



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Desempeño ambiental de fibras naturales de abacá versus fibras
sintéticas en morteros de cemento.**

AUTORES:

**Peñafiel Narea, Kevin Raúl
Rivadeneira Delgado, Juan José**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTORA:

Alcívar Bastidas, Stefany Esther

**Guayaquil, Ecuador
9 de febrero del 2024**



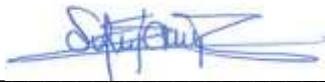
UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Peñafiel Narea Kevin Raúl** y **Rivadeneira Delgado Juan José**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTORA

f. 

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc

Guayaquil, a los 9 del mes de febrero del año 2024



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Peñafiel Narea Kevin Raúl** y **Rivadeneira Delgado Juan José**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación: **Desempeño ambiental de fibras naturales de abacá versus fibras sintéticas en morteros de cemento**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

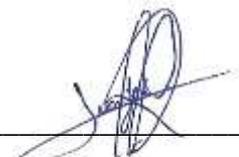
Guayaquil, a los 9 del mes de febrero del año 2024

EL AUTOR

f. 

Peñafiel Narea Kevin Raúl

EL AUTOR

f. 

Rivadeneira Delgado Juan José



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Peñafiel Narea Kevin Raúl** y **Rivadeneira Delgado Juan José**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Desempeño ambiental de fibras naturales de abacá versus fibras sintéticas en morteros de cemento**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 9 del mes de febrero del año 2024

EL AUTOR

f. 

Peñafiel Narea Kevin Raúl

EL AUTOR

f. 

Rivadeneira Delgado Juan José



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

REPORTE COMPILATIO

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
registro

**PEÑAFIEL_RIVADENEIRA_TRABAJO_D
E_TITULACIÓN**

9% Textos sospechosos

100% Similitudes
No similitudes entre copias
No existe un número internacional de identificación
Informar en observación

Nombre del documento: PEÑAFIEL_RIVADENEIRA_TRABAJO_DE_TITULACION.docx
ID del documento: 9034c3c03ee54a74c0a01797b0d010e013f00d
Tamaño del documento original: 6,48 MB

Depositar: Clara Catalina Cba Canales
Fecha de depósito: 15/02/2024
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 16/02/2024

Número de palabras: 18,706
Número de caracteres: 123,281

Ubicación de los archivos en el documento

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripción	Similitud	Utilizaciones	Datos adicionales
1	repositorio.uscg.edu.ec https://repositorio.uscg.edu.ec/handle/documentos/11048/1044/1/1044.pdf 22 Fuentes similares	2%		2 Fuentes similares: 26,027 palabras
2	repositorio.uscg.edu.ec https://repositorio.uscg.edu.ec/handle/documentos/11048/1044/1/1044.pdf 22 Fuentes similares	2%		2 Fuentes similares: 26,027 palabras
3	repositorio.uscg.edu.ec https://repositorio.uscg.edu.ec/handle/documentos/11048/1044/1/1044.pdf 24 Fuentes similares	2%		2 Fuentes similares: 26,074 palabras
4	repositorio.uscg.edu.ec https://repositorio.uscg.edu.ec/handle/documentos/11048/1044/1/1044.pdf 22 Fuentes similares	2%		2 Fuentes similares: 26,027 palabras
5	repositorio.uscg.edu.ec https://repositorio.uscg.edu.ec/handle/documentos/11048/1044/1/1044.pdf 22 Fuentes similares	2%		2 Fuentes similares: 26,027 palabras

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripción	Similitud	Utilizaciones	Datos adicionales
1	www.sciencedirect.com Mechanical and thermal properties of polypropylene (M... http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264375817304817	< 1%		2 Fuentes similares: 176,122 palabras
2	www.sciencedirect.com Effects of acid treatment and dissolved temperature on... http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264375817304817	< 1%		2 Fuentes similares: 176,122 palabras
3	www.sciencedirect.com The effect of acid treatment on mechanical, thermal... http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264375817304817	< 1%		2 Fuentes similares: 176,122 palabras
4	repositorio.usc.edu.ec https://repositorio.usc.edu.ec/handle/documentos/11048/1044/1/1044.pdf?sequence=1	< 1%		2 Fuentes similares: 176,122 palabras
5	ask.sagepub.com http://ask.sagepub.com/ask/answerpage?answerID=1014&questionID=1014	< 1%		2 Fuentes similares: 176,122 palabras

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://doi.org/10.1080/15402079.2023.2172270>
- <https://doi.org/10.1016/j.enrg.2023.111962>
- <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.111968>
-

TUTORA

f.

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc

Agradecimiento

Agradezco a mi madre Lupita que me dio la oportunidad de salir adelante y convertirme en profesional, por ser siempre mi apoyo y mi mayor inspiración en el transcurso de mis metas.

A toda mi familia por estar pendiente y creer en mí, especialmente a mi enamorada la Lcda. Arelys Choez Muñiz, con quien conviví la mayor parte de mi etapa universitaria y se convirtió en un pilar fundamental de mi vida.

Al ingeniero Daniel Petroche por su paciencia, tutela y todas las enseñanzas impartidas a lo largo del desarrollo de este trabajo investigativo. A la ingeniera Alcívar por darnos la confianza de desarrollar su tema propuesto y a mi compañero Juan José por ser parte de este trabajo. Al Centro de Innovación Holcim y su equipo que nos facilitaron el uso de sus instalaciones para realizar los ensayos y pruebas.

Kevin Raúl Peñafiel Narea

Agradecimiento

Agradezco este trabajo de titulación a Dios que me ha dado salud, inteligencia y fuerza de voluntad para afrontar todo desafío, a mis padres Leonardo Rivadeneira Moreira y Laura Delgado Vera que son mi mayor motivación, a mi familia y mis compañeros que me han acompañado a lo largo de la Universidad. También agradezco a mi tutora la Ingeniera Stefany Alcívar Bastidas, MSc. por depositar su confianza a mi compañero y a mí para realizar el trabajo de titulación. A los laboratorios de la ESPOL e instalaciones de Holcim San Eduardo por abrirnos las puertas donde pudimos desarrollar ensayos y pruebas de laboratorio. Una mención especial al Ingeniero Daniel Petroche Sánchez, MSc. que gracias a sus conocimientos, experiencia, hospitalidad y consejos facilitó nuestro camino en el desarrollo de este trabajo investigativo.

Y por último agradezco a mi compañero de tesis y gran amigo Kevin Peñafiel Narea, que desde inicios del 2023 teníamos pensado realizar juntos el trabajo de titulación, y finalmente a pesar de todas las amanecidas y sacrificios logramos cumplir nuestro objetivo.

Juan José Rivadeneira Delgado

Dedicatoria

Le dedico este trabajo investigativo a mi madre, a mi abuelita Checho, a mi hermano y a mi enamorada.

Kevin Raúl Peñafiel Narea

Dedicatoria

Dedico este proyecto investigativo a Dios ante todas las cosas que me ha dado salud, fuerza y dicha de poder sobrepasar todos los obstáculos de la vida. A mis padres Laura y Leonardo que son el regalo más grande que Dios me ha podido otorgar y mi fuente de inspiración. A mis familiares, amigos y a mi compañero Kevin que desde hace un año íbamos a llevar a cabo este desafío. A mis tutores de tesis Ingeniera Stefany Alcívar Bastidas, MSc., Ingeniero Daniel Petroche Sánchez, MSc.

Y por último a mi Tía Narcisa que hoy no se encuentra con nosotros pero que desde el cielo me guía e ilumina mi sendero.

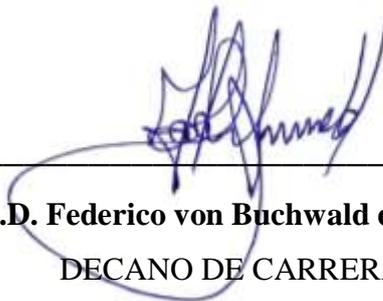
Juan José Rivadeneira Delgado



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ph.D. Federico von Buchwald de Janon
DECANO DE CARRERA

f. 

Ph.D. Alexandra Camacho Monar
COORDINADORA DEL ÁREA

f. 

Ing. Gilberto Martínez R, MSc.
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	2
1. Introducción	2
CAPÍTULO II	7
2. Materiales.....	7
2.1. Matriz cementicia	7
2.2. Fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio	8
2.3. Fibras de polipropileno	9
2.4. Mezcla de mortero	10
CAPITULO III.....	12
3. Metodología	12
3.1. Ensayos de propiedades físicas de morteros.....	12
3.1.1. Ensayos de propiedades físicas de morteros en estado fresco.....	13
3.1.1. Ensayos de propiedades físicas de morteros en estado endurecido..	15
3.2. Reutilización de solución de hidróxido de sodio.....	18
3.2.1. Termogravimetría (TGA).....	18
3.2.2. Microscopia de barrido de electrones (SEM).....	19
3.1. Escalado de producción de fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio	19
3.1.1. Inventario de materiales	20
3.2. Análisis de ciclo de vida.....	21
3.2.1. Objetivo y alcance	22
3.2.2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.....	28
3.2.3. Análisis de Impacto de ciclo de vida.....	30
CAPITULO IV.....	32
4. Resultados	32
4.1. Ensayos de propiedades físicas de morteros.....	32
4.1.1. Ensayos en estado fresco.....	32
4.1.2. Ensayos en estado endurecido.....	33
4.2. Reutilización de solución de hidróxido de sodio	38

4.3.	Análisis de impacto de ciclo de vida	43
4.3.1.	Análisis de huella de carbono de la producción de fibras	43
4.3.2.	Análisis de huella de carbono de la producción de mortero.....	46
5.	Conclusiones.	48
6.	Referencias.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química y otras propiedades del cemento tipo GU.....	7
Tabla 2. Cantidades de materiales para el tratamiento de fibra de.....	9
Tabla 3. Composición de la mezcla del mortero para 1 m3. Fuente: Autores	10
Tabla 4. Ensayos y normas utilizadas para morteros frescos. Fuente: Autores.	13
Tabla 5. Ensayos y normas utilizadas para morteros endurecidos. Fuente: Autores .	15
Tabla 6. Cantidades de materiales para 1 kg de fibra de abacá tratada.....	20
Tabla 7. Productos químicos utilizados para el mantenimiento del cultivo de abacá en Ecuador. Fuente: Autores.....	25
Tabla 8. Distancias de distribuidores de materias primas a planta de producción Guayaquil, sector.....	30
Tabla 9. Resultados de las pruebas físicas de los tres tipos de mortero en estado fresco. Fuente: Autores.	32
Tabla 10. Productos químicos utilizados para el mantenimiento del cultivo de abacá en Ecuador. Fuente: Autores	38
Tabla 11. Procesos de producción de fibra natural, fibras naturales con tratamiento alcalino y producción de fibra de polipropileno. Fuente: Autores.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Curva de granulometría utilizada. Fuente: (Alcivar-Bastidas et al., 2023).	7
Fig. 2. Descripción de tratamiento alcalino de fibras de abacá en solución de 3% NaOH. Fuente: Autores.....	9
Fig. 3. Diagrama de tratamiento alcalino de fibra de abacá. (a) Tratamiento Convencional (b) Propuesta de reúso de solución de NaOH. Fuente: Autores	18
Fig. 4. Límites del sistema y alcance de procesos de producción de abacá, fibra, tratamiento y fabricación del mortero. Fuente: Autores.	23
Fig. 5. Contribución promedio de la biomasa al peso total de las plantas de (a) banano y (b) abacá. Fuente: Autores.	29
Fig. 6. Curvas de calor liberado versus tiempos de los 3 diferentes compuestos. Fuente: Autores	33
Fig. 7. Resultados de esfuerzos a la (a) compresión, (b) flexión y (c) tracción. MSF: Mortero sin fibra. MAFT: Mortero con fibra de abacá tratada. MPF: Mortero con fibra de polipropileno. Fuente: Autores.....	35
Fig. 8. Resultados de Pulso ultrasónico y Densidad de agrietamiento. MSF: Mortero sin fibra. MAFT: Mortero con fibra de abacá tratada. MPF: Mortero con fibra de polipropileno. Fuente: Autores.....	36
Fig. 9. Representación gráfica de las fisuras en las placas de (a) mortero sin fibra, (b) mortero con fibra natural y (c) mortero con fibra sintética. Fuente: Autores.	37
Fig. 10. Curvas de la pérdida de peso y derivada del peso versus temperatura de cada tratamiento aplicado a la fibra natural. Fuente: Autores	39
Fig. 11. Curvas de la derivada del peso versus la variación de temperatura en cada tratamiento aplicado a la fibra natural. Fuente: Autores	41
Fig. 12. Ensayo de SEM 50um para Fibras de abacá (a) sin tratamiento, Fibras de abacá tratada con NaOH (b) ciclo 1, (c) ciclo 2, (d) ciclo 3, (e) ciclo 4, (f) ciclo 5, (g) ciclo 6, (h) ciclo 7, (i) ciclo 8, (j) ciclo 9, (k) ciclo 10. Fuente: Autores	42
Fig. 13. Análisis de impacto ambiental del indicador de huella de carbono (GWP) en	

las producciones de fibras con los diferentes tratamientos. Fuente: Autores 44

Fig. 14. Análisis de impacto ambiental del indicador de huella de carbono (GWP) en las producciones de mortero (Morteros sin fibra, Motero con Tratamiento Convencional, Mortero tratamiento reciclado, Mortero con polipropileno. Fuente: Autores..... 47

Resumen

Una de las grandes problemáticas que enfrentamos los seres humanos desde el siglo XX es el calentamiento Global. Estadísticamente, la producción del cemento utilizada en la industria de la construcción representa el 8 % de las emisiones de CO₂ en el planeta con tendencia a un crecimiento a través de los años, es por ello que a través de esta investigación se comparó el mortero con fibra de polipropileno y mortero con fibra de abacá sometida a un tratamiento de NaOH al 3%, donde se midió la huella de carbono emitida por cada uno a través del uso del software OpenLCA que realiza el análisis de ciclo de vida (LCA). Además, se realizaron ensayos físicos en los morteros frescos y endurecidos basados en las normas vigentes dando como resultado que el compuesto con fibra natural presenta mejores propiedades mecánicas tanto en compresión, flexión y tracción en comparación al mortero con fibra sintética. Se realizaron ensayos de TGA y SEM que demostraron que los ciclos de tratamientos de la fibra natural con el hidróxido de sodio eran efectivos hasta el tratamiento 10. Finalmente, los resultados del LCA demostraron que el compuesto de fibra natural es más sostenible y eco amigable que el compuesto con fibra sintética.

Palabras Claves: Fibra natural, Tratamiento de NaOH, Fibra de Abacá, Fibra Sintética, LCA, Mortero.

Abstract

One of the significant issues that humanity has been facing since the 20th century is global warming. Statistically, the production of cement used in the construction industry accounts for 8% of CO₂ emissions on the planet, with a tendency to increase over the years. That is why, through this research, mortar was compared with polypropylene fiber and mortar with abaca fiber subjected to a 3% NaOH treatment, where the carbon footprint emitted by each was measured using the OpenLCA software, which performs life cycle analysis (LCA). In addition, physical tests were conducted on both fresh and hardened mortars based on current standards. The results showed that the composite with natural fiber exhibits better mechanical properties in compression, flexion, and traction compared to the mortar with synthetic fiber. TGA and SEM tests were carried out, demonstrating that the treatment cycles of natural fiber with sodium hydroxide were effective up to the 10th treatment. Finally, the LCA results demonstrated that the natural fiber composite is more sustainable and eco-friendlier than the synthetic fiber composite.

Keywords: Natural Fiber, NaOH Treatment, Abaca fiber, Synthetic Fiber, LCA, Mortar

CAPÍTULO I

1. Introducción

La aplicación de fibras naturales ha aportado beneficios a diversas industrias y su uso ha ido en crecimiento (Ao et al., 2024; Ismail et al., 2022; Karim et al., 2021; Otto et al., 2017; Pickering et al., 2016), debido a sus propiedades como su baja densidad, sostenibilidad, amplia disponibilidad en la naturaleza, reducción de la dependencia de fuentes de energía/materiales no renovables y una resistencia específica relativamente alta (Ez-Zahraoui et al., 2023; Gurunathan et al., 2015; Joshi et al., 2004; Lau et al., 2018). En la industria textil, las fibras naturales son fundamentales para la confección de prendas cómodas y transpirables (Islam et al., 2020; Kirk et al., 2023; Kumar, 2017). En la industria de la construcción se utilizan en la fabricación de compuestos y reforzamientos de materiales constructivos (Awais et al., 2020; Brett C. Suddell & William J. Evans, 2005; Codispoti et al., 2015). En la industria automotriz y aeroespacial, se emplean fibras naturales para desarrollar componentes más ligeros y biodegradables (Awais et al., 2021; Ghosn, 2021; Zarafshani et al., 2023). Estos ejemplos reflejan el creciente interés en la utilización de fibras naturales como alternativa sostenible en diversas aplicaciones industriales.

La aplicación de tratamientos a las fibras naturales contribuye significativamente a mejorar sus propiedades intrínsecas y expandir su versatilidad en diversas aplicaciones industriales, estos tratamientos buscan mejorar la adherencia y compatibilidad entre las fibras naturales y las matrices poliméricas en los compuestos (Prabhu et al., 2021; Varghese & Mittal, 2018). Entre los tratamientos de fibras naturales destinadas a compuestos se incluyen procesos alcalinos, donde las fibras se someten a soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) para modificar su superficie y mejorar la adhesión con las matrices poliméricas (Lakshmi Narayana & Bhaskara Rao, 2021; Samanth & Subrahmanya Bhat, 2023). Además, los tratamientos con agentes de acoplamiento a base de silano, buscan establecer enlaces químicos entre las fibras y las resinas para optimizar la transferencia de carga y mejorar las propiedades mecánicas del compuesto (Li et al., 2007; Mohanty et al., 2001). Los tratamientos térmicos, enzimáticos y con peróxido también se utilizan para ajustar las características de las fibras naturales y su

compatibilidad con las matrices, permitiendo así la fabricación de compuestos reforzados con fibras naturales con propiedades mejoradas y adaptadas a aplicaciones específicas (Faruk et al., 2014; Kunanopparat et al., 2008; Mohammed et al., 2022).

El tratamiento alcalino o mercerización es uno de los tratamientos químicos más utilizados en fibras naturales (Jähn et al., 2002; Maiti et al., 2022). Este tratamiento demuestra su efectividad en fibras de abacá, coco, sisal, yute, plátano, bagazo, lino y palma de aceite (Alcivar-Bastidas et al., 2023; Samanth & Subrahmanya Bhat, 2023). Este proceso está compuesto usualmente por la inmersión de las fibras en soluciones alcalinas, generalmente utilizando NaOH en concentraciones de solución de 1-50% (Das & Chakraborty, 2006; Rokbi et al., 2011), a temperatura ambiente o elevada (Iannace et al., 2001; Jiang et al., 2018; Mishra et al., 2003), en tiempos de exposición que van entre 30 minutos a 72 horas (Venkateshwaran et al., 2013; Vilay et al., 2008), luego las fibras mercerizadas se lavan con agua para eliminar los residuos alcalinos y se neutralizan para evitar la degradación continua (Sumrith et al., 2020; Symington et al., 2009; Valadez-Gonzalez et al., 1999), finalmente las fibras se secan a temperatura ambiente (Alcivar-Bastidas et al., 2023; Sumrith et al., 2020) o a temperaturas entre los 50-105°C (Manalo et al., 2015; Oushabi et al., 2017; Vilaseca et al., 2007; Yan et al., 2016), por periodos diferentes de tiempo, entre 6-72 horas (Rokbi et al., 2011; Vilay et al., 2008).

Este procedimiento puede resultar en un consumo significativo de NaOH, lo que no solo afecta los costos de producción, sino que también plantea desafíos ambientales como los impactos asociados a la producción de NaOH, ya que se obtiene mediante electrolisis y este proceso requiere de mucha energía (Kim et al., 2008). En términos de kg. de NaOH por kg. de fibra natural, las soluciones de baja concentración de NaOH (1%) consumen entre 0.15-0.20 kg. de NaOH (Benyahia et al., 2013; Cao et al., 2006; Prasad et al., 2016), en concentraciones comunes (3-5%) se consume entre 0.44-1.90 kg. de NaOH (Benyahia et al., 2013; Ouajai et al., 2004), en altas concentraciones de NaOH (10-50%) se puede consumir hasta 6.67 kg. de NaOH (Das & Chakraborty, 2006; Ouajai et al., 2004). Esta cantidad depende del tipo de fibra natural a tratar y la cantidad de solución a utilizar. Además, la generación de agua residual al retirar las fibras del baño alcalino también agrega consideraciones ambientales en términos de

tratamiento y disposición adecuada de los efluentes (Dam & Bos, 2004).

La reducción de los impactos ambientales de la producción de fibras naturales tratadas mediante la reducción del consumo de productos químicos, utilizar nuevos procesos de tratamiento y la disminución de la generación de aguas residuales, se ha convertido en un desafío para la comunidad científica. En la evaluación de la efectividad en alternativas de producción más limpia y economía circular, varios investigadores recomiendan el uso de análisis de ciclo de vida (LCA) (Azapagic & Clift, 1999; Curran, 2012; Peña et al., 2021; Salas et al., 2016; Santiago-Herrera et al., 2024).

Se han realizado varios estudios de análisis de ciclo de vida a fibras naturales y composites de fibras naturales como algodón, bagazo, bambú, cáñamo, espadaña, lino, kenaf y yute vs. alternativas con fibras sintéticas como carbón, polipropileno, vidrio y poliéster (Sachiko Ogawa, Keiji Ogawa, 2015; Senghor et al., 2024). Aplicados a piezas de automóviles/aeronáutica, material de embalaje/almacenamiento, materiales para la construcción, etc (Luz et al., 2010; Zhou et al., 2018). Estos estudios concluyen que existe una reducción de huella de carbono en las fibras naturales y composites con fibras naturales comparándolas con fibras y composites sintéticos. Algunos estudios incluyen captura y almacenamiento de carbono, fibras naturales sin tratamiento químico, uso de fertilizantes en el cultivo de fibras naturales, uso y disposición final/fin de ciclo de vida (cradle-to-grave) de los compuestos (Corbière-Nicollier et al., 2001; Duigou et al., 2011; Wötzel et al., 1999).

Ita-Nagy et al. (2020) evalúa fibras de bagazo residual para utilizarlo en la producción de pellets de bio compuestos reforzados con fibra utilizados para la fabricación de filamentos para impresión 3D. Analiza dos alternativas, una con tratamiento térmico más tratamiento de hidróxido de sodio y otra con solo tratamiento de hidróxido de sodio, al 16% y 18% respectivamente, con una relación fibra: solución de 1:10. El tratamiento de hidróxido de sodio incluye la reutilización de solución de NaOH mediante un proceso de caldera de recuperación, incrementando la relación solución/bagazo de 2/1 a 5/1, lo que permite reciclar de 56 a 61% de NaOH. Para estudio de LCA se utiliza el software SimaPro con la metodología Recipe y la base de datos Ecoinvent v3.4, donde se incluye un alcance de materias primas y producción (cradle-to-gate). Este estudio considera el carbono absorbido durante la etapa de

crecimiento de la planta. Los resultados de huella de carbono o Global Warming Potential (GWP) son de 1.22 kg de CO₂ eq. /kg de pellet para el tratamiento térmico + NaOH y 1.20 kg de CO₂ eq. /kg de pellet solo para el tratamiento de NaOH. Comparándolo con pellets plásticos se tiene una reducción de GWP del 39.3% y 40.3% respectivamente.

George & Bressler (2017) analiza la fibra de cáñamo y propone dos tratamientos nuevos basados en ácido anilina-2-sulfónico y ácido 4-amitolueno-3-sulfónico. Los compara con los tratamientos de anhídrido acético, anhídrido propiónico e hidróxido de sodio al 10% con una relación solución: fibra de 1:55. Realiza un LCA con un alcance de cradle to gate. Utiliza el software SimaPro, metodología ReCiPe Endpoint (H) V1.10 y Ecoinvent v3 database. En la producción de fibra no considera fertilizantes ni pesticidas. El CO₂ absorbido en el crecimiento de las plantas de cáñamo no fue considerado ni estimado. Y asume que el CO₂ procedente de la biomasa es equivalente a la cantidad que se extrae de la atmósfera durante el crecimiento de la planta, entonces no contribuye al calentamiento global. El resultado de la fibra de cáñamo tratada con 10% de NaOH es de 8.50 kg CO₂ eq. /kg de fibra tratada. El 78.1% de huella de carbono (GWP) proviene del tratamiento con NaOH. La fibra tratada comparada con la fibra de vidrio tiene una reducción del 40% de GWP.

Kim et al. (2008) estudia la fibra de kenaf y la compara con fibra de vidrio. Ambas aplicadas en una parte de automóvil en forma de compuesto reforzado con fibra. La fibra de kenaf es tratada con 5% de NaOH con relación fibra: solución de 1:20. Este estudio de LCA tiene un alcance cradle to grave, no incluye el uso de fertilizantes, considera el carbono secuestrado por el suelo debido a un proceso de compostaje y no incluye el carbono contenido en la biomasa debido a que este es emitido a la atmósfera en el fin de vida del producto. La metodología usada para el análisis de impacto de ciclo de vida es TRACI y Ecoinvent como base de datos. El resultado de GWP para el kenaf es de 4.2 kg de CO₂ eq. /kg de fibra tratada y el de la fibra de vidrio de 4.5 kg CO₂ eq. /kg de fibra, teniendo una reducción del 6.6%.

El propósito de este estudio consiste en (i) comparar el desempeño ambiental de los tres tipos de morteros fabricados (mortero sin fibra, mortero con fibra natural y mortero con fibra sintética), realizando el cálculo de la huella de carbono a través del análisis

de ciclo de vida para cada material; (ii) examinar cómo la reutilización de la solución de NaOH afecta el tratamiento de fibras naturales, analizando sus repercusiones en las propiedades físicas, químicas y ambientales de las fibras de abacá; (iii) moldear y ensayar los morteros elaborados con el fin de evaluar las propiedades mecánicas y la resistencia de cada compuesto para mejorar su eficiencia y trabajabilidad en el campo de la construcción sostenible.

CAPÍTULO II

2. Materiales

2.1. Matriz cementicia

Para la elaboración de la matriz cementicia, se utilizó cemento tipo GU elaborado bajo la normativa ASTM C1157 (ASTM International, 2023b), las propiedades del cemento se muestran en la Tabla 1. La arena utilizada es de tipo natural, con una granulometría (Ver Fig. 1) configurada en el promedio de los límites mostrados en la normativa ASTM C144 (ASTM International, 2018). El agua utilizada fue tomada de la red de agua potable de Guayaquil y cumple con lo especificado en ASTM C270 (ASTM International, 2019).

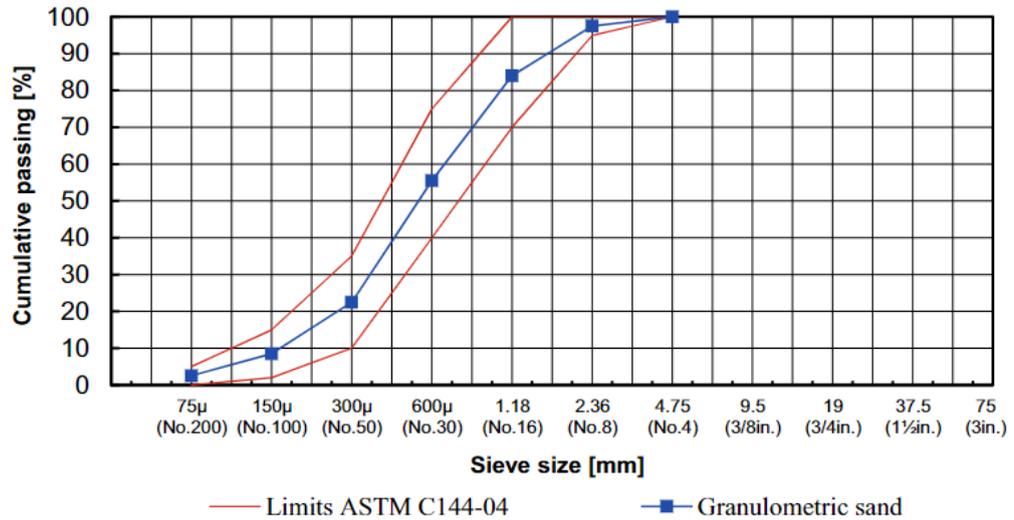


Fig. 1. Curva de granulometría utilizada. **Fuente:** (Alcivar-Bastidas et al., 2023).

Tabla 1. Composición química y otras propiedades del cemento tipo GU. **Fuente:** Autores.

Materiales	Cantidad
SiO ₂ [%]	16.9
Al ₂ O ₃ [%]	3.05
Fe ₂ O ₃ [%]	1.72
CaO [%]	58.6
MgO [%]	0.71
SO ₃ [%]	2.41
K ₂ O [%]	0.13
Na ₂ O [%]	0.08
TiO ₂ [%]	0.17

P ₂ O ₅ [%]	0.25
LOI [%]	15.9
Gravedad específica [g/ml]	2.85
Superficie específica [m ² /kg]	526
Resistencia a la compresión [MPa]	
1 día	7.7
3 días	17.1
7 días	22.4
28 días	28.3

2.2. Fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio

Las fibras de abacá utilizadas fueron determinadas a base a investigaciones previas de Alcivar-Bastidas et al., (2023a), donde la longitud óptima escogida fue de 30 mm y el tratamiento fue hidróxido de sodio al 3%. El diámetro de la fibra de abacá se encuentra entre 151 y 284 μm y tiene una resistencia a la tensión 465.18 MPa.

El tratamiento de la fibra de abacá se describe en Fig. 2, primero se preparó una disolución de hidróxido de sodio y agua, con 3% de NaOH en base al peso del agua, basados en el trabajo de Alcivar-Bastidas et al., (2023a) y Jiang et al., (2018). Luego se calculó el 3.5% del peso de la fibra en relación al peso de la disolución para iniciar un proceso de sumergido de fibra por 4 horas. Las fibras de abacá impregnadas de la disolución se lavaron con agua potable hasta que el color café del lavado se tornó transparente. El siguiente paso fue colocar las fibras limpias en un horno y secar a temperatura $85 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 horas para aumentar la rigidez y disminuir la absorción por humedad. Finalmente, se secaron a temperatura ambiente y se almacenaron herméticamente.

Para el tratamiento de la fibra natural de abacá del laboratorio se usaron las siguientes proporciones de la Tabla 2.

Tabla 2. Cantidades de materiales para el tratamiento de fibra de abacá con NaOH (3%). **Fuente:** Autores

Material	Masa (gr)
Entrada	
Agua	1000
NaOH	30
Fibra	36.1
Agua de lavado	4326
Salida	
Fibra tratada	28.7

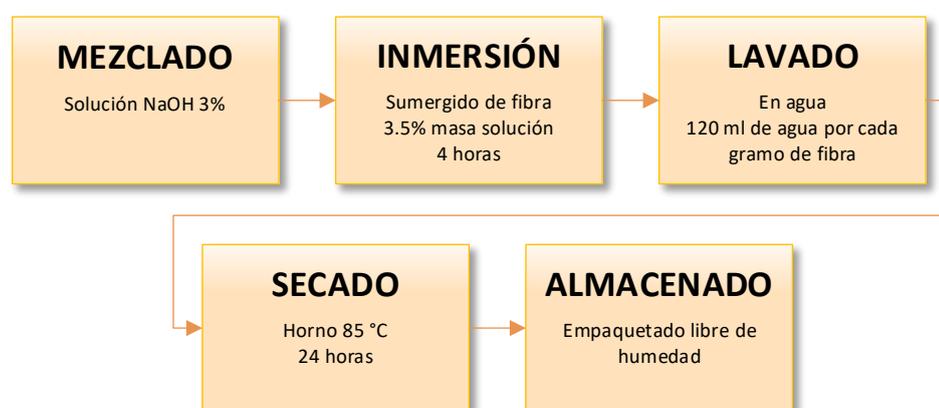


Fig. 2. Descripción de tratamiento alcalino de fibras de abacá en solución de 3% NaOH. **Fuente:** Autores.

2.3. Fibras de polipropileno

Las fibras de polipropileno utilizadas se elaboraron bajo la normativa ASTM C1116 (ASTM International, 2023a). En esta investigación se hizo uso de fibras sintéticas, que ayuda a reducir el fisuramiento previo el fraguado y controla la retracción plástica (Sika, 2019). La fibra de polipropileno de monofilamento utilizada en este estudio, es fabricada con 100% de resina virgen, cuenta con las siguientes propiedades físicas: longitud: 19 mm; diámetro: 0.03-0.05 mm; resistencia a la tracción: 300-350 MPa; densidad: 910 kg/m³; resistencia a la alcalinidad: alta (Sika Colombia S.A.S, 2022).

2.4. Mezcla de mortero

Para la mezcla del mortero nos basamos en la normativa ASTM C305 (ASTM International, 2020c), que consiste en el mezclado mecánico del mortero de cemento hidráulico de consistencia plástica a través de una mezcladora eléctrica de tipo epicíclico que mezclara los materiales de forma homogénea con dos velocidades.

Los diseños de mezcla y las dosificaciones de las fibras de abacá y polipropileno se realizaron de acuerdo a la revisión en la literatura (Alcivar-Bastidas et al., 2023) para 1 m³ de mortero como se muestra en Tabla 3. El peso de las fibras en ambos casos representa a un 0.2% del peso total del sólido.

Tabla 3. Composición de la mezcla del mortero para 1 m³. **Fuente:** Autores

Materiales	Cemento	Arena	Agua	Fibra
Mortero sin Fibra (SF)	474 kg	1423 kg	292 kg	---
Mortero con fibra de abacá tratada (AF)	474 kg	1423 kg	316.24 kg	4.4 kg
Mortero con fibra de polipropileno (PF)	474 kg	1423 kg	316.24 kg	4.4 kg

El agua se dosificó para obtener un flujo de 110±5 mm de acuerdo a la normativa ASTM C1437 (ASTM International, 2020b), en donde se calculó la cantidad de agua necesaria a través del ensayo de la mesa de flujo. Para este ensayo se pesan previamente el cemento, la arena y la fibra, mientras que la cantidad de agua será la incógnita. La instrumentación utilizada en el ensayo: batidora mecánica, paleta, tazón para mezclar, raspador, pisón, molde troncónico, mesa de golpes y calibre.

Procedimiento del ensayo:

1. Primero se mezcla el agua estimada con el cemento pesado durante 30 segundos en velocidad 1.
2. Luego, se vierte la arena en velocidad 1 y se deja mezclar por 15 segundos.
3. Después, se vierte la fibra y se deja mezclar por 15 segundos para después cambiar a velocidad 2 y dejar mezclar por 30 segundos más.
4. Se retira el mortero adherido a las paredes del tazón por 30 segundos y se deja reposar con una toalla húmeda por 1 minuto.
5. Luego, se mezcla nuevamente todo el mortero por 1 minuto más.
6. Finalmente, se obtiene la mezcla.

CAPITULO III

3. Metodología

El trabajo a continuación consta de cinco capítulos:

1. Introducción
2. Materiales
3. Metodología
4. Resultados y discusiones
5. Conclusiones

El planteamiento de esta investigación es realizar comparaciones de desempeño ambiental para tres tipos diferentes de mortero (mortero sin fibra, mortero con fibra de abacá tratada, mortero con fibra de polipropileno), para saber la eficiencia de la fibra frente a factores agresivos hacia los morteros y la huella de carbono que este producto emite. Para calcular la eficiencia del producto realizamos una serie de ensayos de propiedades físicas para un control de calidad adecuado, mientras que para el cálculo de del desempeño ambiental hacemos uso de un software llamado OpenLCA que realizara una evaluación del ciclo de vida del mortero para medir la huella de carbono. El ciclo de vida de un producto consiste tanto en la extracción de los recursos, como en la producción, la logística, el uso y final de su vida útil (Salas et al., 2016).

3.1. Ensayos de propiedades físicas de morteros

Estos ensayos son procedimientos utilizados para evaluar las diversas características físicas de las mezclas del mortero, para garantizar que la matriz cementicia cumpla con los requisitos específicos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Estos ensayos se dividieron en dos etapas: ensayos en estado fresco y ensayos en estado endurecido realizados a los 7 y 28 días. Para la elaboración de estos ensayos se crearon probetas en forma de cilindro, cubos, viguetas, dog bone, placas y losetas.

3.1.1. Ensayos de propiedades físicas de morteros en estado fresco

Se realizaron ensayos en el mortero en estado fresco, de acuerdo a lo presentado en la Tabla 4. Se realiza el ensayo de flujo para controlar que los tres morteros ensayados tengan la misma trabajabilidad y fluidez. El ensayo de densidad aparente se realizó para determinar la masa por unidad de volumen, ya que la inclusión de fibras podría modificar la densidad e influir en propiedades como resistencia y absorción de agua. El ensayo de hidratación cinética con calorímetro isotérmico conocido como HolcimHeat ayudó a determinar si existen afectaciones en el tiempo de fraguado de los tres morteros.

Tabla 4. Ensayos y normas utilizadas para morteros frescos. **Fuente:** Autores.

Ensayo	Normativa	Referencia
Flujo de mortero	ASTM C1437	(ASTM International, 2020b)
Densidad aparente	UNE-EN 1015-6	(UNE, 2020)
Hidratación cinética	ASTM C1753	(ASTM International, 2016)

3.1.1.1 Flujo de mortero de cemento hidráulico

Este ensayo se lo realiza una vez finalizado el proceso de mezclado de mortero acorde a la normativa ASTM C305 (ASTM International, 2020c). El flujo de mortero nos permite determinar la consistencia y la trabajabilidad de la mezcla, una propiedad importante ya que permite tener un control de calidad del mortero y asegurarnos de que cumple con la especificaciones y requisitos de diseño. El procedimiento del ensayo de mesa de flujo se encuentra descrito en la normativa ASTM C1437 (ASTM International, 2020b) y consiste en verter la mezcla sobre un cono metálico con forma tronco-cónica, que luego será colocado en la mesa de flujo y esta realizará un total de 25 golpes, a través del impacto permite obtener la maleabilidad de la mezcla en base a una dosificación realizada en cálculos previos, el rango óptimo de la fluidez de la mezcla se encuentra aproximadamente en 110 ± 5 mm, este ensayo se lo realizó en los 3 tipos de mortero.

3.1.1.2 Densidad aparente de morteros

La densidad aparente de morteros es la masa del mortero fresco por unidad de volumen. Se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). Esta propiedad es esencial en la mezcla de mortero, ya que podría afectar la capacidad del mortero para llenar completamente los espacios y adherirse a las superficies.

Para realizar este ensayo se taró en la balanza un cilindro de 1 litro de volumen y se lo llenó con mortero fresco, luego se tomó el peso del mortero dentro del cilindro. Finalmente, se calcula la densidad aparente dividiendo la masa del mortero por su volumen.

Este ensayo arroja datos sobre la compactación del mortero y es crucial para garantizar la calidad y consistencia de las mezclas utilizadas en la construcción, para este ensayo se tomó de referencia la norma UNE-EN 1015-6 (UNE, 2020).

3.1.1.3 Hidratación de morteros mediante calorímetro semi adiabático

El ensayo de calorimetría sirve para medir el calor liberado y correlacionarlo con el tiempo de fraguado del mortero. Se utiliza el calorímetro semi adiabático para simular las condiciones de obra donde se colocará el mortero. Esta prueba es importante debido a que las variaciones en el calor liberado durante el proceso de hidratación del cemento en el mortero, podría tener implicaciones importantes en términos de desarrollo de resistencia y durabilidad. El ensayo fue realizado al mismo tiempo para los 3 tipos de morteros, para mantener las muestras bajo las mismas condiciones y obtener un resultado idóneo para su análisis. En este ensayo se tomó 1300 gr. de mortero fresco y se lo introdujo en un cilindro con las dimensiones adecuadas para evaluar en el equipo HolcimHeat, este ensayo describió el cambio del estado plástico al estado endurecido del mortero denominándolos: fraguado inicial, que hace referencia al tiempo transcurrido desde que se coloca el agua en la mezcla para que ésta pierda su viscosidad y aumente su temperatura indicando que el mortero se encuentra parcialmente hidratado, y fraguado final, que toma el tiempo desde que el mortero se encuentra en estado maleable hasta cuando se vuelve totalmente rígido e indeformable (Garófalo, 2015). Luego se ingresó los datos en el software ThermoCal y se dio inicio a la lectura de la temperatura por hora. Al finalizar este ensayo el software arroja una gráfica

detallada de temperatura vs. tiempo. Para realización de este ensayo tomamos como referencia la norma ASTM C1753 (ASTM International, 2016).

3.1.1. Ensayos de propiedades físicas de morteros en estado endurecido

Se realizaron ensayos en el mortero en estado endurecido a 7 y 28 días, de acuerdo a lo presentado en la Tabla 5. Comenzando con los ensayos de rotura en cada elemento tanto de compresión, flexión, tracción en los cubos, viguetas y dog bone respectivamente y ensayo de adherencia en una loseta con el fin de obtener las propiedades mecánicas del material. Mientras que el ensayo de permeabilidad de Karsten se realizó sobre las placas para medir la penetración del agua a través de los métodos TQC y Rilem, todos estos ensayos se realizaron de acuerdo a cada respectiva Norma ASTM International.

Tabla 5. Ensayos y normas utilizadas para morteros endurecidos. **Fuente:** Autores

Ensayo	Normativa	Referencia
Compresión	ASTM C109	(ASTM International, 2020a)
Flexión	ASTM C348	(ASTM International, 2021b)
Tracción	Japan Society of Civil Engineers	(Japan Society of Civil Engineers, 2008)
Ultrasonido	ASTM C597	(ASTM International, 2023c)
Agrietamiento	ASTM C1579	(ASTM International, 2021a)

3.1.1.1 Resistencia a la compresión de morteros

La resistencia a la compresión de morteros es un procedimiento estandarizado que evalúa la capacidad de un mortero para soportar cargas de compresión. Es uno de los parámetros más críticos debido a que es un indicador clave del rendimiento del mortero y su capacidad para soportar cargas. Para la ejecución de este ensayo se hicieron roturas a los 7 días y roturas a los 28 días, para esto se necesitó marcar los centros y tomar las medidas de los cubos con dimensiones de 50x50x50 mm para que al momento de ser ensayados en la prensa la fuerza distribuida sea aplicada de manera proporcional y arroje resultados eficaces para la medición de su respectiva resistencia. Este ensayo está basado en la norma ASTM C109 (ASTM International, 2020a).

3.1.1.2 Resistencia a la flexión de morteros

Esta propiedad esencial de los morteros, llamada resistencia a la flexión, se encarga de evaluar la capacidad del material para oponerse a fuerzas de flexión. Esta prueba es importante debido a que ayuda a diseñar estructuras que requieren elementos de mortero capaces de soportar cargas transversales. Para la elaboración de este ensayo se usaron viguetas de dimensiones de 160x40x40 mm bajo la norma ASTM C348 (ASTM International, 2021b).

Este ensayo implica someter al mortero a cargas que inducen deformación, permitiendo la evaluación de su aptitud para resistir esfuerzos en situaciones donde se aplica una carga que genera curvatura. Para este ensayo, colocamos las viguetas en una prensa y le aplicamos fuerza en el punto centro de la parte de arriba, manteniendo dos apoyos en la parte de abajo, flexionando la vigueta hasta fracturarla y así obteniendo la resistencia a flexión en unidades de fuerza.

3.1.1.3 Resistencia a la tracción de morteros

El ensayo de tracción de morteros mide la resistencia del material a ser sometido a fuerzas de tracción o tensionales, proporcionando información sobre la capacidad del mortero para resistir esfuerzos a tracción. Este parámetro es crucial en el diseño estructural, control de calidad y optimización de mezclas, ya que contribuye a la comprensión integral de su comportamiento mecánico en los diferentes elementos estructurales. Para realizar este ensayo se utilizaron los moldes conocidos como dog bone y fueron ensayadas en base al procedimiento del Japan Society of Civil Engineers (Japan Society of Civil Engineers, 2008).

3.1.1.4 Velocidad del pulso ultrasónico a través del mortero

El ensayo de ultrasonido es una técnica no destructiva que permite evaluar la uniformidad y la calidad relativa del concreto, indicando la presencia de vacíos y grietas. Se realizó el ensayo de ultrasonido en las tres muestras de mortero para determinar si existen modificaciones en la homogeneidad, vacíos o grietas por la inclusión de fibras.

Se realizó a través de un generador de pulsos que mide la velocidad de la propagación

de ondas a través de dos transductores (transmisor y receptor) que generan una ráfaga de 3 pulsos electrónicos por segundo para determinar las propiedades elásticas del mortero a través de su longitud. Este ensayo se lo llevó a cabo a los 28 días sobre cilindros de 200 mm de longitud por 100 mm de diámetro de cada tipo de mortero. Antes de proceder con el ensayo se procede a secarlos en un horno por 24 horas, posteriormente se tomaron medidas y peso del cilindro. Finalmente, se usó el equipo y se tomó las medidas de conductividad (3 medidas), este procedimiento se realizó en base a la normativa ASTM C597 (ASTM International, 2023c).

3.1.1.5 Evaluación del agrietamiento por contracción plástica del mortero

Esta prueba de evaluación del agrietamiento por contracción plástica del mortero tiene como objetivo principal medir y evaluar la tendencia del mortero a desarrollar grietas debido a la contracción plástica durante su fraguado y endurecimiento. El procedimiento para este ensayo es una modificación de la normativa ASTM C1579 (ASTM International, 2021a), se lo realizó en placas de hormigón de 60x60 cm² por 6 cm de espesor, donde se colocó una capa tipo enlucido de 2 cm de espesor de cada tipo de mortero (sin fibra, con fibra de abacá y fibra sintética). Una vez enlucidas las tres placas, fueron colocadas a condiciones de obra para evaluar su rendimiento. El primer ensayo fue realizado a los 1 días de haber enlucido cada placa, en donde se realizó un conteo detallado de cada grieta clasificándolas en base a la longitud y espesor de la grieta para así realizar la comparación. Las grietas contabilizadas fueron plasmadas en un croquis de cada placa, para no alterarlas físicamente. El procedimiento seguido es en base a la normativa ASTM C1579 (ASTM International, 2021a).

3.2. Reutilización de solución de hidróxido de sodio

Para el análisis del método de tratamiento de las fibras, buscamos los puntos más críticos del proceso, es decir, donde hay un exceso o desperdicio de los materiales primarios tales como el agua o el hidróxido de sodio para optimizar el uso y costo de su producción. Por lo tanto, se propone un proceso de reutilización de solución de hidróxido de sodio de acuerdo a la Fig. 3. Se realizan ciclos de tratamiento continuo con la misma solución de NaOH, se determina consumos e inventarios en cada ciclo, se comprueba la efectividad del tratamiento en las fibras con ensayos de TGA y SEM.

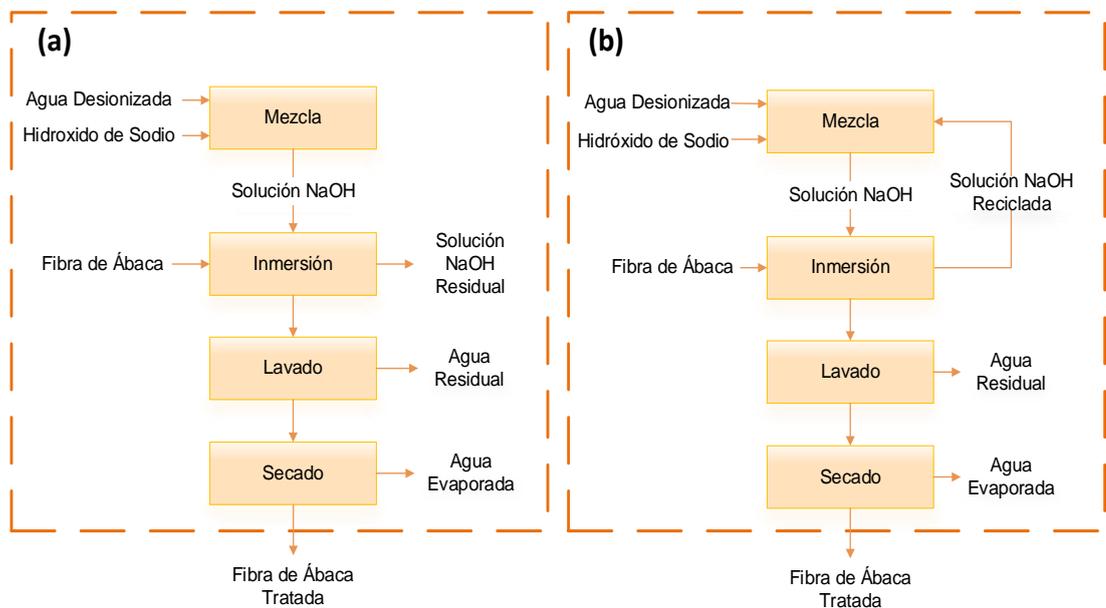


Fig. 3. Diagrama de tratamiento alcalino de fibra de abacá. (a) Tratamiento Convencional (b) Propuesta de reuso de solución de NaOH. **Fuente:** Autores

3.2.1. Termogravimetría (TGA)

El ensayo termogravimétrico (TGA) fue realizado para evidenciar los cambios de masa de la fibra en relación al incremento de temperatura controlada, esta prueba nos indica

la descomposición térmica, contenido de humedad y la estabilidad térmica de la fibra. Este método nos permite analizar cambios en la composición de materiales, como fibras naturales, a medida que se someten a diferentes condiciones térmicas. Cuando comparas dos fibras naturales, una sin tratamiento y otra con un tratamiento que reduce la hemicelulosa y la lignina, el TGA puede proporcionar información valiosa sobre la estabilidad térmica y las características de composición de estas fibras. Para la realización del ensayo se utilizó el equipo SDT Q600 Simultaneous Thermal Analyzer (Analizador Térmico Simultáneo), con uso múltiple que permite la realización de dos tipos de técnicas de ensayo: Termogravimetría (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), por medio de este equipo se llega a la obtención de información básica y fundamental respecto a los cambios térmicos y composición de las misma.

3.2.2. Microscopia de barrido de electrones (SEM)

Este ensayo proporcionó imágenes de alta calidad de la superficie de la fibra en crudo y de los 10 tratamientos con la solución de NaOH al 3%, donde se puede examinar la morfología de la fibra como la rugosidad superficial, la porosidad y la estructura de la pared celular para saber si el tratamiento álcali es efectivo durante los diferentes ciclos de reutilización de solución (Oushabi et al., 2017). El equipo utilizado para el ensayo se denomina microscopio electrónico de barrido, donde a través de un haz de electrones barre la superficie de la muestra creando una interacción que proporciona información para la elaboración de la imagen (Fourie, 1997).

3.1. Escalado de producción de fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio

En este apartado, se hablará sobre el escalado de producción de la fibra de abacá tratada desde el laboratorio en pequeñas magnitudes hasta productos de mercados en grandes proporciones, es decir, se estimarán cantidades y se optimizarán procesos para expandir la capacidad de fabricación de la fibra natural tratada a través de procesos industriales.

3.1.1. Inventario de materiales

Los materiales utilizados en la producción de fibra de abacá tratada a escala laboratorio se describen en la Tabla 6. Para realizar el dimensionamiento industrial, se elige la unidad funcional de 1 kg. de fibra de abacá tratada.

Tabla 6. Cantidades de materiales para 1 kg de fibra de abacá tratada con NaOH. **Fuente:** Autores.

Material	Masa (kg)
Entrada	
Agua	34.8
NaOH	1.04
Fibra	1.25
Agua de lavado	150.73
Salida	
Fibra tratada	1

Como se refleja en la Tabla 6, para la producción de 1 kg. de fibra de abacá tratada, se requiere 1.04 kg. de NaOH, la relación de consumo es aproximadamente 1:1. Este procedimiento puede resultar en un consumo significativo de NaOH, lo que no solo afecta los costos de producción, sino que también plantea desafíos ambientales como los impactos asociados a la producción de NaOH, ya que se obtiene mediante electrolisis y este proceso requiere de mucha energía (Kim et al., 2008).

En términos de kg. de NaOH por kg. de fibra natural, las soluciones de baja concentración de NaOH (1%) consumen entre 0.15-0.20 kg. de NaOH (Benyahia et al., 2013; Cao et al., 2006; Prasad et al., 2016). en concentraciones comunes (3-5%) se consume entre 0.44-1.90 kg. de NaOH (Benyahia et al., 2013; Jiang et al., 2018; Ouajai et al., 2004), en altas concentraciones de NaOH (10-50%) se puede consumir hasta 6.67 kg. de NaOH (Das & Chakraborty, 2006; Ouajai et al., 2004). Esta cantidad depende del tipo de fibra natural a tratar y la proporción de solución de fibra a utilizar. Además, la generación de agua residual al retirar las fibras del baño alcalino también agrega consideraciones ambientales en términos de tratamiento y disposición adecuada de los efluentes (Dam & Bos, 2004).

Para reducir el consumo de NaOH, se propone la reutilización de NaOH como metodología novedosa de economía circular.

3.2. Análisis de ciclo de vida

El análisis de ciclo de vida (LCA) es una metodología que nos permite evaluar y comprender el impacto ambiental asociado con todas las etapas de su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Este proceso refleja resultados cuantitativos mediante compilación y evaluación de datos de entrada y salida sobre los impactos ambientales en el sistema. El análisis de ciclo de vida en los morteros ayuda a identificar áreas específicas donde se pueden implementar mejoras para reducir el impacto ambiental. Esto puede conducir a la optimización de los procesos de producción, el uso de materiales más sostenibles, la mejora de la eficiencia en el transporte y la gestión responsable al final de la vida útil del producto (Salas et al., 2016). Otro aspecto crucial es la creciente demanda del mercado y de los consumidores por edificaciones sostenibles (D. M. Petroche & Ramirez, 2022). El LCA proporciona la base para la certificación de construcciones y productos bajo estándares de sostenibilidad reconocidos internacionalmente, como LEED o BREEAM (Amiri et al., 2021). Esta certificación no solo aumenta el valor y la competitividad de las construcciones en el mercado, sino que también demuestra un compromiso tangible con la responsabilidad ambiental.

El análisis de ciclo de vida consta de cuatro etapas (ISO, 2006):

- 1.** Definición de objetivo y alcance.
- 2.** Análisis de inventario de ciclo de vida.
- 3.** Evaluación de impacto de ciclo de vida.
- 4.** Interpretación de resultados.

3.2.1. Objetivo y alcance

En esta investigación se medirá el impacto ambiental de la fibra natural, su influencia en una matriz cementicia y la sostenibilidad que este genera a la industria de la construcción, comparándola con un mortero sin fibras y un mortero con fibras de polipropileno. La unidad funcional es 1 m³ de mortero sin fibras, 1 m³ de mortero con fibras naturales de abacá tratada con NaOH y 1 m³ de mortero con fibras de polipropileno. El alcance de este estudio será desde la cuna hasta la puerta (cradle to gate), incluye las fases de cultivo de abacá, producción de fibras de abacá, tratamiento alcalino y producción de mortero en planta de concreto, como se muestra en la Figura 4.

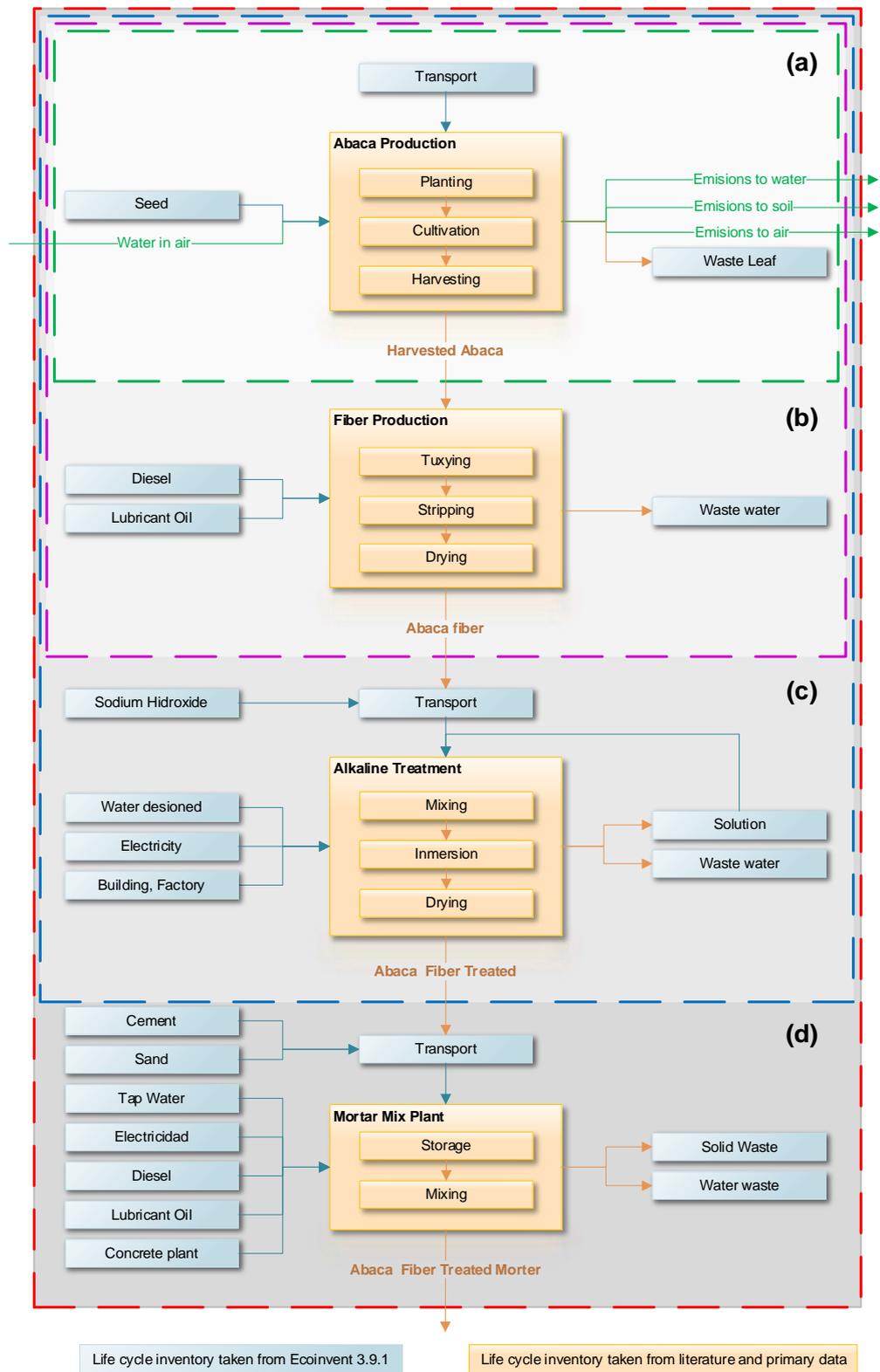


Fig. 4. Límites del sistema y alcance de procesos de producción de abacá, fibra, tratamiento y fabricación del mortero. **Fuente:** Autores.

3.2.1.1 Cultivo de abacá

El Abacá es producida mundialmente, Filipinas es el país con la mayor producción con el 63.56 % del cultivo de abacá, el segundo lugar lo ocupa Ecuador con 34.50 % y los otros países representan el 1.94 % del total de exportaciones de abacá (FAO, 2022). El cultivo de la planta de abacá o *Musa textilis*, involucra varias etapas especializadas. Comienza con la siembra de semillas en viveros, las semillas germinan y las plántulas crecen hasta alcanzar un tamaño adecuado para ser trasplantadas al campo. Las plántulas trasplantadas se desarrollan en la plantación. Durante esta etapa, se lleva a cabo el cuidado, que incluye la aplicación de fertilizantes, riego adecuado y control de malezas y plagas (Göltenboth & Mühlbauer, 2010). La planta de abacá es perenne y forma grupos de tallos que crecen desde la base. Estos tallos se desarrollan en un tiempo de 10 a 18 meses y son la parte cosechada de la planta. Cuando los tallos han alcanzado la madurez adecuada, se procede a la cosecha (Lalusin & Villavicencio, 2015). La cosecha implica cortar los tallos a unos 10 cm del suelo con un corte en bisel hacia afuera para prevenir que la planta se pudra. Después del corte, lo cosechado se agrupa y se prepara para el proceso de producción de fibras (Simbaña et al., 2020).

De acuerdo con los resultados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC (INEN, 2023) existen 8 tipos de prácticas de cultivo, en relación a la fertilización y control de plagas, como se muestra a continuación:

- 1) Sin F Sin P: Sin Fertilizantes y sin Pesticidas.
- 2) Sin F Con PQ: Sin Fertilizantes y con Pesticidas Orgánicos.
- 3) FQ Sin P: Con Fertilizantes y sin Pesticidas.
- 4) FQ PQ: Con Fertilizantes Químicos y Pesticidas Químicos.
- 5) FOr Sin P: Con Fertilizantes Orgánicos y sin Pesticidas.
- 6) FOr PQ: Con Fertilizantes Orgánicos y con Pesticidas Químicos.
- 7) FOr Por: Con Fertilizantes Orgánicos y con Pesticidas Orgánicos.
- 8) FQOr Sin P: Con Fertilizantes Químico-Orgánicos y sin Pesticidas.

Cada tipo de cultivo presenta una contribución diferente en la producción nacional, la Tabla 7 muestra la distribución de la producción de fibra de abacá en Ecuador en base al uso de fertilizantes y de pesticidas clasificados por orgánicos y químico cada uno.

Tabla 7. Productos químicos utilizados para el mantenimiento del cultivo de abacá en Ecuador. **Fuente:** Autores

Tipo de Plantación	Superficie cosechada (ha)	Abacá cosechado (Ton)	Porcentaje cosecha (%)
Sin F Sin P	5650	7599	54.93%
Sin F Con PQ	1011	1592	11.51%
FQ Sin P	336	504	3.64%
FQ PQ	243	164	1.18%
FOr Sin P	1221	1115	8.06%
FOr PQ	310	526	3.80%
FOr Por	302	302	2.18%
FQOr Sin P	1196	2033	14.69%

F: Fertilizante
P: Pesticida
Q: Químico
Or: Orgánico

Con un 54.93 % se tiene que el abacá es un cultivo sin control debido a que no lleva el uso de fertilizante ni de pesticidas esto se debe a las condiciones húmedas de la provincia de Santo Domingo, la mayor productora a nivel nacional que permite el desarrollo de esta planta. Con un 14.69% se tiene la abacá producida con el uso de Fertilizante químico la que se encuentra destinada para la importación de la misma luego obtener la materia la fibra tuxeada ,y separada de la misma, con un 11.51% se tiene la fibra sin el uso de fertilizantes y con pesticidas químicos la cual posee el mismo destino, ya sea importación o exportación, el 8.06% por ciento pertenece a la fibra que tratada con fertilizantes orgánicos y sin el uso de pesticidas y el ultimo 10.81% corresponde a la cosecha en menor medida realizadas con el uso de pesticidas y fertilizantes dependiendo del productor de la zona y en base a sus necesidades e interés en la producción de la misma. En este trabajo investigativo se realizó el análisis de ciclo de vida al cultivo sin fertilizante y sin plaguicida (Sin F sin P) debido a que representa más del 50% del cultivo total de abacá en Ecuador.

3.2.1.2 Producción de fibra de abacá

Después de la cosecha, el proceso de producción de fibras de abacá sigue una serie de pasos cuidadosos para transformar los tallos recién cortados en un producto final listo para el mercado. En primer lugar, se lleva a cabo el deshojado y corte de los tallos maduros, seguido del tuxing o separación de las vainas circundantes. Estas vainas se

cortan en tiras, clasificando las exteriores de calidad inferior y color canela o marrón, y las interiores de mejor calidad, de color blanco (Araya-Gutiérrez et al., 2023). Luego, se realiza el stripping o desmenuzado dentro de las primeras 8 a 12 horas después del corte, utilizando una máquina que consta de un motor diésel y un sistema de rodillos y cuchillas para desgarrar las fibras (Richter et al., 2013). Posteriormente, las fibras se someten a un proceso de lavado para eliminar impurezas antes de pasar por una fase de secado, que puede durar horas o días, dependiendo de las condiciones atmosféricas. Durante el drying o secado, se realiza una clasificación preliminar según el color de las fibras, y después de alcanzar un 8% de contenido de humedad, se procede a una clasificación más detallada basada en color y diámetro (Sumile et al., 2001). Finalmente, las fibras clasificadas se empacan en paquetes de 125 kg, organizados cuidadosamente para cubrir un área específica, con medidas de 0.93 m de ancho por 0.52 m, estando así listas para su presentación en el mercado internacional. Este proceso garantiza la obtención de fibras de abacá de alta calidad y asegura un producto final limpio y listo para su comercialización (Simbaña et al., 2020).

3.2.1.3 Tratamiento Alcalino de fibra de abacá

El proceso de tratamiento alcalino industrial por inmersión utiliza una combinación de equipos mecánicos y métodos químicos para modificar la superficie de fibras. Para la preparación de la solución se importa hidróxido de sodio y se cuenta con un proceso previo de deionización de agua. Se prepara la solución alcalina en un tanque de inmersión que dosifica un volumen de agua e hidróxido de Sodio al 3%. Para obtener una solución homogénea, los tanques de inmersión cuentan con un sistema de agitación mecánica compuesta de paletas y bombas. La fibra natural se dosifica en una relación fibra: solución de 1:28 y es sumergida mediante un sistema de elevación e inmersión. La fibra permanece en la solución por 4 horas y es retirada para colocarla en un tanque de lavado que cuenta con los mismos sistemas de inmersión y agitación. La fibra se lava en agua potable en una relación fibra: agua de 1:120, se agita hasta remover todas las impurezas y luego se la retira para ser sometida al proceso de secado. El agua residual del lavado es tratada en un proceso de tratamiento de aguas residuales que se encuentra en las mismas instalaciones y posteriormente es enviada al sistema de agua residual urbana, la solución de hidróxido de sodio residual es filtrada y recirculada en el tanque de inmersión permitiendo que se reutilice 10 veces antes de

necesitar ser reemplazada. Por medio de un sistema de bandas ingresa a una cámara donde se exponen las fibras a corrientes de aire caliente, mediante ventiladores y sistemas de calentamiento para generar y circular aire caliente. La temperatura de calentamiento es 85 ± 1 °C, mediante sensores y un sistema de control se regula la temperatura y velocidad del aire. En el secado entre la fibra sin tratar y la fibra tratada seca existe una pérdida del 20% de masa. Posteriormente las fibras se pesan y son empaquetadas en fundas hidrosolubles en una presentación de 1 kg. Las fibras se almacenan en un lugar seco para su posterior transporte.

3.2.1.4 Producción de mortero

Para modelar la fabricación de mortero en la planta de concreto, nos basamos en las tres etapas consideradas por Petroche & Ramirez, (2023). La primera etapa es la recepción y almacenamiento de la arena, misma que cumple con las especificaciones de la normativa ASTM C 144. Luego de que el agregado fino ingresa a la planta, es colocado en un lugar específico en forma de pila. Posteriormente se realiza el transporte de la arena hacia la tolva de alimentación mediante el uso de una cargadora frontal. Luego, se procede a su traslado mediante una banda transportadora hasta llegar a la tolva de dosificación. En la segunda etapa, el cemento utilizado en la fabricación de mortero se transporta desde la instalación de producción de cemento mediante camiones cisternas especialmente diseñados para este fin. Tanto el cemento como la arena son pesados en la balanza al ingresar a la planta y posteriormente se descargan de manera neumática en silos de almacenamiento, los cuales son utilizados según las necesidades de la demanda. Finalmente, en la tercera etapa se realiza la dosificación y mezclado de los materiales. Para este punto consideraremos cuatro procesos significativos: dosificación de la arena, cemento, agua y fibras. El proceso de la dosificación de la arena comienza en los compartimentos donde se encuentran balanzas dosificadoras de agregados, las cuales descargan automáticamente los materiales hacia una banda transportadora. En cuanto al cemento que se encuentra almacenado en los silos, este es conducido mediante un sistema de tornillo sin fin hasta una balanza que se encarga de medir con precisión la cantidad de cemento necesaria para la preparación del mortero. Posteriormente, el cemento se dirige hacia el mezclador central. Por otro lado, el agua es bombeada desde una cisterna y controlada por un sistema automatizado de elaboración de mortero. Las fibras,

enfundadas en sacos hidrosolubles, se las almacena en un lugar seco para luego colocarlas directamente en el mezclador central dependiendo a la cantidad de fibra necesaria. Finalmente, con los materiales previamente dosificados se da inicio a la mezcla del mortero en el tambor premezclador para posteriormente transportarlo en un Mixer desde la planta hasta la obra.

3.2.2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida

3.2.2.1 Datos primarios

Para la producción del mortero con las fibras sintéticas y naturales, se llevó a cabo 4 procesos fundamentales en los cuales se realizó el respectivo análisis de ciclo de vida para cada uno.

El primer proceso es el cultivo de abacá, en donde se tomaron los datos de la encuesta de superficie y producción agropecuaria continua realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (2022), para una producción de cultivo que genere una unidad funcional de hasta 1 Ton de fibra. Debido a los resultados de la encuesta, se eligió para el análisis de ciclo de vida al cultivo sin fertilizantes y sin pesticidas que representaban al 50% del total las plantaciones de abacá en Ecuador.

El segundo proceso es la producción de fibra de abacá, en donde nos basamos de un análisis previo realizado al banano por Fiallos-Cárdenas et al. (2022), donde se toma en cuenta solo el 21% del peso total de la planta que representa a la fruta, el resto de biomasa suele dejarse en el suelo a manos de la descomposición de los organismos como práctica común y queda afuera del análisis de ciclo de vida. Este estudio sirvió como modelo debido a que ambas plantas pertenecen a la familia de las musáceas y por el aprovechamiento de la biomasa para la producción de fibra de abacá que representa al 15.33% del peso total de la planta, parecido al valor del análisis realizado a la fruta del banano. Como se muestra en la Fig. 5., la biomasa de las plantas de abacá y de banana está compuesta de: hojas, pseudotallo, raíces y frutos, cada uno con su respectivo porcentaje del peso total de la planta. Por otro lado, para la producción de la fibra de polipropileno nos basamos en los datos obtenidos de la base de datos Ecoinvent (2023) para proceder con el respectivo análisis. Estos procesos también fueron adecuados para producir 1 tonelada de fibra tanto sintética como natural.

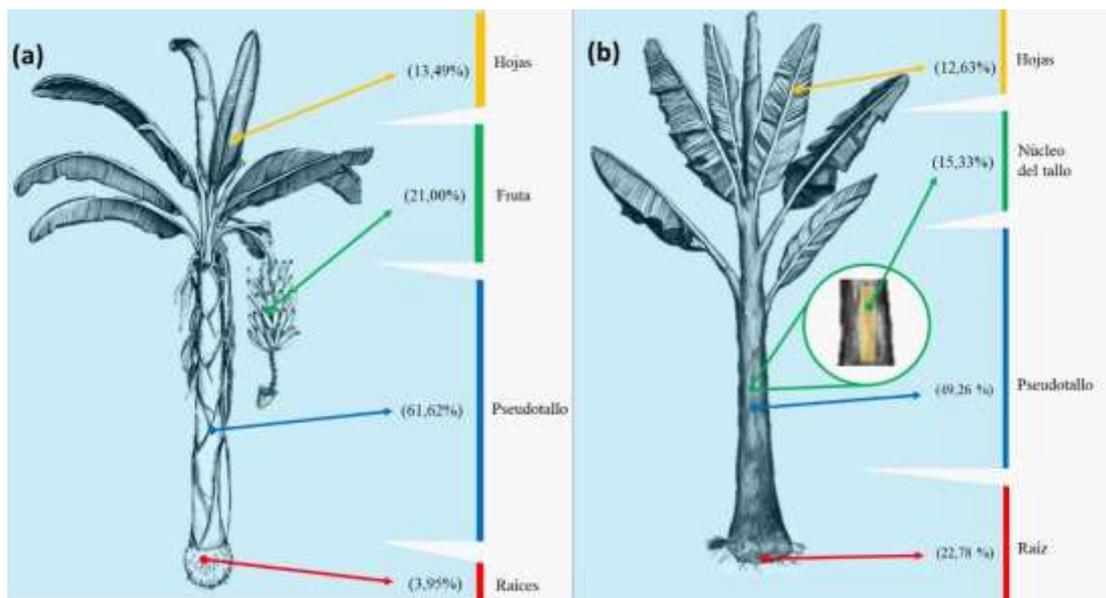


Fig. 5. Contribución promedio de la biomasa al peso total de las plantas de (a) banano y (b) abacá. **Fuente:** Autores.

El tercer proceso que trata sobre la producción de fibra de abacá tratada fue realizado a partir de los datos que proporcionó la base de datos Ecoinvent (2023), donde se tuvo que editar ciertos datos como el ingreso del hidróxido de sodio a la solución de agua para formar la disolución y realizar el respectivo tratamiento. Cabe recalcar que también se evaluó la emisión de CO₂ por la construcción de una fábrica de tratamiento de fibras con vida útil de 50 años.

Finalmente, los insumos y materiales del cuarto proceso que era la producción de los morteros fueron extraídos de la revisión de literatura de D. M. Petroche & Ramirez (2022), en donde se realizaron modificaciones al ingresar los datos de las fibras naturales tratadas y las fibras sintéticas.

3.2.2.2 Transporte

El transporte de los materiales es una parte esencial, debido a que ayuda a determinar los costos específicos de cada recurso necesario para la producción de la fibra de abacá y de polipropileno. Según datos del Banco Central del Ecuador, esta fibra natural proviene desde la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, donde existen de 5000 a 6000 hectáreas de sembrío de abacá que son cosechadas por los campesinos de la

zona y entregadas a Furukawa, que es una empresa japonesa encargada de la distribución y comercialización de la fibra de abacá. Mientras que la fibra de polipropileno es traída desde Los Ángeles, California. Por otro lado, para la producción del mortero debemos tener en cuenta el lugar de proveniencia de los materiales tales como el agua, cemento y arena natural (D. Petroche & Ramirez, 2023). La Tabla 8 muestra toda la distancia recorrida desde los distribuidores de materiales hasta la planta de producción que se va a crear para el escalado de producción.

Tabla 8. Distancias de distribuidores de materias primas a planta de producción Guayaquil, sector San Eduardo. **Fuente:** Autores

Planta de producción	Ubicación	Distancia	
		Terrestre	Marítima
Cemento	Guayaquil	14.50 km	---
Arena	Durán	75 km	---
Agua	Guayaquil	---	---
Fibra Natural	Santo Domingo	287 km	---
Fibra Sintética	Los Ángeles	16.30 km	7112 km

3.2.3. Análisis de Impacto de ciclo de vida

La metodología de análisis de impacto será ReCiPe Midpoint (H) V1.13. Desarrollada para la evaluación del impacto ambiental, se basa en el método de puntuación de impacto de características de ecotoxicidad humana. Se centra en los impactos a nivel medioambiental a través de indicadores específicos que abordan rubros como categorías de impacto en el ecosistema, categorías de impacto en la salud humana y categorías de impacto en recursos.

Dentro de las categorías de impacto en el Ecosistema, se encuentran Global warming potential (GWP100), acidificación terrestre, eutrofización de cuerpos de agua dulce y mares, agotamiento potencial de ozono, formación potencial de oxidantes fotoquímicos. El Global warming potential se lo conoce también como huella de carbono o carbon footprint. ReCiPe Midpoint (H) V1.13 es valiosa para evaluar la sostenibilidad ambiental y proporciona información detallada sobre las repercusiones

ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto o proceso. Se selecciona como única categoría a analizar a Global warming potential (GWP100) para medir el dióxido de carbono equivalente por metro cúbico de producción de mortero. Para la ejecución de los cálculos se utilizó OpenLCA 2.1. que es un software de evaluación de ciclo de vida de código abierto.

CAPITULO IV

4. Resultados

4.1. Ensayos de propiedades físicas de morteros

4.1.1. Ensayos en estado fresco

Los ensayos de mortero en estado fresco permiten evaluar varias propiedades y características clave del mortero antes de que haya experimentado el proceso de fraguado. Estos ensayos son fundamentales para garantizar que el mortero tenga las propiedades adecuadas para su aplicación prevista en la construcción. La Tabla 9 presenta los resultados de los ensayos realizados en los tres diferentes compuestos (mortero sin fibra, mortero con fibra natural, mortero con fibra sintética). Los resultados obtenidos hacen referencia a los ensayos de flujo de mortero, densidad aparente e hidratación de morteros mediante calorímetro semi adiabático.

Tabla 9. Resultados de las pruebas físicas de los tres tipos de mortero en estado fresco. **Fuente:** Autores.

Compuesto	Flujo (mm)	Densidad aparente (kg/m ³)	Tiempo de Fraguado (horas)	
			T _o (hh:mm)	T _f (hh:mm)
Mortero sin fibra	113	2152.83	1:42	3:40
Mortero con fibra natural	110	2135.85	1:48	3:52
Mortero con fibra sintética	115	2129.35	1:48	3:46

Todos los compuestos se encuentran en el rango de flujo de 110±5 mm cumpliendo con lo estipulado en la normativa ASTM C305. Por lo tanto, todos los morteros tienen la misma trabajabilidad, es decir, todos tienen la misma la facilidad de manipular y colocar el mortero en cualquier tipo de obra.

En relación a los resultados de densidad aparente, podemos inferir de que los tres tipos de morteros cuentan con una densidad similar, con una desviación estándar de ±12.12 kg/m³, debido a que las dosificaciones de arena y cemento eran las mismas para todos los compuestos, solo modificando el contenido de agua para ajustarlo al flujo deseado y la cantidad de fibra.

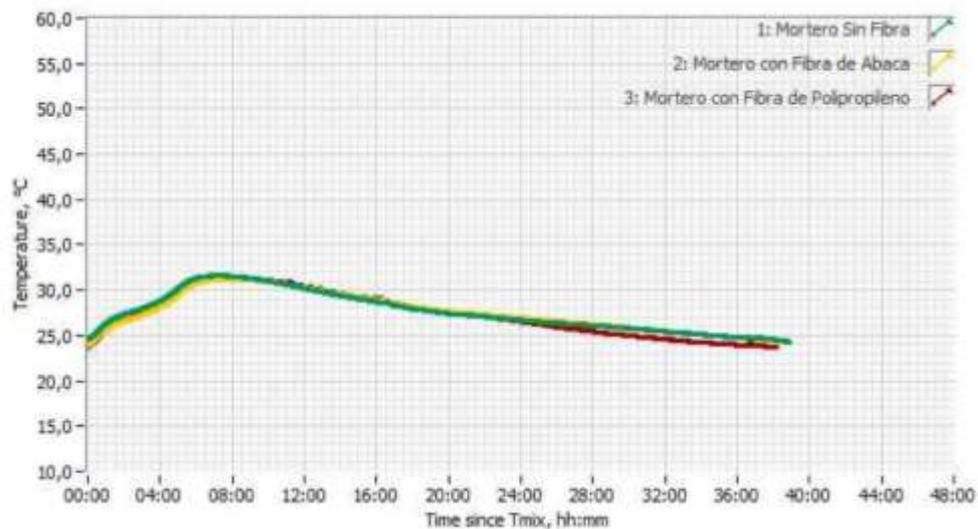


Fig. 6. Curvas de calor liberado versus tiempos de los 3 diferentes compuestos. **Fuente:** Autores

La Fig. 6 representa las curvas del calor liberado versus el tiempo, donde se puede corroborar que los tres diferentes tipos de mortero tienen un comportamiento de fraguado similar, esto se puede evidenciar en el tiempo inicial y final de fraguado, donde el mortero con fibra de abacá tratada comparándola con el patrón sin fibra tiene una diferencia de 6 y 12 minutos de tiempo inicial y final de fraguado respectivamente. Comportamiento similar tiene el mortero con fibra de polipropileno, con una diferencia de 6 minutos para el tiempo de fraguado inicial y 6 minutos para el tiempo de fraguado final. Se evidencia que las curvas más similares son la de mortero con fibra de abacá y mortero con fibra de polipropileno, esto debido a que tienen la misma dosificación incluido el contenido de agua y fibra, variando solo su tipo de fibra.

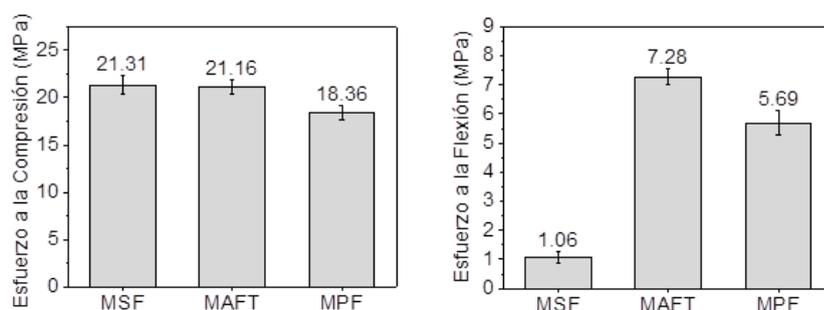
4.1.2. Ensayos en estado endurecido

Los ensayos de mortero en estado endurecido permiten evaluar diversas propiedades y características una vez que el mortero ha completado su proceso de fraguado y ha adquirido resistencia. Estos ensayos son esenciales para garantizar que el mortero cumpla con los estándares de calidad y rendimiento necesarios en la construcción.

El ensayo de resistencia a la compresión mide la capacidad del mortero para resistir fuerzas de compresión. Se realiza aplicando cargas a cubos de mortero y registrando la carga máxima soportada antes de la falla. De acuerdo a la Fig.7.a el mortero sin fibra

tiene un promedio de resistencia a compresión igual a 21.31 ± 0.97 MPa. Al compararlo con el mortero con fibra de abacá con resistencia a la compresión de 21.16 ± 0.79 MPa, se obtuvo una reducción del 0.7%, se puede inferir que no existe diferencia en las propiedades mecánicas de la resistencia a compresión entre ambos morteros. Por otro lado, el mortero con fibra de polipropileno reflejó una resistencia a compresión de 18.36 ± 0.78 MPa, al compararlo con el mortero sin fibra se obtuvo una reducción del 13.86%, mientras que con el mortero con fibra de abacá se generó una reducción del 13.25% indicando que la fibra de polipropileno es la menos resistente a cargas de compresión de las tres matrices.

El ensayo de resistencia a la flexión realizado proporciona información sobre la tenacidad y la resistencia del mortero ante cargas que generan flexión. En esta investigación se realizó el ensayo en probetas prismáticas que denominamos como “viguetas” aplicándole cargas y registrando la carga máxima antes de la fractura. La Fig.7.b muestra los valores en MPa de la resistencia a flexión aplicada en las viguetas. Los resultados señalaron que el mortero sin fibra alcanzó una resistencia a flexión de 1.06 ± 0.20 MPa, al compararlo con la resistencia a flexión del mortero con fibra de abacá de 7.28 ± 0.28 MPa se reflejó un incremento de 7 veces más la resistencia debido a la presencia de las fibras naturales tratadas. Mientras que el mortero con fibras de polipropileno reflejó un valor de 5.69 ± 0.43 MPa y así mismo un incremento de 5 veces más la resistencia a flexión en relación al mortero sin fibra. Por tal motivo, podemos inferir que la que las propiedades mecánicas de la fibra natural tratada le dan mayor capacidad de resistencia al compuesto.



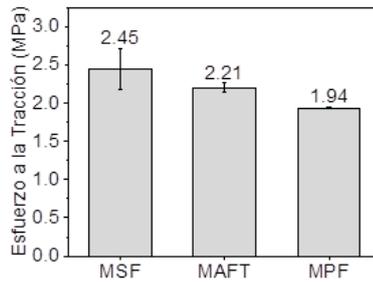


Fig. 7. Resultados de esfuerzos a la (a) compresión, (b) flexión y (c) tracción. MSF: Mortero sin fibra. MAFT: Mortero con fibra de abacá tratada. MPF: Mortero con fibra de polipropileno. **Fuente:** Autores

El ensayo de tracción tiene como objetivo evaluar la capacidad del compuesto para resistir fuerzas que tienden a estirar o separar el material. Los resultados fueron obtenidos a partir de una máquina denominada Tensile Tester que arroja datos de desplazamientos versus carga. La Fig.7.c proporciona información sobre las resistencias a tracción aplicadas en los dog bone. Como se muestra en el diagrama de barras, el mortero sin fibra alcanzó una resistencia de 2.45 ± 0.26 MPa con un incremento de 9.85% en relación al mortero de fibra de abacá que presentaba un valor de resistencia a la tracción de 2.21 ± 0.06 MPa. Por otro lado, el mortero con fibra de polipropileno obtuvo una resistencia de 1.94 ± 0.01 MPa, demostrando un decrecimiento del 20.68% en relación al mortero sin fibra, volviéndose así el compuesto más débil a cargas de tracción.

Para el ensayo de pulso ultrasónico consideramos que la muestra se encuentre en estado seco debido a que la ausencia de agua mejora la propagación de las ondas ultrasónicas y permite una evaluación más precisa de las propiedades mecánicas y estructurales del mortero.

En base a la Fig. 8., el cilindro con mortero sin fibra posee una velocidad de 3129.74 mm/ μ s en comparación con el cilindro de mortero con fibra de abacá que alcanza un valor de 3238.84 mm/ μ s el cual presenta una diferencia en velocidad de onda de +109.10, mientras que el cilindro de mortero con fibra de polipropileno obtuvo 3228.86 mm/ μ s representado un aumento de velocidad de +99.12 con respecto al cilindro sin fibra.

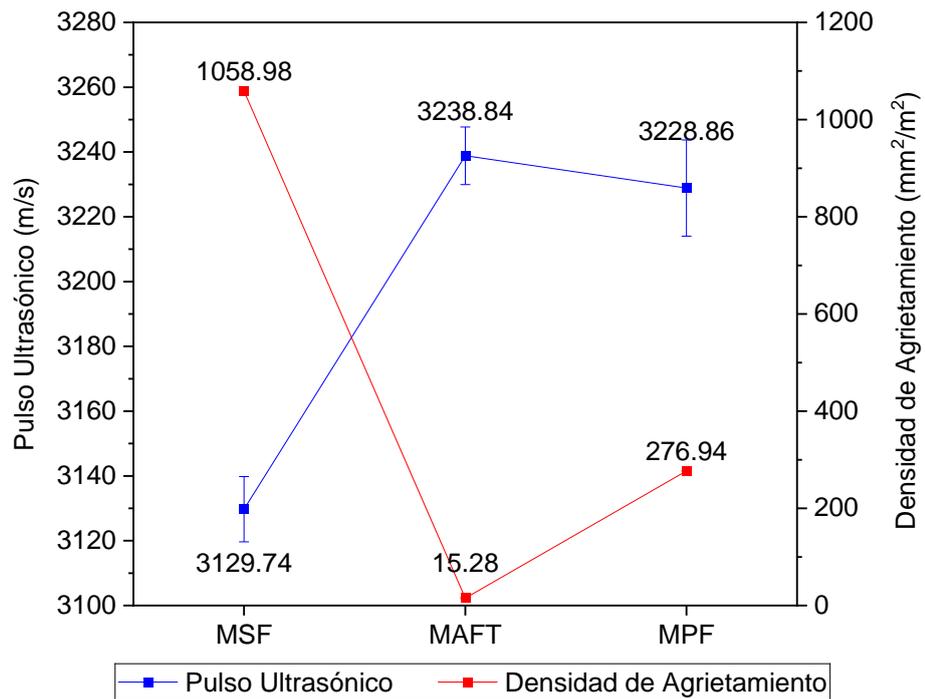


Fig. 8. Resultados de Pulso ultrasónico y Densidad de agrietamiento. MSF: Mortero sin fibra. MAFT: Mortero con fibra de abacá tratada. MPF: Mortero con fibra de polipropileno. **Fuente:** Autores.

Es importante señalar que entre el cilindro con fibra de abacá en comparación con el cilindro con mortero sin fibra existe un aumento de velocidad de onda de 3.5%, mientras que el cilindro con fibra de polipropileno presenta un aumento de 3.2%, a través de estos resultados se puede inferir que el cilindro de mortero con fibra de abacá presenta una mejor homogeneidad y menor porcentaje de vacíos con respecto a los cilindros sin fibra y con polipropileno.

Para el ensayo de agrietamiento, se marcaron y se midieron las fisuras en función de la longitud y espesor de cada grieta sobre el área del enlucido en la placa de hormigón. Como se puede ver en la Fig. 9., existe una gran diferencia entre el área afectada por el agrietamiento del mortero sin fibra, el mortero con fibra natural y el mortero con fibra sintética. Debido a que el área de agrietamiento sobre el área de la placa de 3600 cm² de mortero sin fibra es de 1058.98 mm²/m² en comparación al área de agrietamiento de la placa con mortero de fibra de abacá de 15.28 mm²/m² y el mortero con fibra de polipropileno que presenta un área de agrietamiento de 276.94 mm²/m², en base a estas premisas mencionadas, se puede resaltar la efectividad del uso de fibras

para morteros. Sin embargo, el mortero con fibra de polipropileno cuenta con un porcentaje de reducción de agrietamiento de 73.85% comparado con el mortero sin fibra, pero ese porcentaje es superado si comparamos el área de agrietamiento de la placa con mortero sin fibra contra la placa con mortero con fibra natural demostrando que tiene una reducción de agrietamiento de 98.56%. Por tal motivo, podemos intuir que el uso de mortero con fibra de abacá reduce el agrietamiento en aproximadamente un 25% más que el mortero con fibra de polipropileno, lo cual podría reducir costos de mantenimiento y mayor resistencia a la intemperie prolongando la vida útil de la estructura (Waqas et al., 2024).

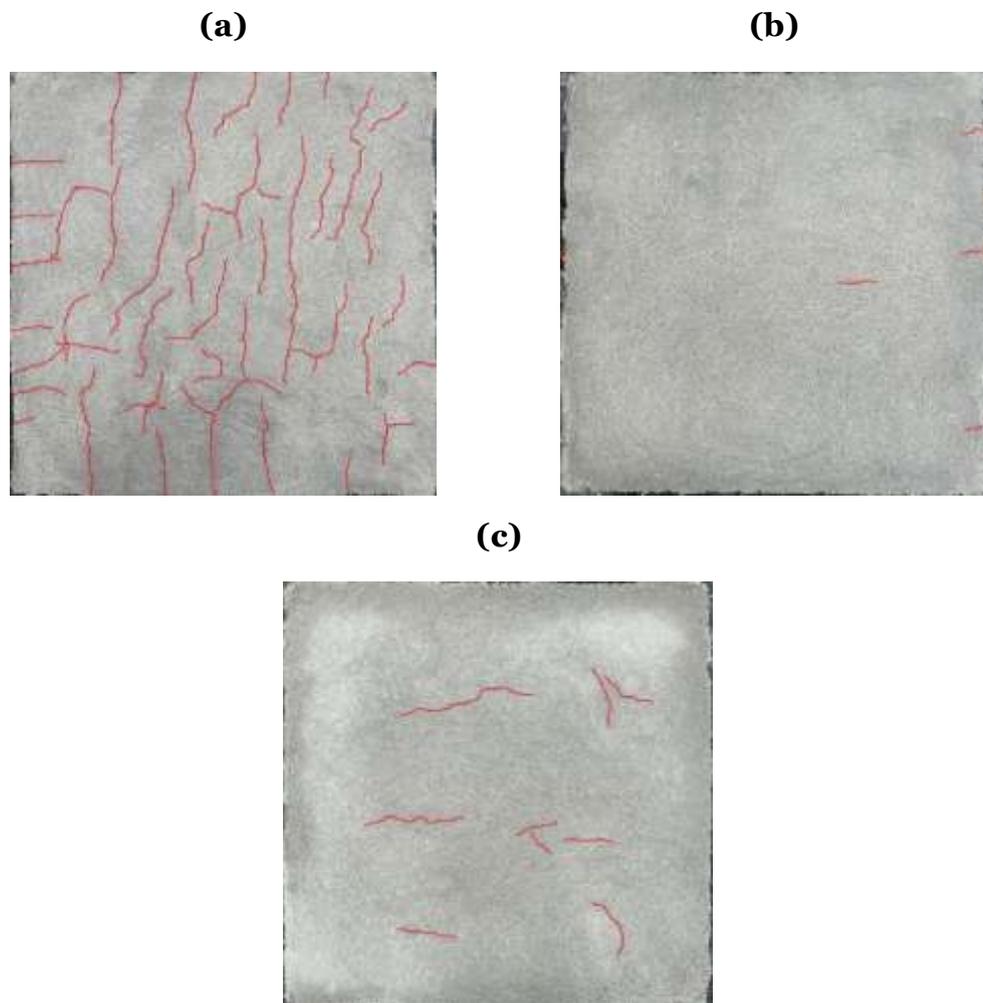


Fig. 9. Representación gráfica de las fisuras en las placas de (a) mortero sin fibra, (b) mortero con fibra natural y (c) mortero con fibra sintética. **Fuente:** Autores.

4.2. Reutilización de solución de hidróxido de sodio

Como propuesta de solución a los altos consumos de hidróxido de sodio y al impacto ambiental del mismo (George & Bressler, 2017; Ita-Nagy et al., 2020; Kim et al., 2008). Se procede a realizar la reutilización de la solución residual del hidróxido de sodio como se muestra en la Tabla 10, en este experimento se inició con una solución inicial de 3% de NaOH de 1030 gr. Al cabo de 10 tratamientos esta solución se redujo a 36.91 gr. Punto en el cual ya no era factible tratar fibra natural debido a la baja cantidad de volumen de solución. En los 10 ciclos se perdió un total de 993.09 gr de solución de NaOH, esto representa un 96.4% de la solución inicial de hidróxido de sodio. En cada ciclo de lavado existe una pérdida de en promedio 28.42% de solución de NaOH, está perdida se la atribuye al proceso de lavado como en la evaporación del secado.

Cada ciclo conserva la misma proporción de fibra natural y agua de lavado con respecto al peso de la solución a utilizar, esto es 1:28 de relación fibra: solución y 1:120 de relación fibra: agua de lavado. Después del tratamiento, la fibra de abacá seca pierde en promedio 20.57% de masa versus el estado de fibra natural inicial. A lo largo de los 10 ciclos de lavado se pudo tratar 121.6 gr de fibra natural dando como resultado un total de 96.02 fibra tratada de abacá, esto es 3.34 veces más de fibra tratada seca que solo realizar un tratamiento sin reutilizar la solución.

Tabla 10. Productos químicos utilizados para el mantenimiento del cultivo de abacá en Ecuador. **Fuente:** Autores

Ciclo	Solución NaOH inicial (gr)	Fibra natural (gr)	Agua de lavado (gr)	Fibra Humedecida (gr)	Fibra Tratada Seca (gr)	Solución NaOH final (gr)
1	1030	36.1	4326.0	333.59	28.70	719.34
2	719.34	25.2	3021.2	243.92	20.04	512.59
3	512.59	17.9	2152.9	162.89	13.83	370.29
4	370.29	13.0	1555.2	106.74	10.05	271.77
5	271.77	9.5	1141.4	85.05	7.37	196.38
6	196.38	6.9	824.8	59.66	5.52	142.56
7	142.56	5.0	598.7	44.80	3.99	103.38
8	103.38	3.6	434.2	31.64	2.92	74.78
9	74.78	2.6	314.1	23.85	2.07	52.57
10	52.57	1.8	220.8	16.79	1.52	36.91

Una vez tratada las fibras con la solución de NaOH se procede a realizar el ensayo termogravimétrico (TGA) que nos permite obtener un dato clave para determinar la pérdida de peso de la fibra natural al someterla a altas temperaturas, este ensayo fue realizado para verificar la influencia del tratamiento alcalino en la fibra. Como se muestra en la Fig. 10., en las curvas de pérdida de peso se puede inferir que los tratamientos desde el tratamiento 2 hasta el tratamiento 10 tienen un comportamiento similar al tratamiento 1, por tal motivo, se puede asumir que las fibras alcanzan su máxima pérdida de peso a una temperatura promedio de 338.6°C. La curva de la pérdida de peso inicialmente tiene una variación hasta los 100°C donde cambia su pendiente, debido a que a esa temperatura se evapora el agua presente en las fibras, así como sustancias volátiles primarias (Oushabi et al., 2017).

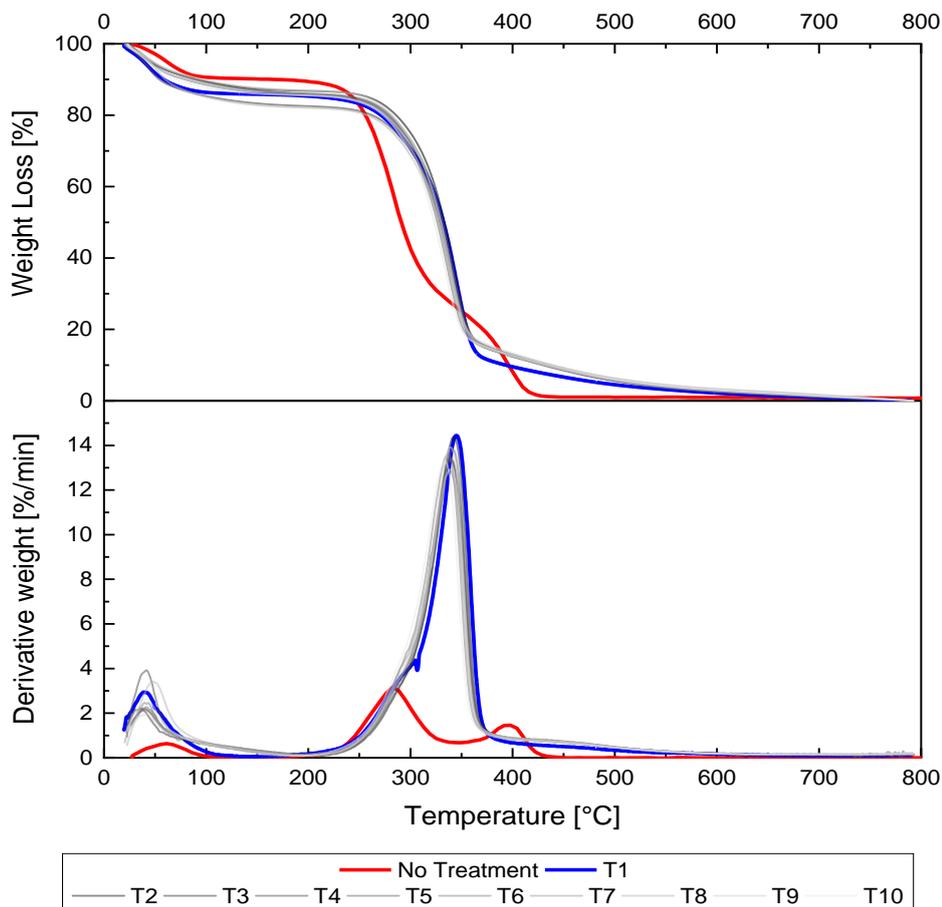


Fig. 10. Curvas de la pérdida de peso y derivada del peso versus temperatura de cada tratamiento aplicado a la fibra natural. **Fuente:** Autores

La derivada del peso en el ensayo de termogravimetría proporciona información adicional sobre los cambios en la muestra que pueden no ser evidentes en la curva de pérdida de peso directa. Como se puede observar en la Fig. 11., la fibra no tratada (NT) demuestra un porcentaje de pérdida de peso por minuto de 3,14%/min cuando la temperatura alcanza los 282.16°C, mientras que el tratamiento 1 (T1) demuestra un desfase mayor del porcentaje de pérdida de peso con un valor de 13.49 %/min cuando se encuentra a 337.21°C, esto demuestra una variación entre la fibra no tratada y el tratamiento 1 del 10.35%/min. Por otro lado, desde el tratamiento 1 hasta el tratamiento 10 (T10) se observa una variación de la pérdida de peso por minuto promedio de $\pm 0.78\%/min$ esto es un indicativo de que la fibra tratada aumenta su resistencia a altas temperaturas soportando una temperatura máxima de 339.8 °C en el cuarto tratamiento (T4). Es importante mencionar que existen incrementos de temperatura en el tratamiento: T1, T2, T4, T5, T7, T8 y T9 siendo el más significativo el tratamiento T1 en relación a la fibra no tratada (NT) con un incremento de temperatura de 55°C, mientras que en los tratamientos: T3, T6 y T10 existe una disminución promedio de temperatura de 5°C. Cabe recalcar que el porcentaje de pérdida de peso en el tratamiento 1 es de 13.49%/min mientras que en el tratamiento 10 es de 13.26%/min, esto significa que existe una diferencia mínima de 0.2322%/min, señalando los tratamientos generaron pérdidas de peso similares.

La microscopía electrónica de barrido (SEM) proporciona una excelente técnica para examinar la morfología superficial de las fibras, esta metodología permite obtener imágenes detalladas de la superficie de las fibras como las ceras, aceites y otras impurezas que a través de tratamientos alcalinos alteran la estructura de la fibra natural transformándola en una superficie más lisa y limpia con respecto a las fibras no tratadas. Este tratamiento genera una disminución del diámetro de la fibra y la liberación de las fibras elementales debido a la pérdida de componentes orgánicos tales como lignina, celulosa y hemicelulosa dejando una superficie libre de impurezas.

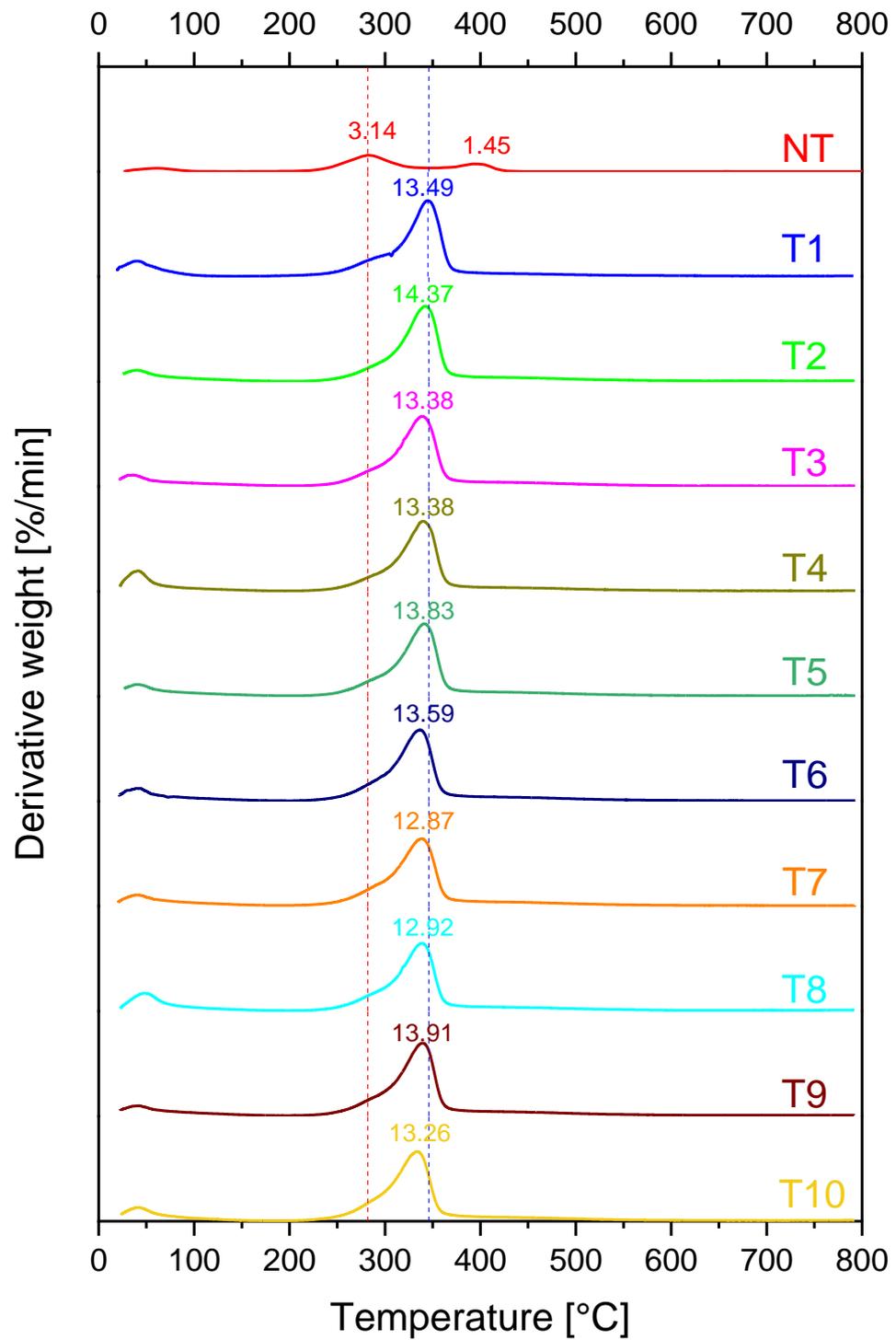


Fig. 11. Curvas de la derivada del peso versus la variación de temperatura en cada tratamiento aplicado a la fibra natural. **Fuente:** Autores

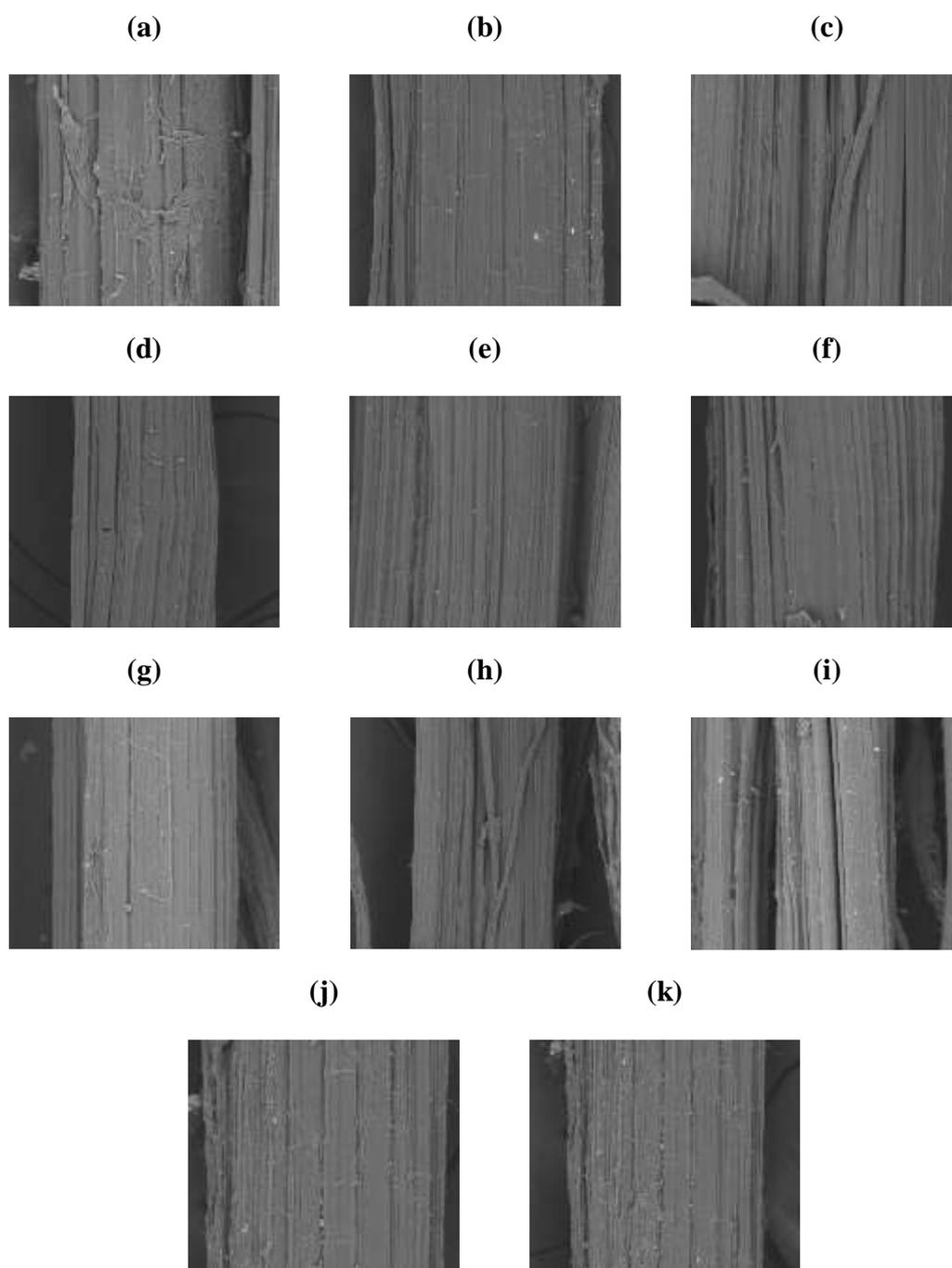


Fig. 12. Ensayo de SEM 50um para Fibras de abacá (a) sin tratamiento, Fibras de abacá tratada con NaOH (b) ciclo 1, (c) ciclo 2, (d) ciclo 3, (e) ciclo 4, (f) ciclo 5, (g) ciclo 6, (h) ciclo 7, (i) ciclo 8, (j) ciclo 9, (k) ciclo 10.
Fuente: Autores

Una característica que aporta el uso de fibras con tratamiento alcalino para el uso de morteros es la mejora en la adherencia mecánica entre las fibras y la matriz (Madhu et al., 2020). Como se evidencia en la Fig. 12.a que corresponde a la fibra sin tratamiento esta presenta una gran cantidad de ceras e impurezas características de la fibra en estado natural. Por otro lado, la Fibra tratada con el primer tratamiento de NaOH evidencia un cambio significativo en la superficie de la fibra (véase Fig. 12.b), este comportamiento es efectivo hasta el punto de llegar a observar fibras elementales tales como se observa desde el tratamiento 1 hasta el tratamiento 7. Sin embargo, a partir del tratamiento 8 se empieza a observar una menor cantidad de fibras elementales. Desde el tratamiento 9 y 10 se llega a visualizar impurezas en baja proporción con cierta similitud a la fibra sin tratar y ausencia de fibras elementales que son indicativo de un tratamiento eficiente.

4.3. Análisis de impacto de ciclo de vida

4.3.1. Análisis de huella de carbono de la producción de fibras

El análisis de ciclo de vida es un proceso fundamental que evalúa los impactos ambientales relacionados a un producto. En este trabajo investigativo se realizó la comparación de 4 procesos de producción de fibras naturales y sintéticas, que son: producción de fibra natural no tratada, producción de fibra natural con tratamiento convencional, producción de fibra natural con tratamiento de solución reciclada y la producción de la fibra de polipropileno. En la Fig. 13., se puede inferir que la fibra de abacá con tratamiento convencional es aproximadamente 4 veces mayor el impacto de la producción de fibra natural de abacá. Con un valor de 1.61 kg de CO₂ eq. /kg de fibra, mientras que el abacá con tratamiento reciclado es 3 veces mayor que la fibra sin tratamiento esto debido al proceso de producción que se limita a la extracción de fibra la cual refleja un valor de 0.47 kg de CO₂ eq. /kg de fibra. Otro análisis comparativo fue entre el tratamiento de fibra reciclada y el tratamiento de fibra convencional que arrojó una disminución de un 15.53% kg de CO₂ eq, en este ensayo destaca la importancia del reciclado de la solución de NaOH. Entre la fibra con tratamiento convencional y la producción de fibra de polipropileno existe un incremento del 50% de contaminación por huella de carbono, mientras que utilizando

el tratamiento reciclado se reduce hasta en un 60% por ciento menos frente a la fibra de polipropileno.

En la investigación realizada por George & Bressler (2017), se determinó que la producción de fibra con tratamiento alcalino con un 10% de NaOH en el cáñamo contribuye al 78.10% de la contaminación del producto final, el cual guarda semejanza con los tratamientos alcalinos realizados con NaOH al 3.5% en tratamiento convencional y solución reciclada con valores de contaminación de 62.95% y 56.10% respectivamente.

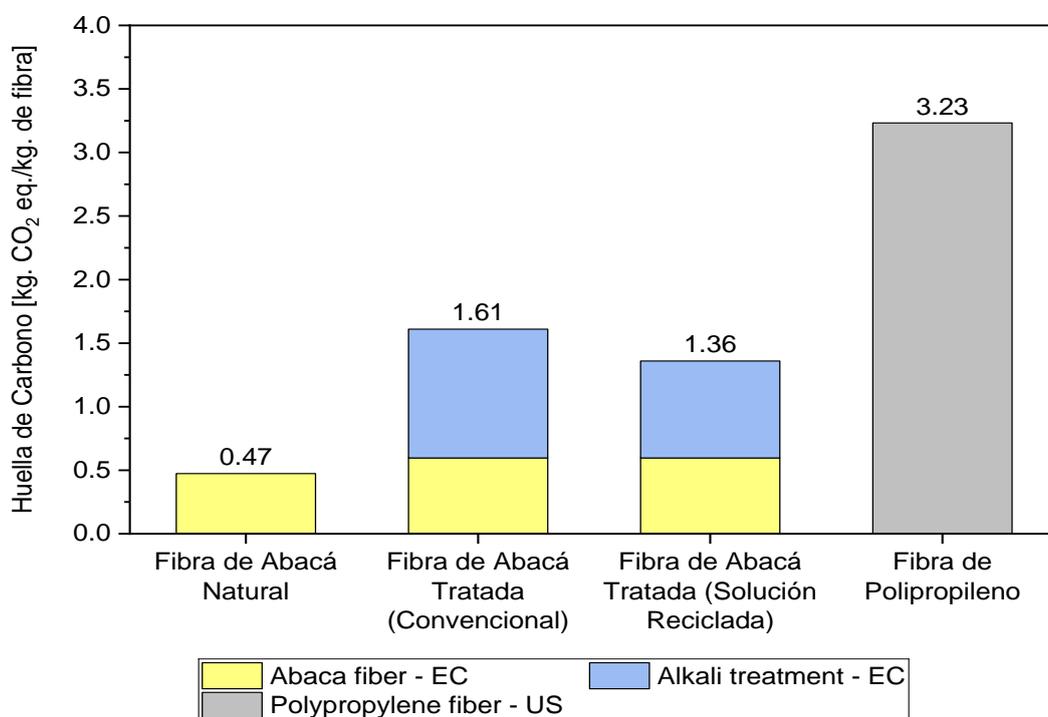


Fig. 13. Análisis de impacto ambiental del indicador de huella de carbono (GWP) en las producciones de fibras con los diferentes tratamientos. **Fuente:** Autores

Tabla 11. Procesos de producción de fibra natural, fibras naturales con tratamiento alcalino y producción de fibra de polipropileno. **Fuente:** Autores

Proceso	NF Production	NF (CT) Production	NF (RT) Production	PPF Production
Abaca fiber, harvest - EC	0.375	0.472	0.472	-
Abaca fiber, diesel burned in agricultural machinery-GLO	0.095	0.120	0.120	-
Abaca fiber, lubricating oil – RoW	0.004	0.004	0.004	-
Alkali treatment, sodium hydroxide - CA-QC	-	0.344	0.102	-
Alkali treatment, diesel burned inelectric generating set - GLO	-	0.540	0.540	-
Alkali treatment, disposal of wastewater - GLO	-	0.007	0.006	-
Alkali treatment, electricity – EC	-	0.022	0.022	-
Alkali treatment, building hall - GLO	-	0.0060	0.006	-
Alkali treatment, tap water – CO	-	0.084	0.0084	-
Alkali treatment, water deionised - RoW	-	0.011	0.003	-
Polypropylene fiber, polypropylene granulate – GLO	-	-	-	2.503
Polypropylene fiber, electricity - US	-	-	-	0.729
TOTAL	0.474	1.609	1.359	3.233

En la tabla 11 podemos observar la constitución de cada proceso y el porcentaje que representa a cada uno de los 4 procesos de producción de fibras que van a ser comparados. El cultivo de abacá en la fibra natural representa el 79.18% del total del proceso, el proceso de desfibrado de la fibra mediante el uso de maquinarias a combustión un 20.08% y el restante de 0.79% corresponde lubricación de las maquinarias de desfibrado con aceite quemado. El combustible utilizado en los motores para la producción fibra tratada con NaOH Convencional representa el mayor porcentaje de contaminación con un 33.54%, un 21.36% al tratamiento de NaOH sobre la fibra de abacá, el 29.35% corresponde a la producción de fibra natural mientras que

el 15.75% se encuentra dividido en el uso de recursos como agua, y electricidad que forman parte del tratamiento alcalino.

Por otra parte, cuando se realizó el análisis de tratamiento de fibra de abacá con NaOH Reciclada , el principal contaminante es el combustible utilizado en motores para producción de fibra de abacá tratada con NaOH con un 39.71% , que es 6% más que el tratamiento con tratamiento convencional , con un 34.76% representado por cultivo de la fibra de abacá, en el tratamiento de NaOH reciclado con hidróxido de sodio se evidencia un porcentaje de 7.46% mismo que es 3 veces menor que el de tratamiento convencional, lo que genera una reducción de las emisiones de huella de carbono cuando se da uso del tratamiento reciclado de NaOH a la fibra de abacá.

El cuarto proceso pertenece a la producción de la fibra de polipropileno está dividida en 2 grupos como lo son la producción del polipropileno con un 77.45% y a la producción de la fibra que tiene un valor de 22.55%.

4.3.2. Análisis de huella de carbono de la producción de mortero

El desempeño ambiental de los tres tipos de morteros será medido a través de la huella de carbono (GWP) con unidades de kg. CO₂ eq. /m³ de mortero. En el mortero con fibra natural tratada se generaron dos escenarios en donde se realizó un tratamiento convencional, que hace referencia a un solo uso de la solución de hidróxido de sodio, y el tratamiento con solución reciclada que permite que se generen ciclos de tratamiento de fibra hasta que se pierda la efectividad de la solución. En la Fig. 14., se puede observar que el mortero sin fibra genera 292.34 kg. CO₂ eq. /m³, mientras que el mortero con la fibra natural tratada, pero solución reciclada, produjo 298.61 kg. CO₂ eq. /m³ señalando que tiene un aumento de contaminación por huella de carbono del 2%. Por otro lado, el mortero con fibra natural aplicando el tratamiento convencional reflejó un valor de 299.62 kg. CO₂ eq. /m³ obteniendo un incremento de contaminación de 0.3% más que el mortero con tratamiento con solución reciclada, debido a este dato podemos inferir de que ambos tratamientos generan aproximadamente la misma cantidad de contaminación por huella de carbono. El mortero con fibra de polipropileno fue el que generó una mayor contaminación con un valor de 307 kg. CO₂ eq. /m³ superando con 5% más de contaminación al mortero sin fibra que es el

compuesto que menor cantidad de kg. CO₂ produce por metro cúbico de mortero. Los morteros con las fibras naturales y tratamientos alcalinos se ven superados en 3% más de contaminación en comparación al mortero con fibra de polipropileno.

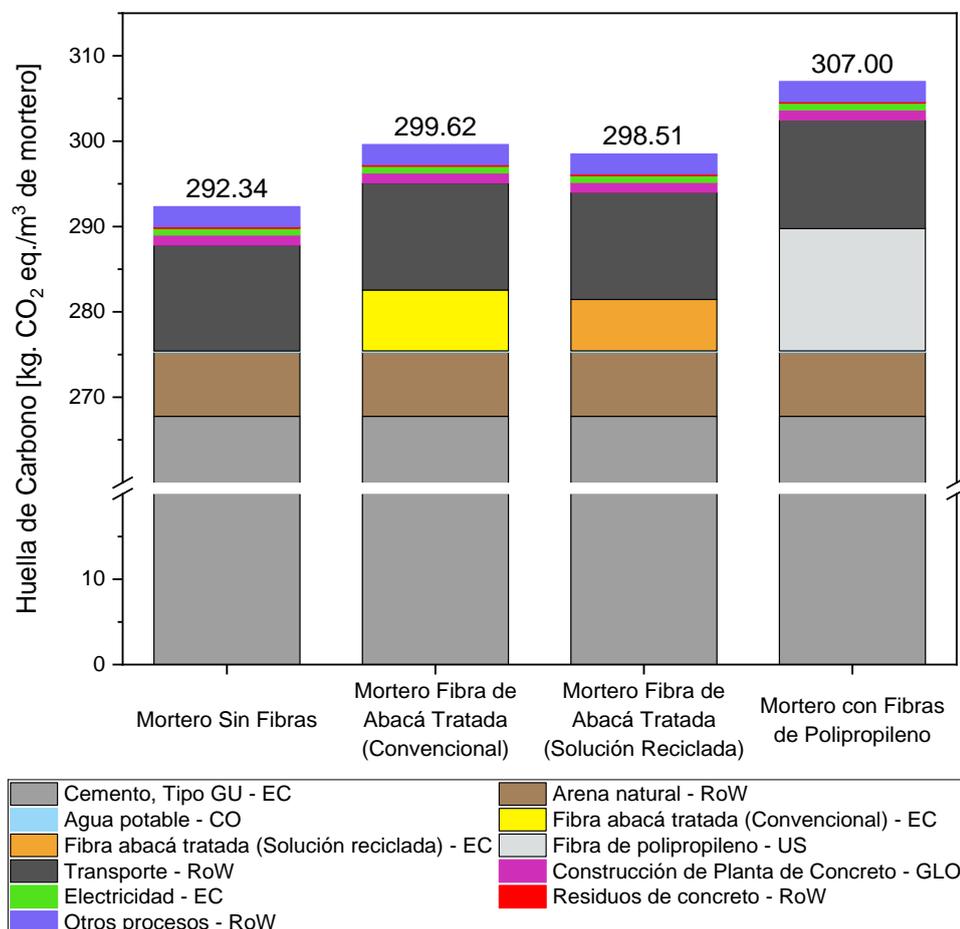


Fig. 14. Análisis de impacto ambiental del indicador de huella de carbono (GWP) en las producciones de mortero (Morteros sin fibra, Mortero con Tratamiento Convencional, Mortero tratamiento reciclado, Mortero con polipropileno). **Fuente:** Autores.

Los procesos de fabricación de los morteros son analizados para determinar una escala del mayor al menor contaminante. En esta investigación se obtuvo que el cemento utilizado para las mezclas de los morteros genera aproximadamente el 90% de la contaminación total del compuesto. El proceso que le sigue es el transporte de las materias primas e insumos generando un 4% de la contaminación de los morteros, debido a este factor la fibra de polipropileno se vuelve desde el 3 al 5% más contaminante que los otros compuestos debido a que es importada desde otro país. Los demás procesos generaron una contaminación menor al 1% del total de contaminación

generado por la fabricación de los morteros.

5. Conclusiones.

- **Ensayos físicos a morteros:** Según los resultados obtenidos se concluye que los 3 morteros cumplen con la misma trabajabilidad, tiempo de fraguado, densidad y pulso ultrasónico volviéndolos comparables. En los ensayos de compresión y tracción el MSF generó similares resultados al MAFT, siendo el MPF el que menor resistencia a compresión obtuvo frente a los demás. Por otro lado, en los ensayos de flexión, los MAFT superaron por 7 veces la resistencia del MSF y 1.27 la resistencia del MPF. De la misma manera, en los ensayos de agrietamiento el MAFT presentó una reducción del 98% de las fisuras presentes en el MSF, mientras que el MPF presentó una reducción del 73% en relación al MSF.
- **Reutilización de hidróxido de sodio:** Los resultados arrojan que al reutilizar la solución de NaOH se puede reciclar hasta un 70% de la misma. Mientras que los ensayos de TGA y SEM detallan que los ciclos de tratamiento son reutilizables hasta el tratamiento 10 debido a que después de ese tratamiento la solución ya no tiene la misma capacidad de eliminación de materia orgánica.
- **Análisis de ciclo de vida de las fibras:** Se afirma que el tratamiento convencional es 4 veces más contaminante que la producción de fibras naturales, mientras que el tratamiento con solución reciclada es 3 veces más contaminante que la producción de fibra natural. Sin embargo, el tratamiento reciclado reduce en 15% la contaminación de huella de carbono en relación al tratamiento convencional. La fibra de polipropileno tiene el doble de impacto ambiental que la fibra tratada convencionalmente y casi el triple de contaminación ambiental que la fibra tratada con solución reciclada. Por tal motivo, podemos concluir que el tratamiento con solución reciclada tiene más beneficios en términos ambientales de huella de carbono y que la fibra de polipropileno es la que mayor impacto ambiental genera.

- **Análisis de ciclo de vida del mortero:** Al momento de comparar los tres diferentes tipos de morteros por el análisis de ciclo de vida, vamos a tener como mayor productor de contaminante de huella de carbono (GWP) al mortero compuesto con fibra de polipropileno con un valor de 307 kg. CO₂ eq. /m³, siguiendo con 3% menos de contaminación los morteros con tratamiento alcalino con un promedio de 299 kg. CO₂ eq. /m³ y finalmente el mortero sin fibra con el 5% menos de contaminación que el compuesto con fibra de polipropileno con un valor de 292.34 kg. CO₂ eq. /m³. Finalmente, podemos concluir que el MAFT es más sostenible y eco amigable que el MPF.

6. Referencias

- Alcivar-Bastidas, S., Petroche, D. M., & Martinez-Echevarria, M. J. (2023). The effect of different treatments on abaca fibers used in cementitious composites. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2177235>
- Amiri, A., Emami, N., Ottelin, J., Sorvari, J., Marteinsson, B., Heinonen, J., & Junnila, S. (2021). Embodied emissions of buildings - A forgotten factor in green building certificates. *Energy and Buildings*, 241, 110962. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2021.110962>
- Ao, X., Vázquez-López, A., Mocerino, D., González, C., & Wang, D. Y. (2024). Flame retardancy and fire mechanical properties for natural fiber/polymer composite: A review. *Composites Part B: Engineering*, 268, 111069. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2023.111069>
- Araya-Gutiérrez, D., Monge, G. G., Jiménez-Quesada, K., Arias-Aguilar, D., Cordero, R. Q., Araya-Gutiérrez, D., Monge, G. G., Jiménez-Quesada, K., Arias-Aguilar, D., & Cordero, R. Q. (2023). Abaca: a general review on its characteristics, productivity, and market in the world. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 76(1), 10263–10273. <https://doi.org/10.15446/RFNAM.V76N1.101710>
- ASTM International. (2016). C1753 Standard Practice for Evaluating Early Hydration of Hydraulic Cementitious Mixtures Using Thermal Measurements. *Annual Book of ASTM Standards*, 04.02. <https://doi.org/10.1520/C1753-15>
- ASTM International. (2018). ASTM C144-18, Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar. In *Annual Book of ASTM Standards*. <https://doi.org/10.1520/C0144-18>

- ASTM International. (2019). ASTM C270-19ae1, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. In *Annual Book of ASTM Standards: Vol. 04.05*. <https://doi.org/10.1520/C0270-19AE01>
- ASTM International. (2020a). ASTM C109/C109M-20, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). In *Annual Book of ASTM Standards: Vol. 04.01*. <https://doi.org/10.1201/9781420091175-c5>
- ASTM International. (2020b). ASTM C1437-20, Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. In *Annual Book of ASTM Standards: Vol. 04.01*. <https://doi.org/10.1520/C1437-20>
- ASTM International. (2020c). ASTM C305-20, Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. *Annual Book of ASTM Standards, 04.01*. <https://doi.org/10.1520/C0305-20>
- ASTM International. (2021a). ASTM C1579-21, Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete (Using a Steel Form Insert). *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. <https://doi.org/10.1520/C1579-21>
- ASTM International. (2021b). ASTM C348-21, Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. In *Annual Book of ASTM Standards: Vol. 04.01*. <https://doi.org/10.1520/C0348-21>
- ASTM International. (2023a). ASTM C1116/C1116M-23, Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete. In *Annual Book of ASTM Standards: Vol. 04.02*. https://doi.org/10.1520/C1116_C1116M-23
- ASTM International. (2023b). ASTM C1157/C1157M-23, Standard Performance

- Specification for Hydraulic Cement. In *Annual Book of ASTM Standards: Vol. 04.01*. https://doi.org/10.1520/C1157_C1157M-23
- ASTM International. (2023c). ASTM C597-22, Standard Test Method for Ultrasonic Pulse Velocity Through Concrete. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. <https://doi.org/10.1520/C0597-22>
- Awais, H., Nawab, Y., Amjad, A., Anjang, A., Md Akil, H., & Zainol Abidin, M. S. (2021). Environmental benign natural fibre reinforced thermoplastic composites: A review. *Composites Part C: Open Access*, 4, 100082. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100082>
- Awais, H., Nawab, Y., Anjang, A., Md Akil, H., & Zainol Abidin, M. S. (2020). Effect of fabric architecture on the shear and impact properties of natural fibre reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 195, 108069. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2020.108069>
- Azapagic, A., & Clift, R. (1999). The application of life cycle assessment to process optimisation. *Computers & Chemical Engineering*, 23(10), 1509–1526. [https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(99\)00308-7](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(99)00308-7)
- Benyahia, A., Merrouche, A., Rokbi, M., Kouadri, Z., Benyahia, A., Merrouche, A., Rokbi, M., Kouadri, Z., & Ce, D. (2013). Étude de l'effet du traitement alcalin des fibres végétales sur le comportement mécanique du composite Polyester insaturée-Fibre Alfa. *UFAS Sétif*.
- Brett C. Suddell, & William J. Evans. (2005). Natural fiber composites for building applications. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, 283–313. <https://doi.org/10.1201/9780203508206-16>
- Cao, Y., Shibata, S., & Fukumoto, I. (2006). Mechanical properties of biodegradable

- composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(3), 423–429. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2005.05.045>
- Codispoti, R., Oliveira, D. V., Olivito, R. S., Lourenço, P. B., & Figueiro, R. (2015). Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry. *Composites Part B: Engineering*, 77, 74–83. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2015.03.021>
- Corbière-Nicollier, T., Gfeller Laban, B., Lundquist, L., Leterrier, Y., Månson, J. A. E., & Joliet, O. (2001). Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 33(4), 267–287. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00089-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00089-1)
- Curran, M. A. (2012). Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products. In M. A. Curran (Ed.), *Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products*. John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118528372>
- Dam, J. Van, & Bos, H. (2004). The environmental impact of fibre crops in industrial applications. *Hintergrundpapier Zu: Van Dam, JEG, Bos*.
- Das, M., & Chakraborty, D. (2006). Influence of alkali treatment on the fine structure and morphology of bamboo fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(5), 5050–5056. <https://doi.org/10.1002/APP.25105>
- Duigou, A. Le, Davies, P., & Baley, C. (2011). Replacement of Glass/Unsaturated Polyester Composites by Flax/PLLA Biocomposites: Is It Justified? *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 5(4), 466–482. <https://doi.org/10.1166/JBMB.2011.1178>

- Ecoinvent. (2023). *ecoinvent - Data base*.
- Ez-Zahraoui, S., Semlali Aouragh Hassani, F. Z., El Achaby, M., Qaiss, A. el kacem, & Bouhfid, R. (2023). Natural fiber reinforcements: classification, extraction, treatment, and properties. *Multiscale Textile Preforms and Structures for Natural Fiber Composites*, 3–29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95329-0.00004-1>
- FAO. (2022). *Crops and livestock products*. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2014). Progress Report on Natural Fiber Reinforced Composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 299(1), 9–26. <https://doi.org/10.1002/MAME.201300008>
- Fiallos-Cárdenas, M., Pérez-Martínez, S., & Ramirez, A. D. (2022). Prospectives for the development of a circular bioeconomy around the banana value chain. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 541–555. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2021.12.014>
- Fourie, J. T. (1997). *Sci-Hub | Ultra electron microscopy in the SEM and STEM modes. Materials Research Innovations*, 1(4), 224–226 | [10.1007/s100190050044](https://doi.org/10.1007/s100190050044). University of Cape Town. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s100190050044>
- Garófalo, A. (2015). *Evaluación físico-química de los cementos a partir de la correlación de sus propiedades asociadas con la producción de hormigón*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- George, M., & Bressler, D. C. (2017). Comparative evaluation of the environmental impact of chemical methods used to enhance natural fibres for composite applications and glass fibre based composites. *Journal of Cleaner Production*, 149, 491–501. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.02.091>
- Ghosn, S. S. (2021). *Evaluation of sustainable concrete produced with industrial hemp*

fibers and recycled aggregates using multi-scale testing and life-cycle analysis.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/suco.202201219>

Göltenboth, F., & Mühlbauer, W. (2010). Abacá – Cultivation, Extraction and Processing. *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*, 163–179. <https://doi.org/10.1002/9780470660324.CH7>

Gurunathan, T., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2015). A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77, 1–25. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2015.06.007>

Iannace, S., Ali, R., & Nicolais, L. (2001). Effect of processing conditions on dimensions of sisal fibers in thermoplastic biodegradable composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 79(6), 1084–1091. [https://doi.org/10.1002/1097-4628\(20010207\)79:6<1084::AID-APP120>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/1097-4628(20010207)79:6<1084::AID-APP120>3.0.CO;2-J)

Intituto Nacional de Estadísticas y Censo. (2022). *ESPAC*. INEC.

Islam, S., Ahmed, S., Parvin, F., Urmay, Z., Arifuzzaman, M., Yasmin, J., & Islam, F. (2020). A Study on the Human Health Benefits, Human Comfort Properties and Ecological Influences OF Natural Sustainable Textile Fibers. *European Journal of Physiotherapy and Rehabilitation Studies*, 1(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3778984>

Ismail, S. O., Akpan, E., & Dhakal, H. N. (2022). Review on natural plant fibres and their hybrid composites for structural applications: Recent trends and future perspectives. *Composites Part C: Open Access*, 9, 100322. <https://doi.org/10.1016/J.JCOMC.2022.100322>

ISO. (2006). *ISO-14040 Environmental management–life cycle assessment–principles*

and framework: International Organization for Standardization.

- Ita-Nagy, D., Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Quispe, I., Chinga-Carrasco, G., Clauser, N. M., & Area, M. C. (2020). Life cycle assessment of bagasse fiber reinforced biocomposites. *Science of The Total Environment*, 720, 137586. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.137586>
- Jähn, A., Schröder, M. ., Fütting, M., Schenzel, K., & Diepenbrock, W. (2002). Characterization of alkali treated flax fibres by means of FT Raman spectroscopy and environmental scanning electron microscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 58(10), 2271–2279. [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(01\)00697-7](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(01)00697-7)
- Japan Society of Civil Engineers. (2008). Recommendations for Design and Construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with Multiple Fine Cracks (HPFRCC). *Concrete Engineering Series*, 82, Testing Method 6-10.
- Jiang, D., An, P., Cui, S., Xu, F., Tuo, T., Zhang, J., & Jiang, H. (2018). Effect of leaf fiber modification methods on mechanical and heat-insulating properties of leaf fiber cement-based composite materials. *Journal of Building Engineering*, 19(May), 573–583. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.05.028>
- Joshi, S. ., Drzal, L. ., Mohanty, A. ., & Arora, S. (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.016>
- Karim, N., Sarker, F., Afroj, S., Zhang, M., Potluri, P., Novoselov, K. S., Karim, N., Afroj, S., Novoselov, K. S., Sarker, F., Potluri, P., & Zhang, M. (2021).

- Sustainable and Multifunctional Composites of Graphene-Based Natural Jute Fibers. *Advanced Sustainable Systems*, 5(3), 2000228. <https://doi.org/10.1002/ADSU.202000228>
- Kim, S., Dale, B. E., Drzal, L. T., & Misra, M. (2008). Life Cycle Assessment of Kenaf Fiber Reinforced Biocomposite. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2(1), 85–93. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2008.207>
- Kirk, H., Henson, C., SeEVERS, R., Liu, Y., West, A., Suchoff, D., & Yin, R. (2023). A critical review of characterization and measurement of textile-grade hemp fiber. *Cellulose*, 30(14), 8595–8616. <https://doi.org/10.1007/s10570-023-05420-4>
- Kumar, R. (2017). Prospects of Sustainable Fashion Design Innovation. *International Journal of Textile and Fashion Technology*, 7(6), 5–14. <https://doi.org/10.24247/ijftdec20172>
- Kunanopparat, T., Menut, P., Morel, M. H., & Guilbert, S. (2008). Plasticized wheat gluten reinforcement with natural fibers: Effect of thermal treatment on the fiber/matrix adhesion. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(12), 1787–1792. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2008.08.006>
- Lakshmi Narayana, V., & Bhaskara Rao, L. (2021). A brief review on the effect of alkali treatment on mechanical properties of various natural fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 44, 1988–1994. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.12.117>
- Lalusin, A. G., & Villavicencio, M. L. H. (2015). Abaca (*Musa textilis* nee) breeding in the philippines. *Industrial Crops: Breeding for Bioenergy and Bioproducts*, 265–289. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1447-0_12/COVER
- Lau, K. tak, Hung, P. yan, Zhu, M. H., & Hui, D. (2018). Properties of natural fibre

- composites for structural engineering applications. *Composites Part B: Engineering*, 136, 222–233. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2017.10.038>
- Li, X., Tabil, L. G., & Panigrahi, S. (2007). Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), 25–33. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>
- Luz, S. M., Caldeira-Pires, A., & Ferrão, P. M. C. (2010). Environmental benefits of substituting talc by sugarcane bagasse fibers as reinforcement in polypropylene composites: Ecodesign and LCA as strategy for automotive components. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1135–1144. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2010.03.009>
- Madhu, P., Sanjay, M. R., Jawaid, M., Siengchin, S., Khan, A., & Pruncu, C. I. (2020). A new study on effect of various chemical treatments on Agave Americana fiber for composite reinforcement: Physico-chemical, thermal, mechanical and morphological properties. *Polymer Testing*, 85, 106437. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2020.106437>
- Maiti, S., Islam, M. R., Uddin, M. A., Afroj, S., Eichhorn, S. J., & Karim, N. (2022). Sustainable Fiber-Reinforced Composites: A Review. *Advanced Sustainable Systems*, 6(11), 2200258. <https://doi.org/10.1002/ADSU.202200258>
- Manalo, A. C., Wani, E., Zukarnain, N. A., Karunasena, W., & Lau, K. T. (2015). Effects of alkali treatment and elevated temperature on the mechanical properties of bamboo fibre–polyester composites. *Composites Part B: Engineering*, 80, 73–83. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2015.05.033>
- Mishra, S., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S. K., &

- Tripathy, S. S. (2003). Studies on mechanical performance of biofibre/glass reinforced polyester hybrid composites. *Composites Science and Technology*, 63(10), 1377–1385. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00084-8](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00084-8)
- Mohammed, M., Rahman, R., Mohammed, A. M., Adam, T., Betar, B. O., Osman, A. F., & Dahham, O. S. (2022). Surface treatment to improve water repellence and compatibility of natural fiber with polymer matrix: Recent advancement. *Polymer Testing*, 115, 107707. <https://doi.org/10.1016/J.Polymertesting.2022.107707>
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2001). Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. *Composite Interfaces*, 8(5), 313–343. <https://doi.org/10.1163/156855401753255422>
- Otto, G. P., Moisés, M. P., Carvalho, G., Rinaldi, A. W., Garcia, J. C., Radovanovic, E., & Fávaro, S. L. (2017). Mechanical properties of a polyurethane hybrid composite with natural lignocellulosic fibers. *Composites Part B: Engineering*, 110, 459–465. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2016.11.035>
- Ouajai, S., Hodzic, A., & Shanks, R. A. (2004). Morphological and grafting modification of natural cellulose fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(6), 2456–2465. <https://doi.org/10.1002/APP.21191>
- Oushabi, A., Sair, S., Oudrhiri Hassani, F., Abboud, Y., Tanane, O., & El Bouari, A. (2017). The effect of alkali treatment on mechanical, morphological and thermal properties of date palm fibers (DPFs): Study of the interface of DPF–Polyurethane composite. *South African Journal of Chemical Engineering*, 23, 116–123. <https://doi.org/10.1016/J.SAJCE.2017.04.005>
- Peña, C., Civit, B., Gallego-Schmid, A., Druckman, A., Caldeira-Pires, A., Weidema, B., Mieras, E., Wang, F., Fava, J., Canals, L. M. i., Cordella, M., Arbuckle, P.,

- Valdivia, S., Fallaha, S., & Motta, W. (2021). Using life cycle assessment to achieve a circular economy. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(2), 215–220. <https://doi.org/10.1007/S11367-020-01856-Z/METRICS>
- Petroche, D. M., & Ramirez, A. D. (2022). The Environmental Profile of Clinker, Cement, and Concrete: A Life Cycle Perspective Study Based on Ecuadorian Data. *Buildings 2022, Vol. 12, Page 311, 12(3)*, 311. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12030311>
- Petroche, D., & Ramirez, A. (2023). *Escuela Superior Politécnica del Litoral*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings12030311>
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2015.08.038>
- Prabhu, L., Krishnaraj, V., Sathish, S., Gokulkumar, S., Karthi, N., Rajeshkumar, L., Balaji, D., Vigneshkumar, N., & Elango, K. S. (2021). A review on natural fiber reinforced hybrid composites: chemical treatments, manufacturing methods and potential applications. *Materials Today: Proceedings*, 45, 8080–8085. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.01.280>
- Prasad, N., Agarwal, V. K., & Sinha, S. (2016). Banana fiber reinforced low-density polyethylene composites: effect of chemical treatment and compatibilizer addition. *Iranian Polymer Journal*, 25(3), 229–241. <https://doi.org/10.1007/s13726-016-0416-x>
- Richter, S., Stromann, K., & Müssig, J. (2013). Abacá (*Musa textilis*) grades and their properties—A study of reproducible fibre characterization and a critical

- evaluation of existing grading systems. *Industrial Crops and Products*, 42(1), 601–612. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2012.06.025>
- Rokbi, M., Osmani, H., Imad, A., & Benseddiq, N. (2011). Effect of Chemical treatment on Flexure Properties of Natural Fiber-reinforced Polyester Composite. *Procedia Engineering*, 10, 2092–2097. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2011.04.346>
- Sachiko Ogawa, Keiji Ogawa, T. H. & E. A. (2015). *Sci-Hub | Eco-efficiency evaluation of binder-free green composites made from bamboo fibres extracted with a machining centre. Advances in Materials and Processing Technologies*, 2(4), 418–426 | 10.1080/2374068x.2016.1184045. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/2374068X.2016.1184045>
- Salas, D. A., Ramirez, A. D., Rodríguez, C. R., Petroche, D. M., Boero, A. J., & Duque-Rivera, J. (2016). Environmental impacts, life cycle assessment and potential improvement measures for cement production: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 113, 114–122. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.11.078>
- Samanth, M., & Subrahmanya Bhat, K. (2023). Conventional and unconventional chemical treatment methods of natural fibres for sustainable biocomposites. *Sustainable Chemistry for Climate Action*, 3, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.scca.2023.100034>
- Santiago-Herrera, M., Igos, E., Alegre, J. M., Martel-Martín, S., & Barros, R. (2024). Ex-ante life cycle assessment of directed energy deposition based additive manufacturing: A comparative gearbox production case study. *Sustainable Materials and Technologies*, 39, e00819. <https://doi.org/10.1016/J.>

SUSMAT.2023.E00819

Senghor, M. N., Bassama, J., Ly, E. B., Mora, F., & Galaffu, N. (2024). Typha domingensis and Phragmites australis as alternative and sustainable pulp materials for primary paper based packaging. *Volume 25*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101712>

Sika. (2019). *SikaFiber® Hoja Técnica de Producto*.

Sika Colombia S.A.S. (2022). *Disminuir la fisuración en concretos y morteros? – SikaFiber® – Sikaguía Colombia*.

Simbaña, E. A., Ordóñez, P. E., Ordóñez, Y. F., Guerrero, V. H., Mera, M. C., & Carvajal, E. A. (2020). Abaca: cultivation, obtaining fibre and potential uses. *Handbook of Natural Fibres: Second Edition*, 1, 197–218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00008-6>

Sumile, E., Bayogan, E. R., Ponce, R., & Franco, A. (2001). Abaca (Musa textilis) Production Profile of Davao Oriental. *Davao Research Journal*, 4(1), 30–41. <https://doi.org/10.59120/DRJ.V4I1.60>

Sumrith, N., Techawinyutham, L., Sanjay, M. R., Dangtungee, R., & Siengchin, S. (2020). Characterization of Alkaline and Silane Treated Fibers of ‘Water Hyacinth Plants’ and Reinforcement of ‘Water Hyacinth Fibers’ with Bioepoxy to Develop Fully Biobased Sustainable Ecofriendly Composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(10), 2749–2760. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01810-y>

Symington, M. C., Banks, W. M., West, O. D., & Pethrick, R. A. (2009). Tensile Testing of Cellulose Based Natural Fibers for Structural Composite Applications. *Journal of Composite Materials*, 43(9), 1083–1108. <https://doi.org/10.1177/>

0021998308097740

UNE. (2020). *UNE-EN 1015-6:1999. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.*

Valadez-Gonzalez, A., Cervantes-Uc, J. M., Olayo, R., & Herrera-Franco, P. J. (1999). Effect of fiber surface treatment on the fiber–matrix bond strength of natural fiber reinforced composites. *Composites Part B: Engineering*, 30(3), 309–320. [https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(98\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(98)00054-7)

Varghese, A. M., & Mittal, V. (2018). Surface modification of natural fibers. In *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites* (pp. 115–155). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100970-3.00005-5>

Venkateshwaran, N., Elaya Perumal, A., & Arunsundaranayagam, D. (2013). Fiber surface treatment and its effect on mechanical and visco-elastic behaviour of banana/epoxy composite. *Materials & Design*, 47, 151–159. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2012.12.001>

Vilaseca, F., Mendez, J. A., Pèlach, A., Llop, M., Cañigüeral, N., Gironès, J., Turon, X., & Mutjé, P. (2007). Composite materials derived from biodegradable starch polymer and jute strands. *Process Biochemistry*, 42(3), 329–334. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2006.09.004>

Vilay, V., Mariatti, M., Mat Taib, R., & Todo, M. (2008). Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber–reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, 68(3–4), 631–638. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2007.10.005>

Waqas, R. M., Elahi, A., Kirgiz, M. S., Nagaprasad, N., & Ramaswamy, K. (2024).

Maintenance of crack with infilling polymer modified mortar for shear deficient of reinforced concrete beam. *Volume 14, Issue 1, 14(1)*. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50519-0>

Wötzel, K., Wirth, R., & Flake, M. (1999). Life cycle studies on hemp fibre reinforced components and ABS for automotive parts. *Angewandte Makromolekulare Chemie*, 272, 121–127. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-9505\(19991201\)272:1<121:AID-APMC121>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-9505(19991201)272:1<121:AID-APMC121>3.0.CO;2-T)

Yan, L., Chouw, N., Huang, L., & Kasal, B. (2016). Effect of alkali treatment on microstructure and mechanical properties of coir fibres, coir fibre reinforced-polymer composites and reinforced-cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 112, 168–182. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.02.182>

Zarafshani, H., Watjanatepin, P., Lepelaar, M., Verbruggen, J., Ouagne, P., De Luca, R., Li, Q., Scarpa, F., Placet, V., & Van Acker, K. (2023). Environmental assessment of woven hemp fibre reinforced epoxy composites and potential applications in aerospace and electric scooter industries. *Volume 20, 20*. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100474>

Zhou, C., Shi, S. Q., Chen, Z., Cai, L., & Smith, L. (2018). Comparative environmental life cycle assessment of fiber reinforced cement panel between kenaf and glass fibers. *Journal of Cleaner Production*, 200, 196–204. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.200>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Peñañiel Narea, Kevin Raúl** con C.C: # **1206895425** y **Rivadeneira Delgado, Juan José** con C.C: **1312790122** autores del trabajo de titulación: **Desempeño ambiental de fibras naturales de abacá versus fibras sintéticas en morteros de cemento**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 9 de febrero del 2024

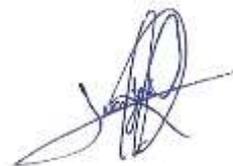
EL AUTOR



f. _____

Peñañiel Narea Kevin Raúl
C.C: # 1206895425

EL AUTOR



f. _____

Rivadeneira Delgado Juan José
C.C: # 1312790122

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Desempeño ambiental de fibras naturales de abacá versus fibras sintéticas en morteros de cemento.		
AUTOR(ES)	Peñañiel Narea Kevin Raúl y Rivadeneira Delgado Juan José		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	9 de febrero del 2024	No. DE PÁGINAS:	64
ÁREAS TEMÁTICAS:	Materiales de construcción, morteros reforzados, fibras vegetales, análisis de ciclo de vida		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Natural Fiber, NaOH Treatment, Abaca Fiber, Synthetic Fiber, LCA, Mortar.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Una de las grandes problemáticas que enfrentamos los seres humanos desde el siglo XX es el calentamiento Global. Estadísticamente, la producción del cemento utilizada en la industria de la construcción representa el 8 % de las emisiones de CO₂ en el planeta con tendencia a un crecimiento a través de los años, es por ello que a través de esta investigación se comparó el mortero con fibra de polipropileno y mortero con fibra de abacá sometida a un tratamiento de NaOH al 3%, donde se midió la huella de carbono emitida por cada uno a través del uso del software OpenLCA que realiza el análisis de ciclo de vida (LCA). Además, se realizaron ensayos físicos en los morteros frescos y endurecidos basados en las normas vigentes dando como resultado que el compuesto con fibra natural presenta mejores propiedades mecánicas tanto en compresión, flexión y tracción en comparación al mortero con fibra sintética. Se realizaron ensayos de TGA y SEM que demostraron que los ciclos de tratamientos de la fibra natural con el hidróxido de sodio eran efectivos hasta el tratamiento 10. Finalmente, los resultados del LCA demostraron que el compuesto de fibra natural es más sostenible y eco amigable que el compuesto con fibra sintética.</p> <p>ABSTRACT: One of the significant issues that humanity has been facing since the 20th century is global warming. Statistically, the production of cement used in the construction industry accounts for 8% of CO₂ emissions on the planet, with a tendency to increase over the years. That is why, through this research, mortar was compared with polypropylene fiber and mortar with abaca fiber subjected to a 3% NaOH treatment, where the carbon footprint emitted by each was measured using the OpenLCA software, which performs life cycle analysis (LCA). In addition, physical tests were conducted on both fresh and hardened mortars based on current standards. The results showed that the composite with natural fiber exhibits better mechanical properties in compression, flexion, and traction compared to the mortar with synthetic fiber. TGA and SEM tests were carried out, demonstrating that the treatment cycles of natural fiber with sodium hydroxide were effective up to the 10th treatment. Finally, the LCA results demonstrated that the natural fiber composite is more sustainable and eco-friendlier than the synthetic fiber composite.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 98 063 0628 +593 99 729 1650	E-mail: kevin.penafiel@cu.ucsg.edu.ec Juan.rivadeneira@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2206956		
	E-mail: clara.glass@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			