacción de las matrices con las fibras naturales estudiadas	11
2.3	Selección de la matriz para la investigación	12
2.4	Disponibilidad y Nombres Comerciales en Ecuador	12
2.5	Materiales Compuestos	13
2.6	Fibra de vidrio	13
2.6.1	<i>Características y propiedades de la fibra de vidrio</i>	14
2.7	Fibras Naturales.....	15
2.7.1	<i>Clasificación de Fibras Naturales</i>	16
2.7.2	<i>Fibra de plátano</i>	16
2.7.2.1	<i>Características y Aplicaciones Principales</i>	17
2.7.2.2	<i>Sostenibilidad y Ventajas</i>	17
2.7.2.3.	Elaboración de la fibra de plátano	17
2.7.3	Fibra de paja toquilla	19
2.7.4	Fibra de Coco	20

2.7.4.1 Elaboración de la fibra de coco para agricultura.	21
2.7.4.2 Aplicaciones de la fibra de coco.....	21
2.7.5 Fibra de Cacao.....	22
2.8 Materiales compuestos híbridos	24
2.9 Aplicación de fibras naturales en la construcción naval	24
2.10 Impacto ambiental de los compuestos híbridos.....	25
2.11 Impacto económico de la utilización de fibras naturales	25
2.12 Normativas y sostenibilidad en la construcción de embarcaciones	26
2.13 Características mecánicas de las fibras naturales	26
Fibra de Coco (Estopa/Bonote)	26
Fibra de Plátano (Pseudotallo)	26
Paja Toquilla (Carludovica palmata).....	27
Fibra / Cascarilla de Cacao.....	27
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	28
3.1 Enfoque de la investigación	28
3.2 Tipo de investigación	28
3.2.1 Investigación documental.....	28
3.2.2 Investigación descriptiva	29
3.2.3 Investigación comparativa.....	29
3.2.4 Investigación aplicada	30

3.3 Diseño de la investigación.....	30
3.4 Población y muestra	30
3.4.1 Población	30
3.4.2 Muestra	31
3.5 Variables de investigación	31
Variable independiente	31
Variables dependientes	32
3.6 Técnicas e instrumentos para la recopilación de información	32
3.6.1 Revisión bibliográfica	32
3.6.2 Análisis documental	33
3.6.3 Recopilación de precios	33
3.7 Análisis de las matrices poliméricas.....	33
3.8 Caracterización de la embarcación de referencia	34
3.9 Determinación de la cantidad de fibra de vidrio	35
3.10 Consideración de pérdidas de material.....	35
3.11 Determinación de la cantidad de resina.....	36
3.12 Determinación del catalizador.....	37
3.13 Propuesta de incorporación de fibras naturales	38
3.14 Análisis económico	38
3.15 Evaluación ambiental	39

3.16 Procesamiento y análisis de datos	40
3.17 Consideraciones metodológicas	40
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
4.1 Aplicación de fibras naturales como refuerzo en compuestos de fibra de vidrio.	42
4.1.1 Fibra de plátano	42
4.1.2 Fibra de paja toquilla	43
4.1.3 Fibra de coco	44
4.1.4 Fibra de cacao.....	45
4.2 Análisis del impacto ambiental de la aplicación de fibras naturales en compuestos de fibra de vidrio	47
4.2.1 Indicadores ambientales	48
4.2.2 Análisis de los indicadores ambientales	51
4.2.3 Contribución de las fibras naturales a la sostenibilidad	52
4.2.4 Discusión de resultados	53
4.3 Análisis económico de la aplicación de fibras naturales en compuestos de fibra de vidrio	53
4.3.1 Comparación del costo de las materias primas	54
4.4 Comparación de Costos del sistema convencional y el sistema híbrido	61
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	69
Bibliografía.....	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Costos de adquisición de los materiales de la Fibra de Vidrio	54
Tabla 2 Cálculo del área total del casco	56
Tabla 3 Cálculo de Sistema Convencional (100% Fibra de Vidrio)	56
Tabla 4 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 40% fibra de plátano)	57
Tabla 5 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 40% fibra de paja toquilla)	57
Tabla 6 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 40% fibra de coco)	57
Tabla 7 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 40% fibra de cacao)	57
Tabla 8 Calculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 30% fibra de plátano).	58
Tabla 9 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 30% fibra de paja toquilla)	58
Tabla 10 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 30% fibra de coco)	58
Tabla 11 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 30% fibra de cacao)	58
Tabla 12 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 20% fibra de plátano)	59
Tabla 13 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 20% fibra de paja toquilla)	59
Tabla 14 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 20% fibra de coco)	59
Tabla 15 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 20% fibra de cacao)	59
Tabla 16 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 10% fibra de plátano)	60
Tabla 17 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 10% fibra de plátano)	60
Tabla 18 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 10% fibra de plátano)	60
Tabla 19 Cálculo del sistema hibrido (70% Fibra de vidrio, 10% fibra de plátano)	60
Tabla 20 Comparación de Costos con refuerzo del 40% de fibras naturales	61
Tabla 21 Comparación de Costos con refuerzo del 30% de fibras naturales	61
Tabla 22 Comparación de Costos con refuerzo del 20% de fibras naturales	62

Tabla 23 Comparación de Costos con refuerzo del 10% de fibras naturales	63
Tabla 24 Porcentaje de incremento económico del Sistema Híbrido	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Muestra la comparación de costos del sistema convencional y el sistema híbrido con diferentes fibras naturales con una combinación del 40%.	61
Gráfico 2 Muestra la comparación de costos del sistema convencional y el sistema híbrido con diferentes fibras naturales con una combinación del 30%.	62
Gráfico 3 Muestra la comparación de costos del sistema convencional y el sistema híbrido con diferentes fibras naturales con una combinación del 20%.	63
Gráfico 4 Muestra la comparación de costos del sistema convencional y el sistema híbrido con diferentes fibras naturales con una combinación del 10%.	64
Gráfico 5 Muestra el porcentaje de incremento económico de los diferentes porcentajes de sustitución de fibra de vidrio por fibra natural.	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Resina poliéster	10
Ilustración 2 Fibra de vidrio	15
Ilustración 3 Fibras naturales.....	16
Ilustración 4 Fibra de plátano	18
Ilustración 5 Recolección de cogollos de toquilla	19
Ilustración 6 Fibra de Coco	21
Ilustración 7 Fibra de Cacao	23
Ilustración 8 Peso en kg de un atado de paja toquilla.....	55
Ilustración 9 Ejemplo y datos de una embarcación para hacer los cálculos respectivos	55

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del sector pesquero artesanal ha estado estrechamente ligado a la evolución de los materiales utilizados en la construcción de embarcaciones. Tradicionalmente, la madera fue el principal recurso debido a su disponibilidad y facilidad de trabajo; sin embargo, con el avance tecnológico, ha sido progresivamente reemplazada por materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio, los cuales ofrecen ventajas significativas en términos de resistencia mecánica, durabilidad y mantenimiento.

A pesar de sus beneficios, el uso de la fibra de vidrio presenta importantes desafíos ambientales. Su proceso de fabricación implica un alto consumo energético y la emisión de gases contaminantes, mientras que su disposición final constituye un problema debido a su baja biodegradabilidad y limitada reciclabilidad.

En este contexto, surge la necesidad de explorar alternativas más sostenibles que permitan reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente sin comprometer las propiedades estructurales de las embarcaciones. Las fibras naturales, como la fibra de plátano y la paja toquilla, se presentan como una opción viable debido a su origen renovable, bajo costo y menor impacto ambiental. Además, su utilización como refuerzo en materiales compuestos puede contribuir al aprovechamiento de residuos agrícolas y al fortalecimiento de economías locales.

Desde el punto de vista económico, la incorporación de fibras naturales en los compuestos de fibra de vidrio puede representar una reducción en los costos de producción, así como una oportunidad para diversificar las fuentes de ingreso en comunidades rurales.

El presente estudio tiene como objetivo analizar el impacto ambiental y económico de la aplicación de fibras naturales como refuerzo en compuestos de fibra de vidrio para embarcaciones artesanales, evaluando su viabilidad como una solución sostenible que contribuya tanto a la conservación del medio ambiente como al fortalecimiento del sector productivo.

CAPÍTULO I: Introducción

1. Tema

Estudio del impacto ambiental y económico de la aplicación de fibras naturales como refuerzo en compuestos de fibra de vidrio para embarcaciones artesanales

Contexto del estudio

El sector pesquero artesanal en Ecuador constituye una actividad clave para el desarrollo económico y social de las comunidades costeras. En este contexto, las embarcaciones representan el principal medio de trabajo, siendo construidas tradicionalmente con madera o con materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio.

Aunque la fibra de vidrio ha permitido mejorar la resistencia estructural y la durabilidad de las embarcaciones, su uso también ha generado preocupaciones ambientales debido a su difícil reciclaje y al impacto asociado a su proceso de fabricación. De igual manera, el uso de madera continúa representando un problema ambiental vinculado a la explotación de recursos forestales.

Por otra parte, el país dispone de una gran cantidad de recursos naturales provenientes de actividades agrícolas, como el cultivo de plátano y la producción de paja toquilla, los cuales generan residuos que en muchos casos no son aprovechados. Estas fibras naturales presentan características que las hacen aptas para su uso como refuerzo en materiales compuestos, lo que abre la posibilidad de desarrollar alternativas más sostenibles.

En este sentido, el estudio de materiales compuestos híbridos que combinen fibra de vidrio con fibras naturales surge como una alternativa que podría contribuir tanto a la reducción del impacto ambiental como a la optimización de los costos en el sector pesquero artesanal.

Planteamiento Del Problema

La elaboración de embarcaciones artesanales en Ecuador se fundamenta, en gran medida, en el uso de materiales tradicionales como la madera y la fibra de vidrio, que, aunque poseen beneficios estructurales, también generan efectos negativos en los ámbitos ambiental y económico. La fibra de vidrio, a pesar de su resistencia, presenta complicaciones para su reciclaje y contribuye a la contaminación medioambiental debido a la acumulación de desechos no biodegradables. Por otro lado, el uso de madera conlleva la explotación de recursos forestales, lo que perjudica la sostenibilidad de los ecosistemas. En contraste, fibras naturales como la fibra de plátano y la paja toquilla, que están disponibles en el entorno local, tienen propiedades que permiten su utilización como refuerzo en materiales compuestos. Sin embargo, su uso en la construcción de embarcaciones artesanales es escaso, principalmente por la falta de investigaciones que analicen su comportamiento, impacto ambiental y viabilidad económica. Por lo tanto, es crucial investigar el impacto ambiental y económico de la incorporación de fibras naturales como refuerzo en compuestos de fibra de vidrio, con el objetivo de definir su potencial como alternativa sostenible en el sector pesquero artesanal.

Justificación

Esta investigación se origina de la necesidad de hallar soluciones sostenibles que disminuyan el efecto en el medio ambiente de los materiales empleados en la construcción de barcos artesanales. Se presenta una opción innovadora con el uso de fibras naturales, porque son recursos que se pueden renovar, son biodegradables y están disponibles en el ámbito local.

El agregar estos materiales también puede contribuir a reducir los costos de mantenimiento y producción, lo que beneficia de manera directa al sector pesquero artesanal. Además, posibilita el uso de residuos agrícolas, creando valor adicional y fomentando el crecimiento económico en las comunidades rurales.

Este estudio, por consiguiente, tiene como objetivo contribuir con información pertinente que posibilite el análisis de la factibilidad económica, técnica y ambiental de estos materiales, promoviendo así prácticas más sostenibles en el campo de la ingeniería marítima.

Problema de investigación

¿Cuáles son los impactos ambientales y económicos de la implementación de materiales compuestos híbridos en el sector pesquero artesanal?

Objeto de la investigación

Materiales compuestos híbridos aplicados al sector pesquero artesanal.

Campo de acción Construcción y mantenimiento de embarcaciones artesanales.

Hipótesis

La implementación de compuestos híbridos de fibra de vidrio con fibras naturales de plátano, cacao, coco y paja toquilla genera impactos ambientales y económicos positivos en comparación con el uso de materiales convencionales.

Objetivo General

Analizar el impacto ambiental y económico de la aplicación de fibras naturales como refuerzo en compuestos de fibra de vidrio en embarcaciones artesanales.

Tareas de investigación

- Revisar antecedentes sobre fibras naturales aplicadas en compuestos híbridos.
- Identificar impactos ambientales de la sustitución parcial de materiales compuestos.
- Evaluar el impacto económico en costos de mantenimiento, costos en la fabricación y vida útil.

Variables

Variable independiente: Uso de fibras naturales combinadas con fibra de vidrio.

Variable dependiente: Impactos ambientales y económicos en el sector pesquero artesanal.

1.2 Dimensiones del problema

1.2.1 *Dimensión ambiental*

El uso de materiales tradicionales en la construcción de embarcaciones artesanales genera impactos negativos a lo largo de su ciclo de vida. En el caso de la fibra de vidrio, su producción implica un alto consumo energético y la emisión de gases contaminantes. Además, su disposición final representa un problema ambiental debido a su baja biodegradabilidad y limitada reciclabilidad, lo que contribuye a la acumulación de residuos sólidos.

Por otro lado, la utilización de madera como material estructural contribuye a la explotación de recursos forestales, afectando la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas. Estas problemáticas evidencian la necesidad de buscar alternativas más sostenibles.

Las fibras naturales, como el plátano y la paja toquilla, presentan ventajas ambientales significativas, tales como su carácter renovable, biodegradabilidad y menor impacto en su procesamiento, lo que las convierte en una opción viable para reducir la huella ambiental.

1.2.2 *Análisis del ciclo de vida de los materiales*

Desde una perspectiva ambiental, es importante considerar el ciclo de vida de los materiales utilizados en la construcción naval, el cual comprende las etapas de extracción de materia prima, producción, uso y disposición final.

- **Extracción:** La obtención de materias primas para la fibra de vidrio implica la explotación de recursos minerales no renovables.
- **Producción:** Se caracteriza por un alto consumo energético y generación de emisiones contaminantes.
- **Uso:** Aunque el material es resistente, puede liberar partículas con el tiempo.

- **Fin de vida:** Presenta dificultades de reciclaje, generando residuos persistentes en el ambiente.

En contraste, las fibras naturales presentan ventajas en todas estas etapas, especialmente en su capacidad de degradación y menor impacto en su obtención.

1.2.3 Beneficios ambientales de las fibras naturales

Las fibras naturales como el plátano y la paja toquilla ofrecen múltiples beneficios desde el punto de vista ambiental:

- **Biodegradabilidad:** Se descomponen de manera natural sin generar contaminación a largo plazo.
- **Renovabilidad:** Proviene de recursos que pueden regenerarse en periodos relativamente cortos.
- **Bajo consumo energético:** Su procesamiento requiere menos energía en comparación con fibras sintéticas.
- **Reducción de residuos:** Permiten aprovechar subproductos agrícolas que normalmente serían desechados.

Además, su incorporación en materiales compuestos permite reducir la cantidad de fibra de vidrio utilizada, disminuyendo así el impacto ambiental total del material.

1.2.4 Dimensión Económica

Desde el punto de vista económico, los materiales tradicionales utilizados en embarcaciones artesanales implican costos elevados en su adquisición, mantenimiento y reparación. Esto afecta directamente la rentabilidad de los pescadores y limita el acceso a tecnologías más eficientes.

El uso de fibras naturales puede contribuir a la reducción de costos, debido a su disponibilidad local y bajo valor comercial. Asimismo, su implementación puede generar oportunidades económicas mediante el aprovechamiento de residuos agrícolas y la creación de nuevas cadenas productivas.

1.2.5 Dimensión Productiva

La escasa integración de fibras naturales en la industria naval refleja una limitada innovación en los procesos productivos del sector pesquero artesanal. A pesar de contar con recursos naturales disponibles, su aplicación en materiales compuestos sigue siendo reducida.

La incorporación de fibras naturales como refuerzo en compuestos híbridos representa una oportunidad para mejorar la eficiencia productiva, optimizar recursos y fomentar el desarrollo tecnológico en el sector.

CAPÍTULO II: Marco Teórico

El sector pesquero artesanal en Ecuador depende en gran medida de embarcaciones construidas con madera o fibra de vidrio pura. Estos materiales presentan altos costos de mantenimiento y efectos ambientales negativos, ya sea por la tala de bosques o por la dificultad para gestionar los residuos plásticos al final de su vida útil.

Paralelamente, la agricultura del plátano y la producción artesanal de paja toquilla generan residuos vegetales que generalmente se desechan sin aprovechamiento. Diversos estudios han demostrado que las fibras naturales pueden emplearse como refuerzo en materiales compuestos, mejorando su resistencia, reduciendo el consumo de fibras sintéticas y disminuyendo la huella ambiental.

La fibra de plátano (*Musa paradisiaca*) se obtiene del pseudotallo de la planta y posee buena resistencia a la tracción (400–600 MPa) y excelente adherencia con resinas epóxicas. Por su parte, la fibra de paja toquilla (*Carludovica palmata*) presenta baja densidad, estabilidad térmica y estructura celulósica, lo que la hace apta para su uso en compuestos poliméricos.

La combinación de fibra de vidrio con fibras naturales permite obtener materiales compuestos híbridos, que conservan la resistencia estructural necesaria para la construcción naval, pero con menor impacto ambiental y costo. Estos compuestos pueden aplicarse en partes no críticas de embarcaciones artesanales, como cubiertas, refuerzos y paneles internos, promoviendo una pesca más sostenible y económica.

2. Tipos de Matrices Poliméricas para Uso Naval

Las matrices poliméricas para uso naval son materiales de fase continua (resinas orgánicas) que unen fibras de refuerzo. Se dividen en dos grupos principales: termoestables (como poliéster, éster de vinilo y epoxi), ideales por su alta rigidez estructural y resistencia a la corrosión marina, y termoplásticas (como polipropileno y poliamida), valoradas por su reciclabilidad y tenacidad.

Resinas Termoestables (Uso Estructural y Cascos)

- **Poliéster (Ortoftálico y Isoftálico):**

Económico y fácil de procesar.

Usado en embarcaciones de recreo y cascos de fibra de vidrio estándar.

El tipo isoftálico ofrece mejor resistencia a la humedad.

- **Éster de Vinilo:**

Excelente resistencia a la hidrólisis y a la ósmosis marina.

Actúa como barrera superior intermedia entre el poliéster y el epoxi.

- **Epoxi:**

Propiedades mecánicas sobresalientes y adhesión excepcional.

Mínima contracción al curar y máxima resistencia a la fatiga.

Empleado en yates de alta competición, componentes aeronavales y reparaciones críticas.

Resinas Termoplásticas (Componentes y Accesorios)

- **Polipropileno (PP) y Poliamida (Nailon):**

Alta resistencia al impacto y tenacidad frente al oleaje.

Capacidad de ser reformados por calor.

Usados en piezas moldeadas, hélices pequeñas, tuberías y accesorios de cubierta.



Ilustración 1 Resina poliéster

Fuente: Diverzu s.f

2.1 Funciones Críticas de la Matriz con Fibras Naturales

Al combinar la matriz polimérica con fibras naturales, la resina debe cumplir varias tareas obligatorias:

- **Impregnación Completa (Humectabilidad):** Las fibras naturales son porosas y tubulares. La matriz polimérica debe tener una baja viscosidad inicial para poder penetrar dentro de los poros de la fibra de coco o plátano, expulsando todo el aire. Si quedan burbujas de aire atrapadas, se formarán focos de humedad y delaminación.
- **Aislamiento Hidrófobo:** Como la celulosa absorbe agua por naturaleza, la matriz polimérica debe actuar como un escudo plástico que encapsule por completo cada filamento orgánico, impidiendo que el agua salada entre en contacto con ellos.
- **Compatibilidad Química:** Las fibras naturales tienen grupos hidroxilo (-OH) que repelen las sustancias aceitosas o sumamente apolares. Las resinas epóxicas interactúan químicamente de mejor manera con estos grupos en comparación con el poliéster.

2.2 Interacción de las matrices con las fibras naturales estudiadas

Las fibras de coco, cacao, plátano y paja toquilla presentan diferencias en su composición, estructura, contenido de lignina, celulosa y capacidad de absorción de humedad. Por esta razón, no necesariamente presentan el mismo comportamiento al incorporarse a una matriz polimérica.

La fibra de plátano presenta interés para la fabricación de materiales compuestos debido a su disponibilidad como recurso agrícola y a su contenido de celulosa. Para su utilización como refuerzo, es importante controlar su humedad y preparar adecuadamente su superficie.

La fibra de coco presenta características diferenciadas debido a su contenido de lignina y a la estructura de sus fibras. Estas características pueden favorecer determinadas propiedades de resistencia y durabilidad, aunque la adhesión con la matriz debe ser evaluada de acuerdo con el tratamiento aplicado.

La fibra proveniente del cacao representa una alternativa relacionada con el aprovechamiento de residuos y subproductos agrícolas. Su utilización como refuerzo puede contribuir a la valorización de estos residuos, aunque sus propiedades pueden presentar variaciones dependiendo de su procedencia, procesamiento y acondicionamiento.

La paja toquilla constituye otra alternativa de origen vegetal disponible en Ecuador. Debido a su naturaleza lignocelulósica y baja densidad, puede ser considerada como material de refuerzo en compuestos poliméricos. Al igual que las demás fibras, requiere un adecuado control de humedad y preparación antes de su incorporación a la matriz.

En consecuencia, la selección de la matriz no debe realizarse únicamente considerando el tipo de fibra, sino también las condiciones de fabricación y servicio del material compuesto. Para una aplicación naval, deben considerarse factores como la resistencia mecánica, adhesión fibra-matriz,

absorción de humedad, resistencia al ambiente marino, costo, disponibilidad y facilidad de procesamiento.

2.3 Selección de la matriz para la investigación

Para el presente estudio, las matrices poliméricas pueden analizarse considerando su compatibilidad con las fibras naturales de coco, cacao, plátano y paja toquilla, además de los requerimientos propios de las embarcaciones artesanales.

La resina poliéster presenta una ventaja importante desde el punto de vista económico y de disponibilidad, debido a su utilización extendida en la fabricación de embarcaciones de fibra de vidrio. La resina viniléster presenta mejores características de resistencia frente a la humedad y agentes químicos, mientras que la resina epóxica destaca por su adhesión, baja contracción y capacidad para desarrollar una adecuada interfaz con diferentes tipos de refuerzos.

Por lo tanto, la resina epóxica puede considerarse una alternativa técnicamente favorable para evaluar las cuatro fibras naturales estudiadas. Sin embargo, para determinar cuál sistema presenta el mejor desempeño para embarcaciones artesanales ecuatorianas, es necesario considerar conjuntamente las propiedades mecánicas, el comportamiento frente a la humedad, la disponibilidad de la materia prima, el costo y las condiciones reales de fabricación.

De esta manera, la evaluación de las fibras de coco, cacao, plátano y paja toquilla no se limita únicamente a determinar cuál posee mejores propiedades mecánicas, sino que permite analizar su potencial como refuerzo desde una perspectiva técnica, ambiental y económica, aspectos que constituyen el enfoque principal de la presente investigación.

2.4 Disponibilidad y Nombres Comerciales en Ecuador

En los distribuidores químicos de Guayaquil, Manta o Quito, encontrarás las matrices poliméricas bajo distintas especificaciones:

Para Epóxicas: Busca resinas epóxicas de baja viscosidad para sistemas de infusión o laminado manual (marcas importadas comunes en el país como *West System*, *Resintex* o formulaciones genéricas de distribuidores locales como *Quifatex* o *Diproquim*).

Para Poliéster/Viniléster: Solicita resina Isoftálica (la ortoftálica común no se recomienda para cascos de botes por su baja resistencia al agua). Pregunta por marcas como *Norsodyne* o *Poliolite*.

2.5 Materiales Compuestos

Los materiales compuestos son aquellos formados por la combinación de dos o más materiales con el objetivo de obtener propiedades superiores a las de sus componentes individuales. Generalmente, están constituidos por una matriz (resina) y un refuerzo (fibra), donde la matriz se encarga de mantener unidas las fibras y transferir esfuerzos, mientras que el refuerzo proporciona resistencia mecánica.

En la industria naval, los materiales compuestos son ampliamente utilizados debido a sus ventajas, entre las que destacan su alta relación resistencia-peso, resistencia a la corrosión y facilidad de moldeo. Estas características los hacen ideales para la construcción de embarcaciones, especialmente en el sector artesanal.

2.6 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material compuesto fabricado a partir de filamentos de vidrio delgados y entrelazados. Está compuesta principalmente por filamentos delgados de vidrio, que son hebras largas y delgadas de material vítreo. Estos filamentos se obtienen al fundir vidrio a alta temperatura y luego estirarlo en fibras delgadas mediante un proceso llamado extrusión. (Clades Composite, 2026)

Estas fibras se entrelazan y se agrupan en hilos, que a su vez se pueden tejer o combinar con resinas sintéticas, como la resina de poliéster o la resina epoxi, para formar un material compuesto resistente y duradero. La combinación de los filamentos de vidrio con las resinas proporciona a la fibra de vidrio

sus características distintivas de resistencia, rigidez y durabilidad, haciéndola adecuada para una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias. (Clades Composite, 2026)

2.6.1 Características y propiedades de la fibra de vidrio

La fibra de vidrio tiene varias propiedades únicas que la hacen valiosa para una variedad de usos.

Estas son sus principales características:

- **Ligereza:** La fibra de vidrio es un material muy liviano, lo que facilita su manipulación y transporte. Esta propiedad la hace ideal para productos que requieren de esta peculiaridad, como tablas de surf o snowboards entre otros.
- **Resistencia mecánica y estabilidad dimensional:** La fibra de vidrio tiene una gran resistencia mecánica, incluso mayor que la del acero. Además, mantiene su forma y tamaño bajo una variedad de condiciones, lo que la hace útil en aplicaciones estructurales.
- **Aislante térmico y eléctrico:** La fibra de vidrio es un excelente aislante térmico y eléctrico. Puede soportar temperaturas de hasta 1648°C durante algo más de un minuto. Además, no conduce la electricidad, lo que la hace ideal para la industria de las telecomunicaciones.
- **Resistencia a la corrosión e impermeabilidad:** La fibra de vidrio no se corroe y es impermeable. Estas propiedades la hacen especialmente útil en proyectos náuticos, de la construcción o de la automoción.
- **Incombustibilidad:** Al ser un producto de origen mineral, la fibra de vidrio es incombustible. No propaga el fuego al entrar en contacto con una fuente de calor.
- **Resistencia química:** La fibra de vidrio tiene una amplia resistencia química. Resiste a la mayoría de los ácidos, por lo que el material no se corroe fácilmente en contacto con productos químicos.

- Económica: La fibra de vidrio es uno de los materiales más económicos del mercado. Además, tiene una larga vida útil y un bajo costo de mantenimiento.
- Versatilidad: La fibra de vidrio puede adoptar diversos formatos textiles como tubos, mallas y tejidos. Esta versatilidad la hace útil en una amplia gama de aplicaciones, desde la industria automotriz hasta la construcción.
- Respetuosa con el medio ambiente: La fibra de vidrio es reciclable y puede ser fabricada con materiales reciclados, lo que la convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente en comparación con otros materiales no renovables. (Clades Composite, 2026)

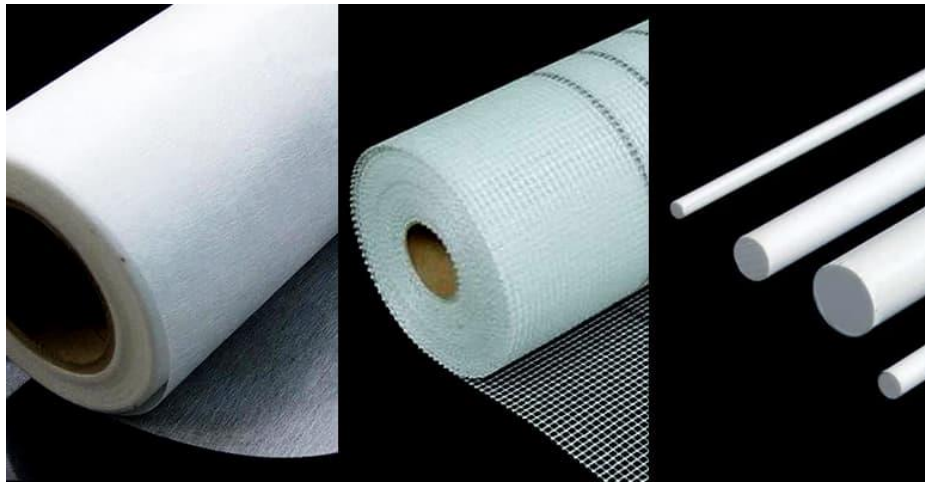


Ilustración 2 Fibra de vidrio

Fuente: Clades composite, 2026

2.7 Fibras Naturales

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

funciones de sostén de las plantas. La composición química, con alto porcentaje de celulosa, resulta poco asimilable para los microorganismos, asegurando así su durabilidad, mientras que, el elevado contenido de lignina, permite que estas fibras puedan soportar la acción mecánica a las que se someten durante los procesos de tensión que cotidianamente soportan. (CONABIO, 2020)

2.7.1 Clasificación de Fibras Naturales

- Vegetales: Compuestas principalmente de celulosa y lignina, esenciales para el sostén de las plantas.
 - Semillas: Algodón, Kapok (ligera y resistente al agua).
 - Tallos: Lino (fuerte y flexible), Cáñamo (sostenible, antibacterial), Yute, Ramio.
 - Hojas: Sisal (duradero, ideal para cuerdas), Abacá (resistente al agua de mar).
- Animales: Formadas por proteínas, derivadas de folículos pilosos o secreciones.
 - Pelo/Lana: Oveja, Alpaca, Cachemir (cabra), Mohair (conejo).
 - Secreciones: Seda (proveniente del gusano de seda).



Ilustración 3 Fibras naturales

Fuente: conabio, 2020

2.7.2 Fibra de plátano

La fibra de plátano es un material natural y biodegradable, derivado del pseudotallo, valorado como una de las fibras más fuertes y sostenibles del mundo. Compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina,

es resistente a la tracción, ligera y versátil, utilizada en la industria textil (moda, accesorios), papel y materiales de empaque, promoviendo la economía circular al reutilizar residuos agrícolas.

2.7.2.1 Características y Aplicaciones Principales

- **Alta Resistencia:** Es una fibra duradera, con una resistencia a la tracción que puede potenciarse mediante tratamientos, logrando una alta durabilidad en productos finales.
- **Origen y Uso:** Se obtiene del raquis (tallo) de la planta tras la cosecha del fruto, evitando el desperdicio.
- **Moda y Textiles:** Se utiliza para fabricar bolsos, mochilas, calzado y prendas de vestir, siendo una alternativa ecológica a los materiales sintéticos.
- **Productos Artesanales:** Se emplea en tejido de crochet y otras técnicas para productos de marroquinería y decoración.
- **Usos Industriales:** Se emplea también en la fabricación de papel, bolsitas de té y componentes para automóviles.

2.7.2.2 Sostenibilidad y Ventajas

- **Biodegradable:** Es una alternativa ecológica al poliéster y algodón convencional.
- **Proceso Ecológico:** Puede extraerse mediante procesos físicos, sin necesidad de químicos agresivos.
- **Reaprovechamiento:** Transforma los residuos de la cosecha de plátano en materia prima valiosa.

2.7.2.3. Elaboración de la fibra de plátano

Corte y selección del pseudotallo

- **Cosecha previa:** Se utilizan los tallos de la planta de plátano o banano que ya han cumplido su ciclo de producción y han sido cortados.

- Desprendimiento de capas: Se separan las vainas o capas exteriores e interiores del pseudotallo en secciones manejables, también conocidas como "canoas".

Extracción de la fibra

- Raspado y limpieza: Se emplea un cepillo metálico, un cuchillo sin filo o una máquina descascarilladora para raspar la pulpa y la humedad de la capa vegetal hasta dejar libres los filamentos longitudinales.
- Lavado: Las fibras obtenidas se lavan con abundante agua (a veces con un toque de agente blanqueador ecológico) para eliminar residuos de savia, impurezas y tierra.

Secado y acabado

- Secado al sol: Las hebras limpias se cuelgan y se dejan secar al aire libre hasta que pierden toda la humedad y adquieren un tono claro.
- Peinado e hilado: Una vez secas, las fibras se golpean levemente para retirar polvo y se peinan para alinearlas de forma paralela, quedando listas para ser tejidas a mano o convertidas en hilo industrial.



Ilustración 4 Fibra de plátano

Fuente: Inpadesa, 2016

2.7.3 Fibra de paja toquilla

La paja toquilla es una fibra natural, duradera y flexible obtenida de la planta *Carludovica palmata*, nativa de Ecuador. Es mundialmente famosa por ser la materia prima para tejer a mano los sombreros de Panamá, patrimonio inmaterial de la Unesco, así como bolsos y cestas. Su proceso artesanal incluye recolección, cocción, secado y blanqueo.



Ilustración 5 Recolección de cogollos de toquilla

Fuente: DaschaStyle, 2020

2.7.3.1 Elaboración de la fibra de paja toquilla

Recolección y Preparación de la Materia Prima

- Corte del cogollo: Se cortan los tallos o hojas cerradas de la planta antes de que se abran por completo.
- Deshoje y despicado: Se separan y rasgan las capas verdes de la hoja para extraer las fibras tiernas del interior.
- Cocción: Se hierven las fibras en agua durante unos segundos para eliminar la clorofila y ablandar el material.
- Secado y blanqueo: Se cuelgan las pajas al sol para que se sequen y adquieran un tono claro, seguido de un proceso de ahumado con azufre para blanquearlas por completo. []

Técnicas de Tejido y Acabado

- Tejido: Los artesanos inician el tejido desde el centro de la copa hacia afuera utilizando las fibras seleccionadas según su grosor.
- Lavado y planchado: Una vez finalizada la pieza, se lava para retirar impurezas y se moldea con calor usando hormas y prensas tradicionales.
- Patrimonio cultural: Este proceso de origen ecuatoriano forma parte del patrimonio cultural inmaterial reconocido por la UNESCO. (Monteccuador , s.f.)

2.7.4 Fibra de Coco

La fibra de coco es un material utilizado en cultivo hidropónico y como materia prima para la elaboración de diferentes tipos de sustratos especiales.

“Fibra de coco” es el nombre con que se denomina la fibra natural extraída de la cáscara del coco (mesocarpio).

La fibra de coco para la agricultura es un subproducto derivado del procesado de la fibra de la cáscara del coco, capa intermedia de la fruta del cocotero (*Cocos nucifera*). El fruto del cocotero se llama coco y se compone de mesocarpio y endospermo.

El mesocarpio es la parte del fruto que envuelve la semilla y es muy fibrosa. De este, mediante procesos mecánicos, se extrae sus fibras con determinadas longitudes y grosores. Las más finas y su polvo son las que se emplean en la agricultura, mientras que las más largas se destinan a otras industrias como la construcción o textil, por ejemplo.

El endospermo es en sí la semilla, que se encuentra en la parte interna del fruto. Su interior es comestible, de que se obtienen diferentes productos alimentarios: leche de coco, manteca, aceite, coco rallado, coco para consumo en fresco, aromas, etc. (AEFA, s.f.)



Ilustración 6 Fibra de Coco

Fuente: Hidroponia Ecuador, s.f.

2.7.4.1 Elaboración de la fibra de coco para agricultura.

Estos procesos son:

1. Recolección de los cocos.
2. Extracción del mesocarpio.
3. Molienda del mesocarpio.
4. Clasificación granulométrica.
5. Lavado de las fibras.
6. Compactación de las fibras.
7. Transporte.
8. Descompactación y elaboración de sustrato.
9. Aplicaciones de la fibra de coco.

2.7.4.2 Aplicaciones de la fibra de coco

- Hidroponía. En cultivos hortícolas con el uso de fibras de coco como sustrato 100% puro.
(Hidroponia Ecuador, s.f.)

- En frutales al aire libre. Utilizado en mezcla con otras materias primas como turba, arcilla, etc. Por poner algunos ejemplos, se cultivan ya especies como la frambuesa o el arándano.
- Semilleros hortícolas. Se utiliza en mezcla con turba principalmente. De fibra muy corta para el correcto llenado de las bandejas.
- Cultivo de plantas ornamentales. Como materia prima en la elaboración de sustratos para el cultivo de plantas en maceta.
- En jardinería. Para mejorar las características del terreno sobre el que se cultiva. Muy indicada para mejorar la tierra para siembra de césped.
- En bricojardinería. Se comercializa en tacos, ladrillos, pastillas, placas, etc. y se mezcla con las tierras o sustratos para mejorar sus características físicoquímicas.
- En el medio ambiente. Como componente de las hidro siembras e hidro mantas, así como en la elaboración de diferentes modelos de mantas orgánicas, mallas orgánicas de fibra de coco y redes orgánicas de coco para el control de la erosión.
- En construcción Naval. Calafateo, la fibra de coco se ha mezclado con brea o resinas para rellenar las uniones entre los tablones de madera en botes y muelles, proporcionando un sellado elástico y resistente al agua salada.

Aislamiento y Cuerdas, los cordajes de bonote son apreciados por su flotabilidad y resistencia a la putrefacción marina.

2.7.5 Fibra de Cacao

La fibra de cacao se obtiene principalmente de los subproductos generados durante el procesamiento del cacao, especialmente de la cascarilla o cáscara del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*). En Ecuador, uno de los principales productores mundiales de cacao fino de aroma, estos residuos

representan una importante fuente de biomasa con potencial para aplicaciones alimentarias, ambientales e industriales.

En Ecuador, la utilización de las fibras de cacao se presenta como una opción sostenible. Este recurso es fácilmente accesible. Incluir estas fibras en materiales compuestos puede contribuir a disminuir el impacto ambiental causado por los residuos agroindustriales. Además, puede impulsar la economía circular y añadir valor al sector agrícola.

Desde una perspectiva económica, el empleo de fibras naturales provenientes de subproductos del cacao podría reducir los costos de producción de componentes no estructurales destinados a embarcaciones artesanales. Asimismo, podría fomentar el surgimiento de nuevas cadenas productivas locales.



Ilustración 7 Fibra de Cacao

Fuente: Anzuategui & Oswaldo, 2021

2.7.5.1 Elaboración de la fibra de cacao

- Selección y limpieza: Se recolecta la cascarilla limpia resultante del tostado y descascarillado de las habas de cacao.
- Tratamiento previo: Se lava el material para eliminar impurezas adheridas durante el manejo agrícola o industrial.

- Alcalinización: Se aplica un tratamiento alcalino suave para modificar el pH, mejorar el color y suavizar el sabor amargo de la fibra.
- Secado: La cascarilla húmeda pasa por equipos de secado industrial hasta reducir drásticamente su porcentaje de humedad.
- Molienda: Se tritura y pulveriza el material seco en molinos especializados hasta alcanzar una granulometría de harina fina.
- Envasado: El polvo de fibra de cacao resultante se tamiza y se almacena en condiciones selladas y secas. (Rochina & Iván, 2021)

2.8 Materiales compuestos híbridos

Los materiales compuestos híbridos son aquellos que combinan dos o más tipos de fibras de refuerzo dentro de una misma matriz polimérica. En aplicaciones navales, la combinación de fibra de vidrio con fibras naturales permite obtener materiales con propiedades mecánicas adecuadas, reduciendo simultáneamente el impacto ambiental y los costos de fabricación.

La incorporación de fibras naturales como plátano, paja toquilla, coco o cacao puede disminuir el porcentaje de fibra de vidrio utilizado, manteniendo características aceptables de resistencia y rigidez para determinados componentes de embarcaciones artesanales. Además, estos materiales contribuyen al aprovechamiento de recursos renovables y residuos agroindustriales.

2.9 Aplicación de fibras naturales en la construcción naval

La industria naval ha comenzado a incorporar fibras naturales como alternativa parcial a los materiales sintéticos tradicionales. Diversos estudios han demostrado que fibras como el abacá, sisal, lino, cáñamo y plátano pueden usarse en paneles, cubiertas, mamparos y otros elementos secundarios de embarcaciones.

Entre las principales ventajas se incluyen:

- Reducción del peso de la embarcación.
- Menor impacto ambiental.
- Menor consumo de energía durante la fabricación.
- Aprovechamiento de recursos locales.
- Reducción de costos de producción.

Sin embargo, las fibras naturales tienen limitaciones relacionadas con la absorción de humedad y la degradación biológica. Por lo tanto, necesitan tratamientos adecuados para aplicaciones marinas.

2.10 Impacto ambiental de los compuestos híbridos

El impacto ambiental de los materiales compuestos debe analizarse considerando todo su ciclo de vida. La sustitución parcial de fibra de vidrio por fibras naturales permite disminuir el consumo de recursos no renovables y reducir las emisiones asociadas a la fabricación.

Entre los principales beneficios ambientales se encuentran:

- Disminución de residuos agrícolas.
- Reducción de la huella de carbono.
- Menor consumo energético.
- Mayor biodegradabilidad de algunos componentes.
- Promoción de la economía circular.

2.11 Impacto económico de la utilización de fibras naturales

Desde el punto de vista económico, el empleo de fibras naturales puede representar una reducción significativa en los costos de materia prima debido a su disponibilidad local.

Los beneficios económicos incluyen:

- Menores costos de adquisición.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas.

- Generación de nuevas fuentes de ingresos para productores.
- Disminución de costos de transporte.
- Desarrollo de cadenas productivas locales.

Sin embargo, también deben considerarse costos asociados al procesamiento, tratamiento y acondicionamiento de las fibras para uso industrial.

2.12 Normativas y sostenibilidad en la construcción de embarcaciones

La tendencia mundial hacia la sostenibilidad ha impulsado el desarrollo de materiales más amigables con el medio ambiente. Organizaciones como la International Maritime Organization promueven prácticas orientadas a reducir el impacto ambiental de las actividades marítimas.

La incorporación de fibras naturales en materiales compuestos se alinea con los principios de desarrollo sostenible, economía circular y reducción de emisiones, constituyendo una alternativa viable para futuras aplicaciones en embarcaciones artesanales.

2.13 Características mecánicas de las fibras naturales

Fibra de Coco (Estopa/Bonote)

- Resistencia a la tracción: 130 – 302 MPa.
- Módulo de elasticidad: 3.0 – 5.8 GPa.
- Elongación a la rotura: 15% – 28%.
- Propiedad distintiva: Es la fibra vegetal con mayor contenido de lignina (hasta 41–45%), lo que le otorga una alta durabilidad y resistencia a la degradación microbiana en ambientes húmedos o salinos.

Fibra de Plátano (Pseudotallo)

- Resistencia a la tracción: 500 – 750 MPa.
- Módulo de elasticidad: 15 – 30 GPa.

- Elongación a la rotura: 3% – 10%.
- Propiedad distintiva: Posee una de las resistencias mecánicas más elevadas entre las fibras de frutos, destacando por su rigidez y excelente desempeño estructural cuando se combina como refuerzo en polímeros y resinas.

Paja Toquilla (*Carludovica palmata*)

- Resistencia a la tracción: Moderada a alta en filamentos delgados seleccionados, con gran tenacidad longitudinal.
- Módulo de elasticidad: Bajo a moderado, priorizando la flexibilidad sobre la rigidez estricta.
- Elongación a la rotura: Alta capacidad de deformación elástica.
- Propiedad distintiva: Al ser tejida o incorporada en densidades controladas (por ejemplo, en un 0.2% en masa para morteros u hormigón), mejora la resistencia a la flexión y al control de fisuras por retracción.

Fibra / Cascarilla de Cacao

- Resistencia a la tracción: Baja como filamento individual continuo; se comporta principalmente como carga particulada o fibra corta.
- Módulo de elasticidad: Limitado en tensión directa.
- Elongación a la rotura: Baja ductilidad individual.
- Propiedad distintiva: Su uso mecánico principal se da en materiales compuestos (biocompuestos o tableros), donde la adición de partículas de cáscara de cacao tostada incrementa de manera notable la resistencia máxima a la compresión y la estabilidad dimensional.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se recopilaron, organizaron y analizaron datos numéricos relacionados con las propiedades de las fibras naturales, los materiales utilizados en la fabricación de una embarcación artesanal, los costos de los materiales y los aspectos relacionados con su impacto ambiental.

El estudio se orientó al análisis de cuatro fibras naturales de origen vegetal: fibra de coco, fibra de cacao, fibra de plátano y paja toquilla, considerando su posible utilización como refuerzo parcial en materiales compuestos de fibra de vidrio empleados en embarcaciones artesanales.

El enfoque cuantitativo permitió establecer comparaciones mediante valores numéricos relacionados con propiedades mecánicas, densidad, absorción de humedad, costos y otros parámetros obtenidos de fuentes bibliográficas. De esta manera, se buscó determinar cuál de las fibras estudiadas presenta mejores condiciones para su incorporación en materiales compuestos destinados a aplicaciones navales.

Asimismo, la investigación posee un componente cualitativo de carácter descriptivo, debido a que se analizaron las características, ventajas, limitaciones y comportamiento esperado de cada fibra en función de la información científica disponible.

3.2 Tipo de investigación

La investigación corresponde a un estudio documental, descriptivo, comparativo y aplicado.

3.2.1 Investigación documental

Se empleó la investigación documental debido a que la información principal fue obtenida mediante la revisión de artículos científicos, tesis, libros, documentos técnicos, publicaciones especializadas y fuentes relacionadas con materiales compuestos, fibras naturales y construcción naval.

La revisión documental permitió obtener información sobre las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de coco, cacao, plátano y paja toquilla, así como información relacionada con matrices poliméricas, fibra de vidrio, resinas y comportamiento de materiales compuestos.

3.2.2 Investigación descriptiva

La investigación es descriptiva porque se caracterizaron las cuatro fibras naturales seleccionadas, considerando sus principales propiedades y características relevantes para su posible utilización como refuerzo.

Se describieron aspectos como:

- Composición lignocelulósica.
- Densidad.
- Resistencia mecánica.
- Módulo de elasticidad.
- Absorción de humedad.
- Disponibilidad.
- Ventajas y limitaciones.
- Posibilidades de aplicación en materiales compuestos.

3.2.3 Investigación comparativa

El estudio fue comparativo debido a que se establecieron diferencias y semejanzas entre las fibras de coco, cacao, plátano y paja toquilla.

La comparación se realizó considerando tres grupos principales de criterios:

1. Criterios técnicos: propiedades físicas y mecánicas y compatibilidad con la matriz polimérica.
2. Criterios económicos: disponibilidad y costo estimado de los materiales.

3. Criterios ambientales: origen renovable, aprovechamiento de residuos agrícolas y potencial de reducción del uso de materiales convencionales.

3.2.4 Investigación aplicada

La investigación es aplicada porque la información obtenida se orientó hacia una posible aplicación práctica en la fabricación de embarcaciones artesanales mediante el reemplazo parcial de una fracción del refuerzo convencional de fibra de vidrio por fibras naturales.

El propósito fue evaluar el potencial de estas fibras como una alternativa que permita mantener condiciones adecuadas de desempeño y, al mismo tiempo, contribuir a disminuir determinados impactos económicos y ambientales asociados con el uso exclusivo de materiales convencionales.

3.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, debido a que no se manipularon experimentalmente las variables ni se realizaron ensayos de laboratorio para modificar las condiciones de las fibras.

Los datos utilizados fueron obtenidos principalmente de fuentes secundarias y posteriormente organizados y comparados mediante cálculos y análisis.

El estudio presentó además un diseño transversal, debido a que la información recopilada fue analizada para establecer una comparación entre las cuatro fibras dentro del período de desarrollo de la investigación.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población de estudio estuvo constituida por las diferentes fibras naturales de origen vegetal que pueden utilizarse como refuerzo en materiales compuestos destinados a aplicaciones industriales y navales.

Dentro de esta población se encuentran fibras como coco, plátano, cacao, paja toquilla.

3.4.2 Muestra

La muestra fue de tipo intencional o no probabilística, debido a que se seleccionaron específicamente cuatro fibras naturales consideradas de interés para el contexto ecuatoriano:

- Fibra de coco.
- Fibra de cacao.
- Fibra de plátano.
- Paja toquilla.

La selección se fundamentó en su disponibilidad en el país, origen vegetal, potencial de aprovechamiento de residuos o subproductos agrícolas y posibilidades de utilización como refuerzo en materiales compuestos.

3.5 Variables de investigación

Para el desarrollo de la investigación se consideraron variables relacionadas con el comportamiento técnico, económico y ambiental de las fibras naturales.

Variable independiente

Tipo de fibra natural utilizada como refuerzo.

Se consideraron cuatro alternativas:

- Coco.
- Cacao.
- Plátano.
- Paja toquilla.

Variables dependientes

Las variables dependientes estuvieron relacionadas con el desempeño esperado del material compuesto:

- Propiedades mecánicas.
- Absorción de humedad.
- Compatibilidad con la matriz polimérica.
- Costo del material.
- Disponibilidad.
- Potencial ambiental.

3.6 Técnicas e instrumentos para la recopilación de información

Para obtener la información necesaria se utilizaron las siguientes técnicas:

3.6.1 Revisión bibliográfica

Se realizó una búsqueda y revisión de información científica relacionada con:

- Fibras naturales.
- Materiales compuestos.
- Fibra de vidrio.
- Resinas termoestables.
- Aplicaciones navales.
- Propiedades mecánicas de fibras vegetales.
- Absorción de humedad.
- Impacto ambiental.
- Costos de materiales.

Se priorizaron artículos científicos, trabajos académicos y documentos técnicos que presentaran información cuantitativa sobre las fibras estudiadas.

3.6.2 Análisis documental

La información recopilada fue clasificada de acuerdo con el tipo de fibra y el parámetro estudiado.

Los datos fueron organizados en tablas comparativas para facilitar su posterior análisis.

3.6.3 Recopilación de precios

Para el análisis económico se recopilaron precios de referencia de los materiales utilizados en el laminado, considerando principalmente fibra de vidrio, resina, catalizador y fibras naturales.

Cuando fue posible, se utilizaron precios correspondientes al mercado ecuatoriano. En aquellos casos en los que no existió información comercial suficiente, se utilizaron valores de referencia provenientes de fuentes secundarias, indicando su procedencia.

3.7 Análisis de las matrices poliméricas

Se analizaron tres tipos de matrices termoestables utilizadas en materiales compuestos:

- Resina poliéster.
- Resina viniléster.
- Resina epóxica.

La comparación se realizó considerando:

- Costo.
- Facilidad de procesamiento.
- Adhesión con fibras naturales.
- Resistencia mecánica.
- Resistencia a la humedad.
- Comportamiento en ambientes marinos.

- Disponibilidad.

La finalidad de esta etapa fue determinar qué tipo de matriz presenta características más favorables para la incorporación de las cuatro fibras naturales estudiadas.

3.8 Caracterización de la embarcación de referencia

Para evaluar la posible aplicación de las fibras naturales en una embarcación artesanal, se tomó como referencia una embarcación destinada a actividades de pesca.

Las principales dimensiones consideradas fueron:

- Eslora.
- Manga.
- Puntal o profundidad.

Estas dimensiones permitieron establecer una aproximación del área del casco necesaria para realizar los cálculos de materiales.

El área del casco se determinó mediante una aproximación geométrica considerando las dimensiones principales de la embarcación y un factor de forma apropiado para representar la geometría real del casco.

La expresión utilizada fue:

$$A_r = L \times (B \times 2D) \times C_f$$

Donde:

A= área aproximada del casco.

Cf= factor de forma.

A_r= área de referencia calculada a partir de las dimensiones principales de la embarcación.

El factor de forma se consideró como un parámetro de aproximación y su utilización se justificó de acuerdo con la geometría de la embarcación y la información bibliográfica disponible. (Pesquera, 2017)

3.9 Determinación de la cantidad de fibra de vidrio

Una vez determinada el área aproximada del casco, se calculó la cantidad de fibra de vidrio necesaria para el laminado.

La cantidad total se determinó considerando el gramaje del material y el número de capas especificadas para el laminado.

La cantidad de fibra requerida se calculó mediante:

$$A = (Ar \times N) \times G$$

Donde:

A = área del casco.

G = gramaje del material

N = número de capas.

El resultado obtenido permitió establecer una referencia de la cantidad de fibra de vidrio necesaria para fabricar el laminado convencional.

3.10 Consideración de pérdidas de material

Para aproximar las condiciones reales de fabricación se consideró un porcentaje adicional de material destinado a pérdidas durante el proceso de laminación.

Este porcentaje contempla pérdidas ocasionadas por:

- Manipulación.
- Recortes.
- Impregnación.
- Material sobrante.
- Preparación de la mezcla.
- Aplicación sobre el molde.

La cantidad final se calculó mediante:

$$CT = A \times Pm$$

Donde:

Mf = cantidad total requerida de masa de fibra

A = cantidad teórica calculada.

Pm = porcentaje adicional expresado en forma decimal.

Para el análisis económico se utilizó el porcentaje de pérdida establecido en el estudio y se aplicó de manera uniforme a los materiales correspondientes.

3.11 Determinación de la cantidad de resina

La cantidad de resina se determinó a partir de la relación fibra-resina correspondiente al sistema de laminación seleccionado.

- 1 capa de mat de 450 g/m²: aproximadamente 600-700 g de resina por m² (Industrias MACAR s.a.s, s.f.)
- Se utilizó 1.13 kg de resina por m²

De manera general:

$$Mr = Dr \times A$$

Donde:

Mr = masa de resina.

A = área de casco en m²

Dr = densidad relativa

La relación utilizada debe corresponder al sistema de laminación y al tipo de fibra empleados.

Para la fabricación real de un laminado, la cantidad obtenida debe considerarse como una estimación, debido a que pueden existir pérdidas durante la impregnación, manipulación y aplicación de la resina.

3.12 Determinación del catalizador

En el caso de utilizar una resina poliéster que requiera catalizador, la cantidad se calculó de acuerdo con el porcentaje establecido por el fabricante.

La expresión utilizada fue:

$$Mc = Mr \times Pc$$

Donde:

Mc = masa de catalizador.

Mr = masa de resina.

Pc = porcentaje de catalizador.

El porcentaje de catalizador debe corresponder a las recomendaciones técnicas del producto utilizado y a las condiciones ambientales del proceso de curado.

Proporciones estándar:

- 1.5% a 2%: Condiciones normales (20-25°C)
- 1%: Temperaturas altas (más de 28°C)
- 2.5%: Temperaturas bajas (menos de 18°C)

Nunca exceda el 3% de catalizador, ya que puede generar curado exotérmico excesivo, fisuras y fragilidad. Nunca use menos de 1%, pues el curado será incompleto. (Industrias MACAR s.a.s, s.f.)

Se considero un porcentaje en condiciones normales de 1.5 %.

3.13 Propuesta de incorporación de fibras naturales

A partir de la información recopilada se planteó la posibilidad de utilizar las fibras de coco, cacao, plátano y paja toquilla como refuerzo parcial del material compuesto convencional.

La incorporación se analizó desde una perspectiva comparativa, evitando asumir que la fibra natural puede sustituir directamente y en la misma proporción a la fibra de vidrio.

La cantidad de fibra natural debe definirse considerando la fracción de refuerzo propuesta, las propiedades de la fibra y la capacidad de impregnación de la matriz.

Para efectos del análisis, se comparó el sistema convencional con una alternativa que incorpora fibras naturales, considerando sus respectivos requerimientos de material.

3.14 Análisis económico

El análisis económico tuvo como finalidad comparar el costo estimado del sistema convencional de fibra de vidrio con una alternativa que incorpore fibras naturales.

El costo total de materiales se determinó mediante:

$$CT = Q_{mat} + P_{unit}$$

Donde:

CT = costo total.

Q_{mat} = cantidad requerida del material.

P_{unit} = precio unitario del material.

Se consideraron principalmente:

- Fibra de vidrio.
- Resina.
- Catalizador.
- Fibra natural.

Posteriormente se calculó la diferencia económica entre ambas alternativas:

Este procedimiento permitió determinar si la incorporación de fibras naturales representa un potencial ahorro o incremento del costo respecto al sistema convencional.

3.15 Evaluación ambiental

La evaluación ambiental se desarrolló mediante un análisis comparativo basado principalmente en información secundaria.

Se consideraron aspectos relacionados con:

- Origen renovable de las fibras.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas.
- Biodegradabilidad de las fibras naturales.
- Necesidad de procesamiento.
- Sustitución parcial de materiales convencionales.
- Potencial reducción del uso de fibra de vidrio.
- Generación y aprovechamiento de residuos.

Las fibras naturales fueron consideradas desde una perspectiva de aprovechamiento de recursos renovables y valorización de subproductos agrícolas.

No se consideró que la utilización de una fibra natural sea automáticamente sinónimo de menor impacto ambiental, debido a que su impacto también depende de factores como cultivo, transporte, extracción, secado, tratamiento superficial, procesamiento y disposición final.

Por esta razón, los resultados ambientales se interpretaron como una evaluación comparativa del potencial ambiental y no como un inventario de ciclo de vida completo cuando no se dispuso de información suficiente para realizarlo.

3.16 Procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos de las diferentes fuentes fueron organizados en tablas y hojas de cálculo para facilitar su procesamiento.

Se realizaron:

- Tablas comparativas.
- Cálculos de cantidades de materiales.
- Cálculos de costos.
- Cálculos porcentuales.
- Comparaciones entre alternativas.

Los resultados fueron representados mediante tablas y gráficos cuando estos permitieron facilitar la interpretación de las diferencias existentes entre las fibras estudiadas.

3.17 Consideraciones metodológicas

Debido a que la investigación se desarrolló principalmente mediante información secundaria, los resultados dependen de la calidad y condiciones de los estudios utilizados como fuente.

Las propiedades de las fibras naturales pueden presentar variaciones debido a factores como:

- Especie o variedad vegetal.
- Lugar de procedencia.
- Edad de la planta.
- Método de extracción.
- Tratamiento superficial.
- Contenido de humedad.
- Orientación de las fibras.
- Método de ensayo.

- Condiciones de fabricación del compuesto.

Por este motivo, los resultados obtenidos se interpretaron como valores de referencia para evaluar el potencial de las fibras naturales y no como valores universales aplicables a cualquier condición de fabricación.

Asimismo, el análisis económico corresponde a los precios y condiciones consideradas durante el desarrollo del estudio, por lo que pueden presentarse variaciones debido a cambios en el mercado, disponibilidad y proveedores.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Aplicación de fibras naturales como refuerzo en compuestos de fibra de vidrio.

4.1.1 Fibra de plátano

4.1.1.1 Disponibilidad de materia prima

- Abundancia Local: Ecuador es uno de los mayores exportadores de banano a nivel mundial. El pseudotallo de la planta, de donde se extrae la fibra, se genera masivamente como un residuo agrícola postcosecha.
- Procesamiento: La fibra se comercializa localmente en diferentes presentaciones (en bruto, por kilo o procesada en hilos/mallas básicas). Empresas locales y centros artesanales o agroindustriales (principalmente en provincias costeñas como Guayas, El Oro y Los Ríos) gestionan su distribución.
- Comercialización Industrial: Para un volumen constante destinado a astilleros o talleres, existen proveedores agroindustriales como Inpadesa dedicados a la clasificación técnica de esta fibra vegetal.

4.1.1.2 Compatibilidad con resinas

- Afinidad Química: La fibra de plátano cruda tiene una superficie rica en celulosa que interactúa de forma aceptable con matrices poliméricas. Sin embargo, al ser una fibra hidrofílica (absorbe agua) y las resinas comerciales ser hidrofóbicas (repelen el agua), la adherencia inicial puede ser mecánicamente deficiente si no se trata adecuadamente.
- Sistemas Recomendados:
 - Resina Epóxica: Es la mejor opción para el sector naval. Ofrece una adherencia superior a la celulosa natural, contrae menos al curar y proporciona una barrera impermeable más sólida en comparación con el poliéster. (Pinos, 2018)

- Resina de Poliéster / Viniléster: Son más económicas y accesibles en plataformas locales como Mercado Libre Ecuador, pero requieren un control estricto del laminado para evitar fallas por delaminación.
- Tratamiento Crítico (Lavado Alcalino): Para que sea 100% compatible con la resina en un entorno de alta exigencia como el naval, la fibra debe recibir un tratamiento de mercerizado (baño en una solución de hidróxido de sodio - NaOH al 5%). Esto elimina la lignina residual, limpia las impurezas, genera rugosidad en la fibra y multiplica su fuerza de agarre con la resina.

4.1.1.3 Absorción de humedad

- El Mayor Desafío Naval: Al ser una estructura de origen vegetal, la fibra de plátano tiene una alta afinidad por el agua (propiedad higroscópica). Si el compuesto híbrido entra en contacto directo con la humedad marina, la fibra se hinchará, provocando microfisuras, pudrición y la pérdida total de rigidez estructural del casco.
- Estrategia de mitigación (hibridación): La fibra de plátano no debe quedar nunca al aire libre en la industria naval. Se emplea una configuración híbrida o "sándwich":

Capa exterior (barrera): Fibra de vidrio impregnada con resina epóxica y una capa densa de gelcoat náutico para evitar totalmente que el agua pase.

Núcleo (Fortalecimiento): Para proporcionar ligereza, atenuar las vibraciones y disminuir el costo de emplear capas de vidrio más gruesas, la fibra de plátano se encierra dentro de la estructura.

4.1.2 Fibra de paja toquilla

4.1.2.1 Disponibilidad de materia prima

- Abundante en Ecuador: La planta (*Carludovica palmata*) crece de forma silvestre y cultivada en la Costa y Amazonía (Manabí, Santa Elena, Morona Santiago).

- Enfoque artesanal: No existe una industria local que procese la paja toquilla en forma de fieltros (mat) o tejidos industriales listos para laminación.
- Costo por mano de obra: Adquirirla en grandes volúmenes requiere comprarla cruda y procesarla manualmente, lo que eleva los costos en comparación con la fibra de vidrio importada.

4.1.2.2 Compatibilidad con resinas

- Buena adhesión física: Su estructura porosa y rugosa permite que las resinas epoxi, poliéster y viniléster se adhieran bien a la superficie de la fibra.
- Tratamiento obligatorio: Al ser una fibra natural, contiene ceras y ligamentos naturales. Requiere un lavado químico previo (generalmente con una solución de hidróxido de sodio) para que la resina penetre correctamente.
- Resina recomendada: La resina epoxi es la única viable, ya que tiene mejor capacidad de humectación y sellado que el poliéster.

4.1.2.3 Absorción de humedad

- Alta hidrofiliadad (Punto crítico): La paja toquilla es altamente hidrófila (absorbe agua con facilidad debido a su celulosa).
- Riesgo de delaminación: Si el agua penetra el laminado por un golpe o fisura, la fibra se hincha, rompe el enlace con la resina y destruye la estructura desde adentro.

4.1.3 Fibra de coco

4.1.3.1 Disponibilidad de materia prima

- Fibra de Coco Industrializada: Aunque la gran mayoría de la fibra de coco en Ecuador se comercializa procesada en forma de sustrato agrícola en polvo o chips, la fibra en hilos largos o mantas continuas para uso técnico/industrial es producida por textileras locales y

empresas de control de erosión. Un ejemplo de proveedor local de geomantos y mantas de fibra de coco es Inpadesa.

- Tratamiento Recomendado: Se adquiere la fibra en bruto de zonas costeras (Esmeraldas o Manabí), es indispensable lavarla bien para retirar restos de sal, secarla completamente y, idealmente, aplicarle un tratamiento de mercerizado (lavado con hidróxido de sodio diluido) para maximizar el agarre de la resina.

4.1.3.2 Compatibilidad con resinas

Adherencia y Flexibilidad: Al igual que la de plátano, se adhiere bien a las matrices poliméricas (como la resina epoxi). Destaca por su alta capacidad de elongación y absorción de impactos. Esto ayuda a que el casco soporte mejor las colisiones o el golpeteo de las olas.

4.1.3.3 Absorción de humedad

La fibra de coco contiene altos niveles de lignina, un polímero natural que la hace excepcionalmente resistente a la humedad, al agua salada y a la degradación biológica (pudrición) en comparación con casi cualquier otra fibra natural.

4.1.4 Fibra de cacao

4.1.4.1 Disponibilidad de materia prima

- Abundancia Masiva: Ecuador es uno de los mayores productores mundiales de cacao. La cascarilla y la mazorca son subproductos agrícolas abundantes generados continuamente por las industrias chocolateras y los centros de acopio en las provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y Esmeraldas.
- Ausencia de Presentación Industrial Textil: A diferencia del coco o el plátano, no existe una producción comercial de mantas, hilos o tejidos continuos de fibra de cacao orientados a la industria de la construcción o laminación.

- Formato de Suministro: Se encuentra exclusivamente en bruto (desecho agrícola) o procesada como polvo/partículas finas mediante molienda para la industria alimentaria o de biocompost. Su adquisición requiere que tú mismo recolectes, laves, muelas y tamices la cáscara para el proyecto.

4.1.4.2 Compatibilidad con resinas

- Naturaleza de Carga (No como Refuerzo Estructural): Al no disponer de fibras largas o hiladas, la fibra de cacao molida no funciona como un refuerzo que absorba tensiones de tracción o flexión en el casco de un bote. Actúa estrictamente como una carga de relleno (filler). (Vergel Berrio, 2022)
- Adherencia con Epoxi y Poliéster: Las partículas mecánicas de la cascarilla se mezclan bien con resinas epóxicas y poliéster. Incrementan ligeramente la resistencia a la compresión del material compactado, pero reducen drásticamente la resistencia al impacto y a la flexión del laminado global si reemplazan a la fibra de vidrio. (Vergel Berrio, 2022)
- Tratamiento Químico Indispensable: Para que la resina se adhiera adecuadamente a las partículas y no se despegue bajo esfuerzo estructural, la cascarilla molida debe pasar por un proceso de alcalinización (lavado con hidróxido de sodio) para remover grasas naturales, azúcares y pectinas remanentes del fruto. (García & Ángel, s.f.)

4.1.4.3 Absorción de humedad

- La fibra de cacao es altamente porosa y tiene una capacidad de retención de agua extremadamente elevada (absorbe mucha más humedad que la fibra de coco). (Beatriz, 2022; Beatriz, 2022; Beatriz, 2022)
- Si hay una microfisura en la capa exterior de fibra de vidrio de la embarcación, el agua penetrará en la mezcla de resina y cacao. Debido a su composición orgánica rica en

carbohidratos, la humedad provocará una rápida degradación microbiana, pudrición, hongos y delaminación del casco en el mediano plazo.

- La absorción de agua hace que las partículas de cacao se hinchen dentro de la matriz polimérica, generando microfisuras internas que destruyen la integridad estructural del compuesto bajo el agua.

4.2 Análisis del impacto ambiental de la aplicación de fibras naturales en compuestos de fibra de vidrio

La utilización de fibras naturales como materiales de refuerzo en compuestos híbridos representa una alternativa sostenible frente al empleo exclusivo de fibra de vidrio en la construcción de embarcaciones artesanales. Desde el punto de vista ambiental, el uso de fibras de origen vegetal contribuye al aprovechamiento de residuos agrícolas, disminuye la dependencia de materiales sintéticos y favorece la reducción de emisiones asociadas a los procesos industriales.

En Ecuador, cultivos como el plátano, el coco, el cacao y la paja toquilla generan importantes cantidades de biomasa residual que, en muchos casos, es desechada o quemada, provocando emisiones de gases de efecto invernadero y problemas de contaminación. El aprovechamiento de estos residuos como materia prima para materiales compuestos representa una estrategia de economía circular, ya que transforma un desecho en un recurso con valor agregado.

Por el contrario, la fabricación de fibra de vidrio requiere procesos industriales de alta temperatura, con un elevado consumo energético y emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Aunque la fibra de vidrio ofrece excelentes propiedades mecánicas, su producción depende de recursos minerales no renovables y presenta mayores dificultades para su reciclaje y disposición final.

Por estas razones, la incorporación parcial de fibras naturales en materiales compuestos híbridos constituye una alternativa que puede reducir el impacto ambiental sin comprometer completamente las propiedades técnicas requeridas para determinadas aplicaciones en embarcaciones artesanales.

4.2.1 Indicadores ambientales

1. Fibra de Plátano (Pseudotallo)

- Biodegradabilidad: Excelente en su estado natural debido a su altísimo contenido de celulosa. En el compuesto híbrido, disminuye la masa de polímero no degradable, aunque el tratamiento químico previo (alcalinización) puede ralentizar ligeramente la descomposición de la fracción orgánica en el fin de vida. (earthtechec, s.f.)
- Huella de carbono: Es una de las más bajas. El cultivo del banano ya ha capturado enormes volúmenes de CO₂. Cuando se emplea el pseudotallo (que por lo general se deja descomponer en el campo, liberando gases), el carbono que contiene queda atrapado de manera sólida en el material compuesto. (earthtechec, s.f.)
- Consumo de energía: Muy poco en la extracción. Sobre todo, el proceso consiste en raspar manualmente o con desfibradoras mecánicas de baja potencia y secar al sol. (ANUPRERNA, s.f.)
- Utilización de desechos agrícolas: Los pseudotallos (troncos) son un subproducto natural que tradicionalmente se desechaba tras la cosecha. Su uso como fibra convierte un desecho en un recurso económico, reduciendo el volumen total de residuos. (eartechec, 2025)
- Producción de desechos: Se produce una gran cantidad de savia líquida y pulpa orgánica durante la extracción. Si no se administran, pueden fermentar; no obstante, son totalmente compostables y sirven como biofertilizantes para el suelo agrícola. (eartechec, 2025)
- Toxicidad en el agua: Es casi nula. La fibra de plátano, a diferencia de los materiales sintéticos que emiten microplásticos, no es tóxica y su proceso no necesita pesticidas, tintes sintéticos pesados o herbicidas que son frecuentes en la agricultura tradicional.

2. Fibra de Coco

- Biodegradabilidad: Contiene un porcentaje de lignina muy elevado (más del 40%), lo que la hace la fibra natural más resistente a la degradación biológica y al ataque de microorganismos, prolongando la vida útil del compuesto antes de su disposición final. (Bioespacio , 2023)
- Huella de carbono: Al ser una estructura densa y leñosa, retiene el carbono fijado por la planta de manera muy estable, reduciendo el impacto global del ciclo de vida del panel o pieza fabricada. (Drake, s.f.)
- Consumo energético: Su procesamiento demanda aproximadamente un 25% menos de energía que la producción de sustratos sintéticos como la lana de roca. El secado es 100% solar.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas: Muy alto. La estopa de coco es el principal desecho de las industrias de agua y aceite de coco. Su recolección evita que se acumule en vertederos donde tarda años en degradarse. (Pelemix, s.f.)
- Generación de residuos: El proceso de desfibrado genera "polvo de coco" o turba. Este residuo no es contaminante; se comercializa masivamente en la agricultura como sustrato para retención de agua, logrando un proceso de residuo cero (*zero waste*). (Secretaria de medio ambiente , 2016)
- Toxicidad acuática: Baja en la extracción, pero moderada en el tratamiento del compuesto.

3. Fibra de Cacao

- Biodegradabilidad: La mazorca de cacao y su cáscara se degradan con rapidez. Cuando se tritura para funcionar como refuerzo particulado o carga hidrofóbica, su vulnerabilidad a la degradación biológica superficial aumenta si se encuentra expuesta a las inclemencias del tiempo. (Quilumba, 2025)

- Huella de carbono: Negativa en la etapa agrícola (captura neta de carbono). La descentralización de los centros de acopio de cacao hace que su transporte interno en Ecuador tenga un impacto mínimo. (SCIELO, 2024)
- Consumo de energía: La conversión de esta biomasa residual en energía (biocombustibles, bioaceite o biometano) a través de biorrefinerías catalíticas requiere un consumo de energía durante su procesamiento, pero este es compensado por la generación de energía limpia que sustituye a los combustibles fósiles. (UCUENCA, s.f.)
- Utilización de desechos agrícolas: Fundamental para el sector. Las mazorcas vacías constituyen el 80% del peso total de la fruta fresca. Su empleo en la industria purifica las plantaciones. (Jose Villarorel, 2025)
- Producción de desechos: La recolección de estos subproductos en los campos agrícolas, a lo largo de la historia, generaba zonas contaminadas y atraía plagas. La producción de biopolímeros y fibras industriales reduce significativamente la creación de desechos sólidos inorgánicos que provienen de los polímeros sintéticos. (Revista Multidisciplinar , s.f.)
- Toxicidad en el agua: A diferencia de los plásticos tradicionales y sus microplásticos residuales, los bioplásticos o materiales fabricados a partir de fibra de cacao no liberan químicos tóxicos al degradarse en el agua. Al contrario, se investiga su uso como carbón activado para la remediación y limpieza de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburos. (Ciencia y Tecnología UJAT, 2025)

4. Fibra de Paja Toquilla (*Carludovica palmata*)

- Biodegradabilidad: Es una fibra fina con un excelente equilibrio entre celulosa y lignina. En el compuesto híbrido, aporta una degradación limpia de la porción vegetal una vez que la matriz de resina se rompe o tritura al final de su ciclo de vida. (Bastcorp, 2025)

- Huella de carbono: Es un cultivo de parcelas asociadas o forestal que no necesita que se deforeste. En las zonas costeras y amazónicas de Ecuador, donde se emplea un procesamiento artesanal o semindustrial, su huella de transporte es muy reducida. (Lucín Borbor, s.f.)
- Consumo energético: El proceso tradicional incluye el cocinado de los cogollos en agua hirviendo (frecuentemente usando leña o gas local) y el posterior sahumado con azufre. Requiere un aporte energético térmico, pero un consumo eléctrico casi nulo. (Lucín Borbor, s.f.)
- Aprovechamiento de residuos agrícolas: La fibra se extrae del cogollo de la planta, y el material restante (hojas maduras y tallos) se utiliza para elaborar otros artículos como canastos, muebles y techos biodegradables. (TopTriper, s.f.)
- Generación de residuos: El descarte de las hebras más cortas o defectuosas es el residuo principal. Este desecho es limpio, no contiene agroquímicos pesados y es ideal para el compostaje inmediato sin tratamientos previos. (Ciudad Cultural, 2024)
- Toxicidad acuática: Es el punto más crítico. El teñido clásico de fibra utiliza fijadores químicos y tintes sintéticos. Si estas aguas residuales se vierten sin ser tratadas en los ríos próximos, pueden provocar toxicidad y permanencia en el ecosistema. (Nelly Chabla, 2019)

4.2.2 Análisis de los indicadores ambientales

Los resultados evidencian que las fibras naturales presentan un comportamiento ambiental más favorable que la fibra de vidrio. Su adquisición, al ser de origen renovable, necesita un consumo energético más bajo y produce menos emisiones de gases de efecto invernadero.

La fibra de plátano es notable por su disponibilidad en Ecuador y porque se extrae del pseudotallo de la planta, un residuo agrícola que generalmente no se usa a nivel industrial. Su uso ayuda a disminuir la acumulación de desechos y crea nuevas posibilidades de valorización para el sector agrícola.

Como su cultivo es parte del patrimonio productivo nacional y su procesamiento tiene un impacto

ambiental relativamente bajo en comparación con los materiales sintéticos, la paja toquilla también se considera una opción sostenible.

En el caso particular de la fibra de coco, su uso evita que se acumulen cáscaras, las cuales son desechadas con frecuencia a través de la quema o el entierro en vertederos. Asimismo, esta fibra tiene una buena resistencia a los entornos húmedos, lo cual es ventajoso para su uso marino.

La fibra de cacao constituye una opción interesante desde la perspectiva de la economía circular, ya que permite reutilizar residuos provenientes de la industria cacaotera. Aunque sus propiedades mecánicas son inferiores a las de otras fibras naturales, su incorporación en elementos no estructurales puede contribuir a disminuir la generación de residuos agroindustriales.

Por otra parte, la fibra de vidrio continúa siendo el material con mayor impacto ambiental debido al elevado consumo energético requerido durante su fabricación y a la limitada biodegradabilidad del producto al finalizar su vida útil.

4.2.3 Contribución de las fibras naturales a la sostenibilidad

La incorporación de fibras naturales en materiales compuestos híbridos favorece el cumplimiento de principios de sostenibilidad al reducir el consumo de recursos no renovables y promover el uso eficiente de materias primas disponibles localmente.

Entre los principales beneficios ambientales identificados destacan:

- Reducción del consumo de fibra de vidrio en los procesos de fabricación.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas generados por las actividades productivas.
- Disminución de emisiones asociadas a la producción de materiales sintéticos.
- Menor consumo energético durante la obtención de la materia prima.
- Impulso de estrategias de economía circular mediante la valorización de subproductos agrícolas.

- Promoción del uso de materiales renovables en la construcción de embarcaciones artesanales.

Estas ventajas convierten a las fibras naturales en una alternativa con potencial para mejorar el desempeño ambiental de los materiales compuestos utilizados en el sector naval.

4.2.4 Discusión de resultados

El análisis realizado demuestra que la incorporación parcial de fibras naturales en materiales compuestos ofrece beneficios ambientales significativos en comparación con el uso exclusivo de fibra de vidrio. Si bien esta última mantiene ventajas desde el punto de vista estructural, las fibras vegetales permiten disminuir el impacto asociado a la extracción de materias primas no renovables, al consumo de energía y a la generación de residuos.

La fibra de plátano, entre las que se han evaluado, tiene el potencial ambiental más alto porque en Ecuador es muy accesible y porque pueden usarse los residuos agrícolas generados por la producción de bananos. La paja toquilla es una opción sostenible debido a que es renovable y tiene un rol importante en la producción artesanal de Ecuador. La fibra de cacao y la fibra de coco, por su parte, ayudan a utilizar subproductos agroindustriales.

En general, los resultados apoyan la factibilidad ambiental de usar compuestos híbridos reforzados con fibras naturales en usos no esenciales de barcos artesanales, lo que favorece una industria naval más sustentable y acorde con las bases de la economía circular.

4.3 Análisis económico de la aplicación de fibras naturales en compuestos de fibra de vidrio

Para establecer si es posible integrar fibras naturales como refuerzo parcial en materiales compuestos que se utilizarán para producir barcos artesanales, el análisis económico es un factor clave. Hay que analizar, aparte de los beneficios ambientales, si el reemplazo parcial de la fibra de vidrio hace posible disminuir los costos de producción sin comprometer en gran medida la funcionalidad del material.

En Ecuador, los materiales de origen industrial que se emplean para la construcción de barcos, como las resinas y la fibra de vidrio, tienen un precio determinado por factores como el tipo de resina, la importación y las condiciones del mercado. En cambio, las fibras naturales se pueden conseguir a partir de los desechos agrícolas que existen en el país, por ejemplo, la cáscara de coco, los residuos del cacao, la paja toquilla y el pseudotallo del plátano; esto supone una oportunidad para reducir el coste de la materia prima y añadir valor al sector agrícola.

4.3.1 Comparación del costo de las materias primas

Para realizar el análisis económico se compararon los costos aproximados de la fibra de vidrio y de las fibras naturales utilizadas en esta investigación. Los valores corresponden a precios referenciales obtenidos de proveedores nacionales y literatura técnica.

De la factura se identifican los siguientes materiales (precios **sin IVA**):

Tabla 1 Costos de adquisición de los materiales de la Fibra de Vidrio

Material	Precio sin IVA (USD)	Precio con IVA 15 % (USD)
Fibra de vidrio MAT 450 (kg)	\$ 1,94	\$ 2,23
Fibra de vidrio MAT 375 (kg)	\$ 2,02	\$ 2,32
Rollo fibra de vidrio 375/380 (47 kg)	\$ 80,87	\$ 93,00
Rollo fibra de vidrio MAT 450 (50 kg)	\$ 82,75	\$ 95,16
Peróxido MEK (kg)	\$ 7,20	\$ 8,28
Resina preparada (litro)	\$ 2,84	\$ 3,27
Resina preparada (galón)	\$ 9,94	\$ 11,43

Fuente: Elaboración propia con base en la factura comercial de Diverzu Cía. Ltda.

Los cálculos del IVA se realizaron con la tarifa general vigente del **15 %** en Ecuador.

4.3.1.1 Costos referenciales de materias primas de las fibras naturales

➤ Fibra de plátano

El precio de hilo en el mercado puede ser desde los \$3 dólares hasta más de \$20 dependiendo de la calidad, material, tecnología. (INPADESA, s.f.) comercializa el kilo de fibra de plátano en \$12.

➤ **Fibra de Coco**

Según (Hidroponia Ecuador , s.f.) la fibra de cacao de 0,250 kg está en un valor de 0,40 ctvs.

➤ **Fibra de Cacao**

Según (GRUPO FREIRE , s.f.) la fibra de cacao se comercializa en \$ 3,00 c/kg.

➤ **Fibra de paja toquilla**

Un atado procesado (estirado, cocinado y secado) se comercializa en aproximadamente \$15, que contiene 25 cogollos y su peso seria igual a 0,50 kg.



Ilustración 8 Peso en kg de un atado de paja toquilla

Elaboración propia obtenido de un taller artesanal ubicado en Montecristi

4.3.2 Caso de estudio: embarcación artesanal

Con el propósito de estimar el impacto económico de la sustitución parcial de la fibra de vidrio, se plantea un caso de estudio correspondiente a la fabricación de una embarcación artesanal de aproximadamente 11 metros de eslora.

Para efectos comparativos se considera únicamente el costo de los materiales de refuerzo, manteniendo constantes el resto de los componentes del proceso de fabricación.

Ilustración 9 Ejemplo y datos de una embarcación para hacer los cálculos respectivos



Barco de 11 metros.

- Eslora: 11.00 mts
- Manga: 3.50 mts
- Puntal: 1.80 mts

Elaboración propia. Fuente: OCEANO FIBRA, s.f.

Tabla 2 Cálculo del área total del casco

ESLORA	11 m
MANGA	3,5 m
PUNTAL	1,8 m
FACTOR DE FORMA	0,8
AREA TOTAL DEL CASCO	62,48 m2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Cálculo de Sistema Convencional (100% Fibra de Vidrio)

CALCULO DE FIBRA DE VIDRIO NECESARIA			
TOTAL, DE FIBRA	287,408	m2	
1 m2 = 0,45 kg	129,3336	kg	
TOTAL, DE RESINA	324,77104	kg	
CATALIZADOR	4,8715656	kg	
COSTO DEL SISTEMA CONVENCIONAL			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	129,3336	\$ 2,23	\$ 288,54
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.389,58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Cálculo del sistema híbrido (60% Fibra de vidrio, 40% fibra de plátano)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 40%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE PLATANO	51,73344	\$ 12,00	\$ 620,80
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	77,60016	\$ 2,23	\$ 173,13
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.894,97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Cálculo del sistema híbrido (60% Fibra de vidrio, 40% fibra de paja toquilla)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 40%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE PAJA TOQUILLA	51,73344	\$ 30,00	\$ 1.552,00
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	77,60016	\$ 2,23	\$ 173,13
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 2.826,17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Cálculo del sistema híbrido (60% Fibra de vidrio, 40% fibra de coco)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 40%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE COCO	51,73344	\$ 1,60	\$ 82,77
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	77,60016	\$ 2,23	\$ 173,13
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.356,94

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Cálculo del sistema híbrido (60% Fibra de vidrio, 40% fibra de cacao)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 40%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE CACAO	51,73344	\$ 3,00	\$ 155,20
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	77,60016	\$ 2,23	\$ 173,13
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL DE MATERIALES			\$ 1.429,37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Cálculo del sistema híbrido (70% Fibra de vidrio, 30% fibra de plátano).

COSTO SISTEMA HIBRIDO 30%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE PLATANO	38,80008	\$ 12,00	\$ 465,60
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	90,53352	\$ 2,23	\$ 201,98
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.768,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Cálculo del sistema híbrido (70% Fibra de vidrio, 30% fibra de paja toquilla)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 30%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE PAJA TOQUILLA	38,80008	\$ 30,00	\$ 1.164,00
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	90,53352	\$ 2,23	\$ 201,98
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 2.467,02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Cálculo del sistema híbrido (70% Fibra de vidrio, 30% fibra de coco)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 30%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE COCO	38,80008	\$ 1,60	\$ 62,08
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	90,53352	\$ 2,23	\$ 201,98
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.365,10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Cálculo del sistema híbrido (70% Fibra de vidrio, 30% fibra de cacao)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 30%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE CACAO	38,80008	\$ 3,00	\$ 116,40
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	90,53352	\$ 2,23	\$ 201,98
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.419,42

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Cálculo del sistema híbrido (80% Fibra de vidrio, 20% fibra de plátano)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 20%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE PLATANO	25,86672	\$ 12,00	\$ 310,40
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	103,46688	\$ 2,23	\$ 230,83
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.642,27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Cálculo del sistema híbrido (80% Fibra de vidrio, 20% fibra de paja toquilla)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 20%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE PAJA TOQUILLA	25,86672	\$ 30,00	\$ 776,00
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	103,46688	\$ 2,23	\$ 230,83
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 2.107,87

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Cálculo del sistema híbrido (80% Fibra de vidrio, 20% fibra de coco)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 20%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE COCO	25,86672	\$ 1,60	\$ 41,39
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	103,46688	\$ 2,23	\$ 230,83
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.373,26

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Cálculo del sistema híbrido (80% Fibra de vidrio, 20% fibra de cacao)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 20%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE CACAO	25,86672	\$ 3,00	\$ 77,60
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	103,46688	\$ 2,23	\$ 230,83
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.409,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Cálculo del sistema híbrido (90% Fibra de vidrio, 10% fibra de plátano)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 10%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE PLATANO	12,93336	\$ 12,00	\$ 155,20
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	116,40024	\$ 2,23	\$ 259,69
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.515,93

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Cálculo del sistema híbrido (90% Fibra de vidrio, 10% fibra de plátano)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 10%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE PAJA TOQUILLA	12,93336	\$ 30,00	\$ 388,00
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	116,40024	\$ 2,23	\$ 259,69
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.748,73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Cálculo del sistema híbrido (90% Fibra de vidrio, 10% fibra de plátano)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 10%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE COCO	12,93336	\$ 1,60	\$ 20,69
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	116,40024	\$ 2,23	\$ 259,69
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.381,42

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Cálculo del sistema híbrido (90% Fibra de vidrio, 10% fibra de plátano)

COSTO SISTEMA HIBRIDO 10%			
MATERIAL	CANTIDAD/KG	P/UNITARIO KG	COSTO
FIBRA DE CACAO	12,93336	\$ 3,00	\$ 38,80
FIBRA DE VIDRIO MAT 450G/M2	116,40024	\$ 2,23	\$ 259,69
RESINA	324,77104	\$ 3,27	\$ 1.060,70
Peróxido MEK (kg)	4,8715656	\$ 8,28	\$ 40,34
TOTAL, DE MATERIALES			\$ 1.399,53

Fuente: Elaboración propia

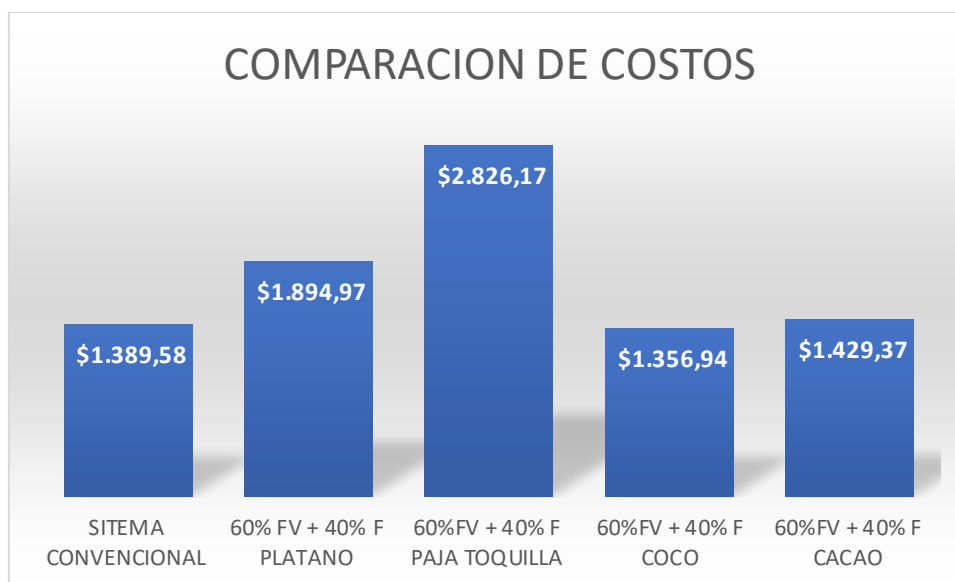
4.4 Comparación de Costos del sistema convencional y el sistema híbrido

Tabla 20 Comparación de Costos con refuerzo del 40% de fibras naturales

COMPARACION DE COSTOS	
SITEMA CONVENCIONAL	\$ 1.389,58
60% FV + 40% F PLATANO	\$ 1.894,97
60%FV + 40% F PAJA TOQUILLA	\$ 2.826,17
60%FV + 40% F COCO	\$ 1.356,94
60%FV + 40% F CACAO	\$ 1.429,37

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1 Muestra la comparación de costos del sistema convencional y el sistema híbrido con diferentes fibras naturales con una combinación del 40%.



Fuente: Elaboración propia

Nota: En conjunto, la Tabla 20 y el gráfico evidencian que la incorporación de fibras naturales no genera el mismo impacto económico en todas las alternativas. El gráfico permite visualizar de manera más clara las diferencias señaladas en la tabla.

Tabla 21 Comparación de Costos con refuerzo del 30% de fibras naturales

COMPARACION DE COSTOS	
SITEMA CONVENCIONAL	\$ 1.389,58
70% FV + 30% F PLATANO	\$ 1.768,62
70%FV + 30% F PAJA TOQUILLA	\$ 2.467,02
70%FV + 30% F COCO	\$ 1.365,10
70%FV + 30% F CACAO	\$ 1.419,42

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2 Muestra la comparación de costos del sistema convencional y el sistema híbrido con diferentes fibras naturales con una combinación del 30%.



Fuente: Elaboración propia

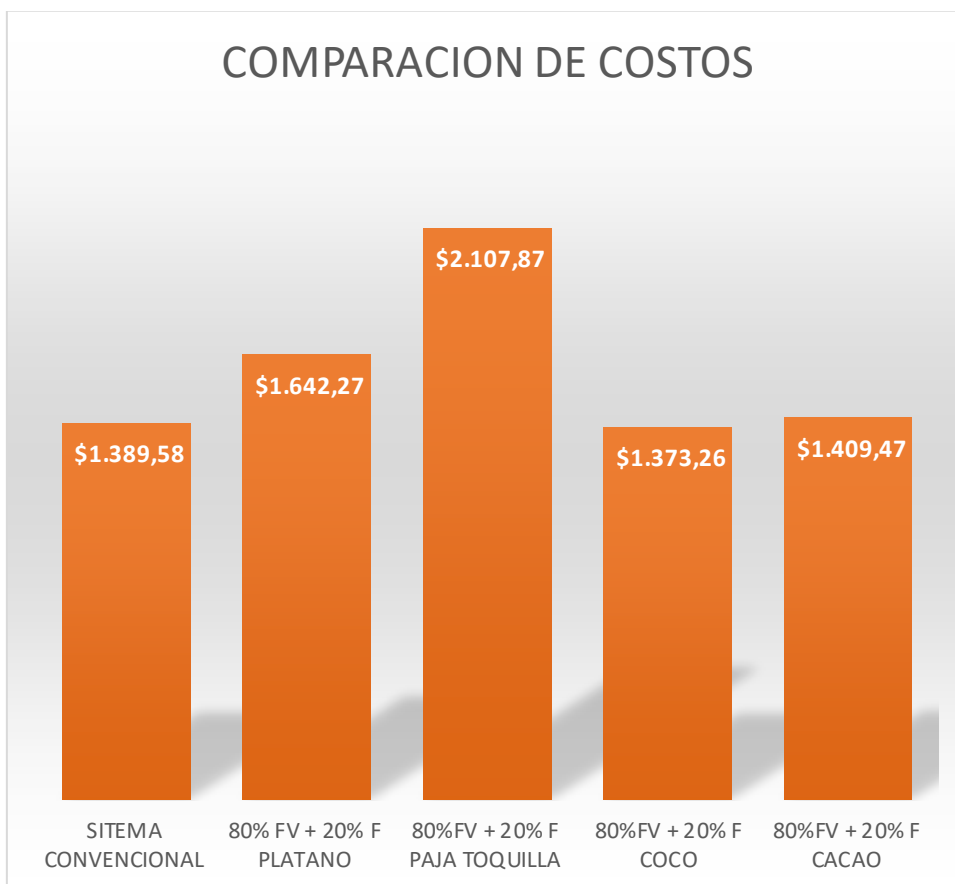
Nota: En conjunto, la Tabla 21 y el gráfico evidencian que la incorporación de fibras naturales no genera el mismo impacto económico en todas las alternativas. El gráfico permite visualizar de manera más clara las diferencias señaladas en la tabla.

Tabla 22 Comparación de Costos con refuerzo del 20% de fibras naturales

COMPARACION DE COSTOS	
SITEMA CONVENCIONAL	\$ 1.389,58
80% FV + 20% F PLATANO	\$ 1.642,27
80%FV + 20% F PAJA TOQUILLA	\$ 2.107,87
80%FV + 20% F COCO	\$ 1.373,26
80%FV + 20% F CACAO	\$ 1.409,47

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3 Muestra la comparación de costos del sistema convencional y el sistema híbrido con diferentes fibras naturales con una combinación del 20%.



Fuente: Elaboración propia

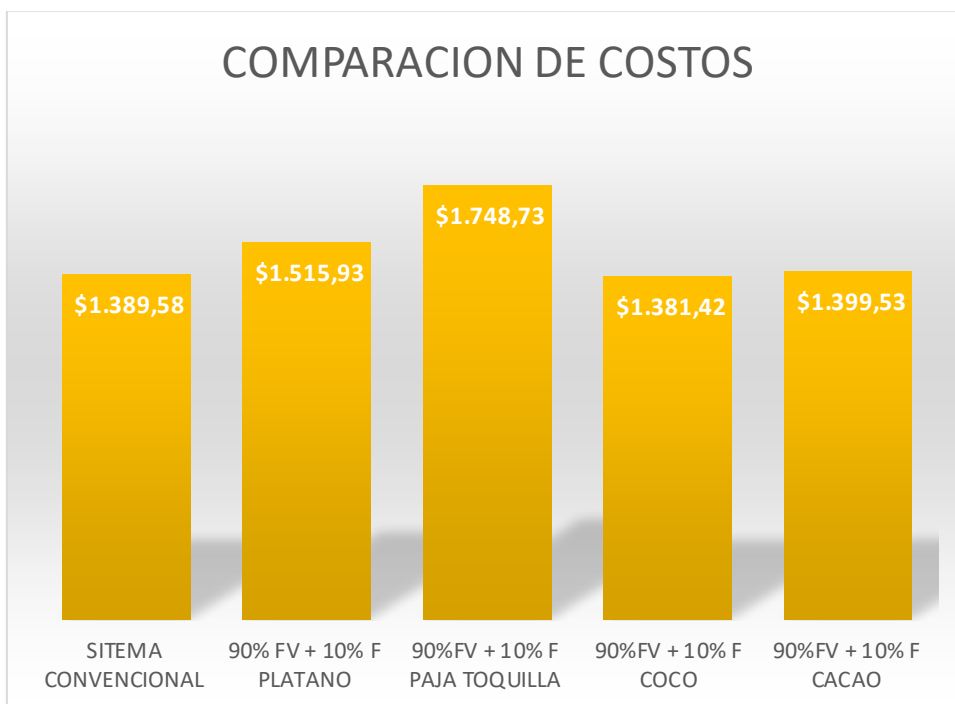
Nota: En conjunto, la Tabla 22 y el gráfico evidencian que la incorporación de fibras naturales no genera el mismo impacto económico en todas las alternativas. El gráfico permite visualizar de manera más clara las diferencias señaladas en la tabla.

Tabla 23 Comparación de Costos con refuerzo del 10% de fibras naturales

COMPARACION DE COSTOS	
SITEMA CONVENCIONAL	\$ 1.389,58
90% FV + 10% F PLATANO	\$ 1.515,93
90%FV + 10% F PAJA TOQUILLA	\$ 1.748,73
90%FV + 10% F COCO	\$ 1.381,42
90%FV + 10% F CACAO	\$ 1.399,53

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4 Muestra la comparación de costos del sistema convencional y el sistema híbrido con diferentes fibras naturales con una combinación del 10%.



Fuente: Elaboración propia

Nota: En conjunto, la Tabla 23 y el gráfico evidencian que la incorporación de fibras naturales no genera el mismo impacto económico en todas las alternativas. El gráfico permite visualizar de manera más clara las diferencias señaladas en la tabla.

Tabla 24 Porcentaje de incremento económico del Sistema Híbrido

Incremento % del costo del sistema híbrido al 40%	
36%	
103%	
-2%	
3%	
35%	total, de incremento económico

Incremento % del costo del sistema híbrido al 30%	
27%	
78%	
-2%	
2%	
26%	total, de incremento económico

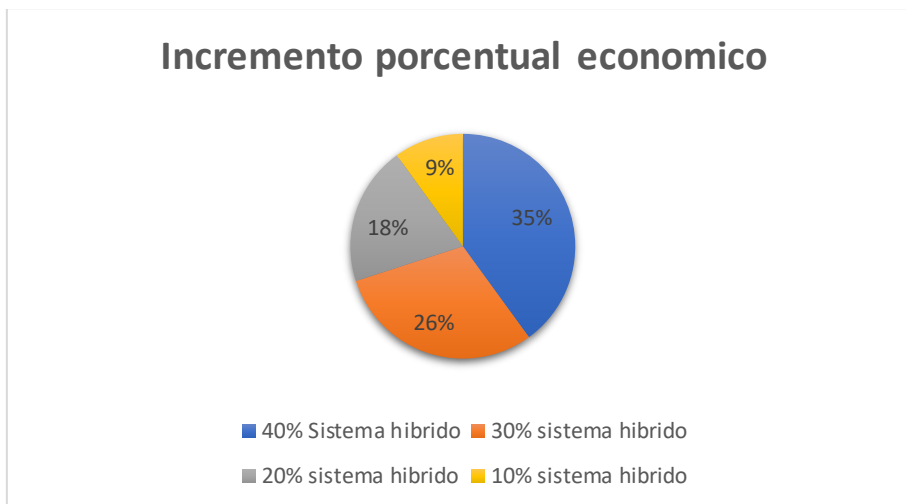
Incremento % del costo del sistema hibrido al 20%	
18%	
52%	
-1%	
1%	
18%	total, de incremento económico

Incremento % del costo del sistema hibrido al 10%	
9%	
26%	
-1%	
1%	
9%	total, de incremento económico

Elaboración propia.

Nota: Representa el incremento económico de cada uno de los ejemplos de sistemas híbridos que para el análisis comparativo se consideraron porcentajes de sustitución de fibra de vidrio por fibra natural del 10 %, 20 %, 30 % y 40 %.

Gráfico 5 Muestra el porcentaje de incremento económico de los diferentes porcentajes de sustitución de fibra de vidrio por fibra natural.



Elaboración propia

CONCLUSIONES

- La investigación permitió evaluar el impacto ambiental y económico de la inclusión de fibras naturales como refuerzo parcial en compuestos de fibra de vidrio destinados a la construcción de barcos artesanales. La revisión de literatura científica y el análisis económico demuestran que estas fibras son una alternativa con potencial para disminuir el uso de materiales sintéticos y promover el uso de recursos renovables disponibles en Ecuador.
- La revisión bibliográfica identificó que las fibras naturales de plátano, coco, paja toquilla y cacao poseen características físicas y mecánicas que respaldan su uso como refuerzo en materiales compuestos. Entre ellas, la fibra de plátano se destaca por su mayor resistencia y su disponibilidad en el país, mientras que las fibras de coco y paja toquilla ofrecen aplicaciones complementarias. La fibra de cacao tiene potencial de uso, aunque necesita más investigación para aplicaciones estructurales.
- Desde una perspectiva ambiental, la sustitución parcial de la fibra de vidrio por fibras naturales ayuda a aprovechar los residuos agrícolas, fomenta la economía circular y disminuye la dependencia de materiales sintéticos derivados del petróleo. Estos beneficios representan una oportunidad para promover procesos de fabricación más sostenibles en el sector de embarcaciones artesanales.
- El análisis económico, basado en precios reales de fibra de vidrio, resina y catalizador obtenidos en el mercado ecuatoriano, así como en una cotización comercial de fibra de banano, indicó que el costo de fabricación del compuesto híbrido depende directamente del precio de adquisición de la fibra natural. En el escenario analizado, el uso de fibra de banano comercial incrementa el costo del material compuesto en comparación con el sistema

convencional; sin embargo, este resultado no desestima las ventajas ambientales y resalta la importancia de desarrollar procesos locales que reduzcan el costo de producción de las fibras naturales.

- La evaluación integral permitió concluir que los compuestos híbridos reforzados con fibras naturales constituyen una alternativa técnicamente viable para aplicaciones no estructurales y semiestructurales en embarcaciones artesanales, siempre que se trate adecuadamente las fibras para mejorar su adhesión con la matriz polimérica y minimizar la absorción de humedad. Se sugiere complementar estos resultados a través de ensayos experimentales para validar su comportamiento mecánico y durabilidad en condiciones reales de operación.
- La fibra de plátano se ha identificado como la opción con mayor potencial para reforzar compuestos de fibra de vidrio, ya que combina características favorables con una alta biodegradabilidad, una baja huella de carbono y la utilización de un residuo agrícola que es abundante en Ecuador.
- La fibra de coco ofrece la mayor resistencia natural a la humedad de entre las fibras analizadas y presenta una baja huella de carbono. Su menor biodegradabilidad en comparación con otras fibras naturales se atribuye a su alto contenido de lignina, lo que también aumenta su durabilidad.
- La paja toquilla resalta por ser un recurso renovable y altamente biodegradable, con un bajo impacto ambiental. Sin embargo, la información disponible sobre su uso en materiales compuestos para embarcaciones es más limitada que la que existe para la fibra de plátano.
- La fibra de cacao aparece como una opción prometedora para dar valor a los residuos de la industria cacaotera y disminuir el impacto ambiental. Sin embargo, la evidencia científica

acerca de su aplicación en compuestos para usos navales es todavía escasa, lo que implica la necesidad de realizar más investigaciones para validar su rendimiento.

- La sustitución del 10 % de fibra de vidrio por fibra natural incrementó el costo de fabricación en 9 %, manteniendo una reducción del uso de material sintético sin afectar significativamente el costo total.
- Con una sustitución del 30 %, se obtuvo el mejor equilibrio entre reducción del impacto ambiental y costo de fabricación del 26 %, mientras que el 40 % presentó el mayor incremento económico del 35 %.
- La resina representó el 76 % del costo total de fabricación, constituyéndose como el insumo de mayor incidencia económica, por encima de la fibra de refuerzo.

RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones experimentales que analicen el comportamiento mecánico de compuestos híbridos reforzados con fibras naturales disponibles en Ecuador, a través de ensayos de tracción, flexión, impacto, absorción de agua y resistencia a la fatiga, con el objetivo de validar su uso en embarcaciones artesanales.
- Fomentar el uso de residuos agrícolas, especialmente de plátano, cacao, coco y paja toquilla, para la extracción de fibras naturales destinadas a la creación de materiales compuestos, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental y al fortalecimiento de la economía circular.
- Llevar a cabo estudios enfocados en optimizar los procesos de extracción, tratamiento y acondicionamiento de fibras naturales, buscando mejorar sus propiedades físicas, su compatibilidad con la resina poliéster y su rendimiento en ambientes marinos.
- Facilitar alianzas entre universidades, centros de investigación, empresas del sector agrícola y astilleros artesanales para implementar proyectos piloto que evalúen el desempeño de compuestos híbridos en componentes reales de embarcaciones.
- Ampliar el análisis económico incluyendo diferentes escenarios de costos de fibras naturales, considerando proveedores, escalas de producción y niveles de procesamiento, con el fin de identificar las condiciones bajo las cuales estos materiales puedan ser competitivos frente a la fibra de vidrio convencional.
- Promover el desarrollo de normativas técnicas y lineamientos para la caracterización y uso de fibras naturales en materiales compuestos destinados a la construcción naval, con el fin de facilitar su adopción por el sector productivo y asegurar estándares de calidad y seguridad.

Bibliografía

- AEFA. (s.f.). Obtenido de <https://aeфа-agronutrientes.org/la-fibra-de-coco-en-sustratos-y-cultivos-hidroponicos>
- Agromatica. (s.f.). *Fibra de coco, un sustrato con gran potencial*. Obtenido de <https://www.agromatica.es/sustrato-de-fibra-de-coco/>
- ANUPRERNA. (s.f.). *Fibra de plátano: De la fruta al tejido*. Obtenido de <https://anuprerma.com/blogs/banana-fiber-from-fruit-to-fabric/11213>
- Anzuategui, G., & Oswaldo, Á. (2021). Obtenido de Obtención de fibra de cacao alcalinizada a partir de la cascarilla de cacao ecuatoriano (*Theobroma cacao* L.) para reemplazo total o parcial de polvo de cacao en productos alimenticios:
<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/af62f24f-76fb-4240-9f93-3c3458e3c969>
- Arias, U. M. (02 de 03 de 2025). *Obtención de Hilo a Partir de Fibra de Banano* . Obtenido de <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8fef0a94-516c-4b42-a9e3-fla4f5156170/content>
- BANANA FIBRE. (s.f.). Obtenido de <https://www.crisb.es/tejidos-sostenibles-innovadores/>
- Bastcorp. (2025). *Impacto ambiental y sostenibilidad del uso de Fibra de Musa en la industria textil*. Obtenido de file:///C:/Users/COMPUTEACH/Downloads/Dialnet-ImpactoAmbientalySostenibilidadDelUsoDeFibraDeMusa-10550872.pdf
- Beatriz, T. S. (21 de 01 de 2022). *Subproductos del cacao: Caracterización de compuestos bioactivos y efectos beneficiosos para la salud*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/5/1625>
- Berrio, V., & Leonard, J. (12 de 01 de 2022). Obtenido de Desarrollo y caracterización de un material compuesto con fibra de cacao para la producción de filamento para impresión 3D:
<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/69fa7def-4b60-4bff-9471-275d8a2bc20f>

Bioespacio . (24 de 02 de 2023). *LA FIBRA DE COCO: MULTIPLES APLICACIONES Y PROPIEDADES SOSTENIBLES EN DIFERENTES INDUSTRIAS*. Obtenido de <https://bioespacio.co/fibra-de-coco-propiedades-y-aplicaciones-sostenibles/>

Ciencia y Tecnologia UJAT. (2025). *Biocarbón de cacao para la remediación de suelos*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=OAVBh-nWAv0&t=728s>

Ciudad Cultural. (2024). *CONOCE la historia, proceso de elaboración y partes del SOMBRERO DE PAJA TOQUILLA | CIUDAD CULTURAL*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=-wc_F3pUvEQ

Clades Composite. (2026). *Qué es la Fibra de Vidrio: propiedades, usos y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.cladescomposites.com/tienda/que-es-la-fibra-de-vidrio-propiedades-usos-y-aplicaciones/>

CONABIO. (2020). *Fibras naturales*. Obtenido de Biodiversidad Mexicana: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/fibras-naturales>

DaschaStyle. (2020). *Proceso de recoleccion*. Obtenido de DaschaStyle: <https://daschastyle.com/proceso-de-recoleccion-de-la-paja-toquilla/>

Diverzu. (s.f.). Obtenido de https://www.google.com/search?sca_esv=160fecc51e0f0354&sxsrf=APpeQntA1LqZi0VKDUP1arVLSEf7tpNnMA:1784674995264&udm=2&fbs=ABfTbFUDadgeu2mn4mYJ8iEZ1GUDd8ABuXxNzQEi57SWOuuPdSOGhXBhE8X-QPwJkZhAP-t9yTOmOrqMk9KXrXMRnXT1u2bz_pNQnWAYXMUz8nP4z7f9r1JFQBQPPS4Aboh4P4Y

Drake, O. (s.f.). *¿Qué tan sostenible es la fibra de coco?* Obtenido de <https://www.rhs.org.uk/advice/peat/coir-questions-answered>

earthechec. (2025). *Con fibras de plátano, india transforma residuos en moda y fertilizantes*. Obtenido de https://www.youtube.com/shorts/pNyV_dpPRPY

earthtechec. (s.f.). *tejidos ecologicos y biodegradables* . Obtenido de <https://www.youtube.com/shorts/ccHJ6rjUXgk>

EDWIN, B., & JAIRO, V. (05 de 2021). Obtenido de EFECTO DE FIBRAS NATURALES DE CARLUDOVICA PALMATA (PAJA TOQUILLA):

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20267/1/UPS%20-%20TTS359.pdf>

García, A., & Ángel, O. (s.f.). Obtenido de Repositorio Universidad Cental del Ecuador:

<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/af62f24f-76fb-4240-9f93-3c3458e3c969>

GRUPO FREIRE . (s.f.). Obtenido de <https://freiregroup.com/producto/cascarilla-de-cacao/>

Hidroponia Ecuador . (s.f.). Obtenido de <https://hidroponiaec.com/product/fibra-de-coco/>

Hidroponia Ecuador. (s.f.). *Fibra de Coco*. Obtenido de <https://hidroponiaec.com/product/fibra-de-coco/?srsltid=AfmBOopUVzoxbt-CM8lnXHaxJoXvYu8sHxxBklRsUdcVIY-ENI0Lyov4>

Industrias MACAR s.a.s. (s.f.). Obtenido de Guía Completa sobre Cómo Preparar Resina para Fibra de Vidrio: <https://industriasmacar.com/como-preparar-resina-para-fibra-de-vidrio/#:~:text=Como%20referencia%20general%3A%201,resina%20por%20m2.>

INPADESA. (s.f.). Obtenido de <https://www.inpadesa.com.ec/fibra-de-banano/>

Inpadesa. (2016). *Fibra de platano* . Obtenido de <https://www.inpadesa.com.ec/fibra-de-banano/#:~:text=Material%20de%20excelente%20calidad%2C%20resistencia,sin%20el%20uso%20de%20qu%C3%ADmicos.>

Instituto Politécnico Nacional. (11 de 11 de 2015). Obtenido de Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo: <https://www.redalyc.org/journal/614/61447568003/html/>

Jose Villarorel, D. Z. (2025). *Sostenibilidad de la industria del cacao: uso de residuos de cacao para generar productos que impacten en el ámbito socioeconómico*. Obtenido de UTEQ:

<https://www.uteq.edu.ec/es/investigacion/proyecto/sostenibilidad-industria-cacao-residuos-cacao-productos-socioeconomico>

Lucín Borbor, J. M. (s.f.). *Mejoras productivas en el tratamiento de paja toquilla en el Centro de Tratamiento de Paja Toquilla de la comuna Barcelona, parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena, Ecuador*. Obtenido de Repositorio UPSE:

<https://repositorio.upse.edu.ec/items/6a34fd8e-3836-48af-a7eb-e4115cad8ca4>

Martinez, P. (2012). *Tejido del Sombrero de Paja Toquilla*. Obtenido de

<https://es.scribd.com/presentation/117138239/Paja-toquilla-INPC>

Montecuator . (s.f.). Obtenido de Proceso Elaboración Sombrero Panamá Montecristi Paja Toquilla

Hecho en Ecuador: <https://montecuatorhats.com/es/montecristi-hat-elaboracion-sombrero-process-handmade-factory/>

Nelly Chabla, M. F. (2019). *Principales Riesgos en Tejedoras*. Obtenido de Universidad Catolica de

Cuenca: <https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8a5529d8-dcb1-4371-b74f-4148ca238302/content>

OCEANO FIBRA. (s.f.). Obtenido de <https://www.oceanofibra.com/producto/barco-de-11-metros/>

Pelemix. (s.f.). *5 MITOS Y VERDADES SOBRE LA FIBRA DE COCO: EL SUSTRATO IDEAL PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS*. Obtenido de <https://pelemix.com/es/5-mitos-y-verdades-sobre-la-fibra-de-coco-el-sustrato-ideal-para-cultivos-hidroponicos/>

Pesquera, R. (29 de 08 de 2017). Obtenido de Ship Hull Area Calculation Formulas:

https://es.scribd.com/document/357494395/AREA-OF-HULL-CALCULATION-xlsx#google_vignette

- Pinos, J. A. (24 de 10 de 2018). *Estudio de la Dosificación de la Fibra Banano en una Resina Polimerica de Tipo Epoxica*. Obtenido de <https://pure.ups.edu.ec/es/publications/study-of-the-banana-fiber-dosage-in-an-epoxy-type-polymer-resin/>
- Quilumba, M. S. (2025). *RESIDUOS DEL CACAO (Theobroma Cacao) COMO ALTERNATIVA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS*. Obtenido de <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/b1aa8e44-62a9-4037-b6f2-089a41e90832/content>
- Revista Multidisciplinar . (s.f.). *Sostenibilidad en el Cultivo de Cacao (Theobroma Cacao L.) Por las Oportunidades de Economía Circular para la Provincia los Ríos*. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/7342/11065>
- Rochina, R., & Iván, C. (3 de marzo de 2021). Obtenido de Utilización de la fibra de cascarilla de cacao en la industria alimentaria.: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/dd334b2d-1f4e-45b0-83c9-4c01b6016ef3>
- Rvista Científica PAKAMUROS. (04 de 2026). *Propuesta de un nuevo material a base de fibra de coco para la utilización en la industria de la construcción*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/403525686_Propuesta_de_un_nuevo_material_a_base_de_fibra_de_coco_para_la_utilizacion_en_la_industria_de_la_construccion
- SCIELO. (2024). *Huella de carbono en residuos postcosecha de Theobroma cacao L. y la economía circular*. Obtenido de <https://ve.scielo.org/pdf/agrecam/v6n11/2665-0290-agrecam-6-11-4.pdf>
- Secretaría de medio ambiente . (2016). *Soy Natural, Sustitutos Ecológicos, Fibra de Coco*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=4YajnlGx7wE&t=33s>
- TopTriper. (s.f.). *La reina de las plantas, La paja toquilla*. Obtenido de <https://www.facebook.com/watch/?v=1184760526184356>

UCUENCA. (s.f.). *Valorización de los residuos del cacao*. Obtenido de UCUENCA:

<https://www.youtube.com/shorts/SgLmJ39hn9c>

Vaca-Cardenas, M. L., Gonzales, M., & Vaca, P. (27 de 08 de 2021). Obtenido de Characterization of the Physical Properties of the Coconut Fiber Residue With a View to its Agroindustrial Use
Caracterización de las Propiedades Físicas del Residuo de Fibra de Coco con Vista a su Aprovechamiento Agroindustrial: <https://kneopen.com/article/html/epoch/9569/15918/>

Vergel Berrio, J. L. (12 de 01 de 2022). *Desarrollo y caracterización de un material compuesto con fibra de cacao para la producción de filamento para impresión 3D*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/69fa7def-4b60-4bff-9471-275d8a2bc20f>