



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL MORTERO CON
ADICIONES DE FIBRA DE ABACÁ TRATADA CON
HIDRÓXIDO DE SODIO**

AUTORES:

COBEÑA ZAMBRANO STALIN FERNANDO

TOBAR VERGARA INGRID BELÉN

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

TUTOR:

ING. STEFANY ALCÍVAR BASTIDAS, MSc.

Guayaquil, Ecuador

11 de septiembre del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Cobeña Zambrano Stalin Fernando y Tobar Vergara Ingrid Belén**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTORA

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.

DECANA DE LA FACULTAD

f. _____

Ing. Lilia Valarezo Moreno, MSc.

Guayaquil, a los 11 del mes de septiembre del año 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Cobeña Zambrano Stalin Fernando y Tobar Vergara Ingrid Belén**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis del ciclo de vida del mortero con adiciones de fibra de abacá tratada con Hidróxido de Sodio** 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 11 del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

LA AUTORA

f. _____

f. _____

Cobeña Zambrano Stalin Fernando

Tobar Vergara Ingrid Belén



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cobeña Zambrano Stalin Fernando y Tobar Vergara Ingrid Belén**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis del ciclo de vida del mortero con adiciones de fibra de abacá tratada con Hidróxido de Sodio**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 11 del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

LA AUTORA

f. _____

f. _____

Cobeña Zambrano Stalin Fernando

Tobar Vergara Ingrid Belén



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL



Urkund Analysis Result

Analysed Document: ingrid.tobar_stalin.cobeña.pdf (D78582951)
Submitted: 9/4/2020 3:49:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 4 %

Sources included in the report:

1594011219_297_Petroche_Pazmino_Calderon_Construction_Waste_DFE_V5.pdf (D76731002)
TFT_SOZORANGA_CÉSAR.pdf (D48216103)
1588573672_232_Petroche_Análisis_del_Ciclo_de_Vida_del_Clinker_en_el_Ecuador.pdf
(D70038742)
<https://proyectos.iingen.unam.mx/ciclodevida/es-mx/Proyecto/Paginas/default.aspx>
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25297/1/tesis.pdf>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13839>
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14407>
<http://200.12.169.19/bitstream/25000/870/1/T-UCE-0017-22.pdf>
<https://eplica.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>
https://static.eoi.es/savia/documents/teoria_acv_migma1.pdf
https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8894/Reinier%20Rodr%C3%ADguez%20hern%C3%A1ndez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instances where selected sources appear:

27

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por siempre colmar de bendiciones mi camino.

A mis padres, por ser mi apoyo y soporte en todo momento, gracias por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todas las metas que me proponga las alcanzaré.

A mi hermano por estar conmigo siempre e incentivarme a ser mejor en todo momento.

A la Ing. Stefany Alcívar y al Ing. Daniel Petroche por su guía y asesoramiento en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis compañeros de clase que de una u otra manera me extendieron la mano cuando necesitaba ayuda, de manera especial a los amigos que hice en el transcurso de la carrera, gracias.

Cobeña Zambrano Stalin Fernando

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por su infinito amor, guía y por todas sus bendiciones, gracias a Él pude cumplir con esta meta muy importante.

A mis padres, Carlos Tobar y Nelva Vergara, que siempre han estado conmigo en todo momento. Muchas gracias por todos sus apoyos, sacrificios y ayuda para poder cumplir con este objetivo. Los amo y admiro demasiado. Agradezco a Dios por permitirme ser su hija y haber seguido sus pasos con esta carrera.

A mi hermano, Ricardo Tobar, por estar conmigo, cuidarme, por hacerme reír con sus ocurrencias, ayudarme en lo que ha podido e incentivarme a no rendirme. Te amo mi pequeño.

De manera especial a la Ing. Stefany Alcívar a quien estimo demasiado, gracias Ingeniera por haberme permitido ser parte de las investigaciones previas. A pesar que esta investigación no era el tema principal que se tenía en mente desarrollar debido a la pandemia, le agradezco la oportunidad que me dio por aprender en este nuevo ámbito. Por otra parte, al Ing. Daniel Petroche por su guía y asesoramiento en el desarrollo de esta interesante investigación.

A los amigos que hice durante la carrera, gracias chicos por siempre estar para mí, por aconsejarme, apoyarme y ayudarme cuando lo necesitaba.

Tobar Vergara Ingrid Belén

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a mis padres, porque gracias a ellos he podido recibir una buena educación a lo largo de mi vida y ahora estoy culminando esta carrera. Por siempre tener fe en mí y mis decisiones, y por estar a mi lado de manera incondicional.

Cobeña Zambrano Stalin Fernando

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado en primer lugar a mi Dios, ya que sin Él no hubiera podido terminar otra etapa más en mi vida.

A mis padres por ser ese motor, esa luz que han guiado mis pasos; por todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho para darnos a mí y a mi hermano una buena educación a lo largo de estos años.

A mi hermano para que tenga otro motivo de sentirse orgulloso de mí.

Tobar Vergara Ingrid Belén



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Lilia Valarezo Moreno, MSc.
DECANA DE LA FACULTAD

f. _____

Ing. Alexandra Camacho Monar, MSc.
COORDINADORA DE ÁREA

f. _____

Ing. Daniel Petroche Sánchez
OPONENTE

ÍNDICE

CAPÍTULO I	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivo General	5
1.3. Objetivos Específicos	5
1.4. Hipótesis	5
1.5. Justificación.....	5
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Análisis del ciclo de vida	8
2.2. Categorías de impactos	9
2.2.1. Global Warming Potential (GWP)	10
2.2.2. Abiotic Depletion Potential (ADPF)	11
2.2.3. Ozone Depletion Potential (ODP)	12
2.2.4. Acidification Potential (AP).....	12
2.2.5. Eutrophication Potential (EP).....	12
2.2.6. Photochemical Oxidation Potential (POF).....	13
2.3. Mortero.....	13
2.3.1. Función del mortero	14
2.4. Agregado Fino.....	15
2.5. Cemento.....	17
2.6. Agua.....	18
2.7. Fibras Vegetales	19
2.8. Abacá	19
2.8.1. Fibra de abacá	20
2.8.2. Producción de fibras de abacá.....	21

2.9. Sisal	21
2.9.1. Fibra de sisal.....	22
2.9.2. Producción de fibras de sisal	22
2.10. Tratamiento Alcalino.....	23
2.10.1. Hidróxido de sodio (NaOH).....	24
2.10.2. Tratamiento alcalino de la fibra abacá	24
2.11. Fibras sintéticas	25
2.12. Polietileno.....	25
2.12.1. Polietileno Tereftalato Reciclado (PET)	26
2.12.2. Fibra de polietileno tereftalato reciclado	27
2.12.3. Producción fibras de polietileno	27
CAPÍTULO III	29
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	30
3.1. Paso 1: Revisión bibliográfica	31
3.2. Paso 2: Análisis de Ciclo de Vida Aplicado	31
3.3. Paso 3: Análisis de Caso	32
CAPÍTULO IV.....	33
4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA APLICADO	34
4.1. Definición de objetivos y alcance	34
4.2. Análisis del inventario.....	35
4.2.1. Mortero con fibras de abacá tratadas con hidróxido de sodio... 35	
4.2.2. Mortero convencional.....	37
4.2.3. Mortero con fibras de sisal.....	39
4.2.4. Mortero con fibras PET	41
4.3. Evaluación del impacto	42
4.3.1. Mortero con fibras de abacá tratadas con hidróxido de sodio... 42	
4.3.2. Mortero convencional.....	44

4.3.3. Mortero con fibras de sisal.....	44
4.3.4. Mortero con fibras PET	45
4.4. Interpretación de Resultados	46
CAPÍTULO V.....	48
5. ANÁLISIS DE CASO	49
5.1. Análisis de Costo	49
5.2. Análisis Comparativo.....	53
5.2.1. Desempeño Ambiental (GWP).....	53
5.2.2. Costos.....	55
CAPÍTULO VI.....	58
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
6.1. Conclusiones.....	59
6.2. Recomendaciones.....	61
REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla 1: Principales categorías de impacto dentro del ámbito de la construcción.....	10
Tabla 2: Granulometría según ASTM C144.....	15
Tabla 3: Granulometría de la arena.....	16
Tabla 5: Dosificaciones del mortero con fibras de abacá tratadas.....	35
Tabla 6: Flujo de entrada y salida para 1m ³ de Mortero con fibras de abacá tratadas de f'c: 43MPa.....	36
Tabla 7: Dosificaciones del mortero convencional.....	37
Tabla 8: Flujo de entrada y salida para 1m ³ de Mortero convencional de f'c: 43MPa.....	38
Tabla 9: Dosificaciones del mortero con fibras de sisal tratadas.....	39
Tabla 10: Flujo de entrada y salida para 1m ³ de Mortero con fibras de sisal tratadas de f'c: 43MPa.....	40
Tabla 11 Dosificaciones del mortero con fibras de polietileno tereftalato reciclado.....	41
Tabla 12 Flujo de entrada y salida para 1m ³ de Mortero con fibras de polietileno tereftalato reciclado de f'c: 43MPa.....	42
Tabla 13: GWP de 1m ³ de mortero con fibras de abacá tratadas de f'c 43MPa.....	43
Tabla 14: GWP de 1m ³ de mortero convencional de f'c 43MPa.....	44
Tabla 15: GWP de 1m ³ de mortero con fibras de sisal tratadas de f'c 43MPa.....	45
Tabla 16: GWP de 1m ³ de mortero con fibra de polietileno tereftalato reciclado de f'c 43MPa.....	46
Tabla 17: Resultados de GWP para 1m ³ de diferentes mortero con f'c 43MPa.....	46
Tabla 18: Desempeño ambiental mortero convencional vs. mortero con fibras de abacá tratadas.....	53
Tabla 19: Desempeño ambiental mortero convencional vs. mortero con fibras de sisal tratadas.....	54
Tabla 20: Desempeño ambiental mortero convencional vs. mortero con fibras PET.....	54

Tabla 21: Costo de producción del mortero convencional vs. mortero con fibras de abacá tratadas	56
Tabla 22: Costo de producción del mortero convencional vs. mortero con fibras de sisal tratadas	56
Tabla 23: Costo de producción del mortero convencional vs. mortero con fibras PET	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Etapas del análisis del ciclo de vida	9
Ilustración 2. Curva granulométrica.	16
Ilustración 3. Comparativo de resistencia de cementos	17
Ilustración 4: Requisitos físicos del cemento para mampostería	18
Ilustración 5: Proceso de producción de fibras de abacá.....	21
Ilustración 6: Proceso de producción de fibras de sisal	22
Ilustración 7 Proceso de producción de fibra de polietileno tereftalato reciclado	27
Ilustración 8: Metodología de Trabajo	31
Ilustración 9: Principales pasos del análisis del ciclo de vida	34
Ilustración 10: Diagrama de flujo de producción 1m ³ de mortero con fibras de abacá tratada	36
Ilustración 11: Diagrama de flujo de producción 1m ³ de mortero convencional	38
Ilustración 12: Diagrama de flujo de producción 1m ³ de mortero con fibras de sisal tratada.....	40
Ilustración 13: Diagrama de flujo de producción 1m ³ de mortero con fibra de polietileno tereftalato	41
Ilustración 14: Comparativo de resultado de GWP	47
Ilustración 15: APUS para 1m ³ de mortero con fibras abacá tratada f'c 43MPa	49
Ilustración 16: APUS para 1m ³ de mortero con convencional f'c 43MPa....	50
Ilustración 17: APUS para 1m ³ de mortero con fibras sisal tratada f'c 43MPa	51
Ilustración 18: APUS para 1m ³ de mortero con fibras PET f'c 43MPa	52
Ilustración 19: Análisis comparativo en función del desempeño ambiental GWP de 1m ³ de mortero convencional vs 1m ³ de morteros con fibras.....	55
Ilustración 20: Análisis comparativo en función del costo de producción de 1m ³ de mortero convencional vs 1m ³ de morteros con fibras.	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Resistencia a la compresión del mortero	37
Ecuación 2: Impacto ambiental GWP	42

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito demostrar el desempeño ambiental que tienen los morteros convencionales o con fibras añadidas, ya sean estas vegetales (abacá y sisal) o sintéticas (PET), en el ámbito de la construcción mediante el correcto ACV (análisis de ciclo de vida). Es importante mencionar que las fibras vegetales deberán estar previamente tratadas con hidróxido de sodio NaOH al 3% para realizar dicho análisis. Por otra parte, se realiza un análisis de costo para cada uno de los morteros en mención y así poder realizar un comparativo entre ellos, según su costo y cantidad de kgCO_2 eq por cada m^3 de producción. Dicho análisis comparativo presenta los valores esperados, siendo que el mortero con fibra de abacá tratada con NaOH al 3% está por debajo de los otros tres morteros analizados, teniendo un menor resultado en cuanto al impacto ambiental que genera en la categoría de GWP (Global Warming Potential) y al menor costo que presenta realizar su producción.

Palabras Claves: (Mortero, abacá, sisal, PET, ACV, GWP, costos)

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to demonstrate the environmental performance of conventional mortars or mortars with added fibers, whether these are vegetable (abaca and sisal) or synthetic (PET), in the construction field through the correct LCA (life cycle analysis). It is important to mention that vegetable fibers had been previously treated with a 3% of sodium hydroxide NaOH. Also, cost analysis has been performed in all mortars previously mentioned, considering the kgCO₂ eq per m³ of production. The comparative analysis shows the expected results, meaning that the reinforced mortar with abaca fibers treated with 3% sodium hydroxide NaOH has the lowest environmental impact compared to the others in terms of the environmental impact generated by the GWP category (Global Warming Potential) and at the lowest cost of production.

Key words: (Mortar, abaca, sisal, PET, LCA, GWP, costs)

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se dará una introducción al tema que se ha planteado en este proyecto de investigación, se determinará la amigabilidad con el medio ambiente que tienen los morteros convencionales o con fibras añadidas, ya sean estas vegetales (abacá y sisal) o sintética (PET) mediante la realización del Análisis del Ciclo de Vida. Las fibras vegetales han sido previamente tratadas con hidróxido de sodio al 3% como proceso alcalino.

1.1. Antecedentes

El cambio climático se ha ido incrementando en los últimos años y de igual manera los esfuerzos para frenarlo, se ha convertido en una necesidad la utilización de tecnologías limpias que otorguen un desarrollo sostenible. Disminuir la emisión de gases de efecto invernadero se ha convertido en algo de mucha importancia, por lo que, se debe reconocer las industrias que tengan una mayor contribución en dichas emisiones. Booya et al., (2018) señalan que “La búsqueda de la aplicación de materiales eco-amigables en la construcción ha incrementado, se ha prestado una especial atención al uso de fibras procedentes de fuentes vegetales renovables”.

Mefteh et al., (2013) afirma: “La industria del concreto es la más grande consumidora de recursos naturales limitados como agua, grava, arena o rocas trituradas”. En la elaboración de cemento portland ordinario (OPC), se debe realizar la extracción de piedra caliza y de esta forma se libera dióxido de carbono (CO₂). La relación es, por cada tonelada de piedra caliza extraída, es liberado un tercio como CO₂ que se ha mantenido bloqueado debajo de la tierra por muchos años. De acuerdo al Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, 2012) las emisiones de gases de efecto invernadero mediante actividades industriales poseen un gran impacto en el calentamiento global y se piensa que al menos el 5-7% del CO₂ liberado a la atmósfera se debe a la producción de OPC (Flower & Sanjayan, 2017; Humphreys & Hahasen, 2002).

Debido a que en el mercado existe una gran abundancia de hormigón, se vuelve más relevante el análisis de las implicaciones ambientales principalmente de su materia prima, la misma que es el cemento. En el

Ecuador, la producción de cemento se basa en la normativa para la fabricación de cementos hidráulicos compuestos INEN 2380, estos cementos, a diferencia de los cementos Portland Puros, incluyen un porcentaje de puzolana, esto hace que se reduzca el porcentaje de Clinker, principal compuesto del cemento y su producción genera la mayor cantidad de CO₂. (Salas Márquez et al., 2015)

“La realización de un correcto Análisis de Ciclo de Vida consta de las siguientes etapas: la recolección de la materia prima, producción, comercialización, utilidad y finalización de vida útil” (Haya, 2016). Todas estas etapas están relacionadas principalmente al consumo que se le da a la materia prima y la energía que se invierte, de igual manera, a los residuos y emisiones que la planta en donde se realizan los productos emerge. “Dicho análisis debe ser evaluado por la norma ISO 14040-14044, la misma que, genera los requerimientos y criterios necesarios para realizar una adecuada evaluación” (Salas Márquez et al., 2015). Este análisis se lo realiza en diversos campos de trabajo, en este proyecto de investigación se basará en lo referente a la construcción.

Investigaciones que se han realizado anteriormente (Calle Balladares, 2019) y (Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha, 2020) han demostrado que la utilización de fibras naturales en la mezcla para realizar un mortero, son de considerable ayuda para mejorar las propiedades mecánicas. La desventaja que presentan estas fibras es la degradación que tendrá debido a estar en contacto con la matriz cementicia; sin embargo, existen tratamientos que ayudan a resistir dicha degradación. El tratamiento que ha dado buenos resultados en las propiedades mecánicas de los morteros es el tratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 3%.

Las fibras naturales son una buena opción en el campo de la construcción, por dos principales razones: la primera es el bajo costo de producción e impacto ecológico, en segundo lugar, se debe a que algunas fibras naturales ostentan buenas propiedades mecánicas. la utilización de estas fibras naturales en la mezcla de mortero es un tema de estudio de gran interés (Snoeck et al., 2015).

Un ejemplo de fibras naturales con buenas propiedades mecánicas es la fibra de abacá, esta tiene un alto esfuerzo de tensión (600-900MPa) y un Módulo de Young entre 30-50GPa (tratamiento alcalino del abacá) es por esto que, resulta favorable su uso en la construcción (Cai et al., 2015). Por esta razón, el uso de las fibras de abacá tratadas con hidróxido de sodio en mezclas cementicias hace que se reduzca la cantidad de cemento lo cual conlleva a una reducción de impacto ambiental por m³ de producto.

1.2. Objetivo General

Comparar el desempeño ambiental y económico de un mortero convencional vs morteros reforzados con fibras tanto vegetales (abacá y sisal) como sintéticas (PET) usando la categoría de Global Warming Potential (GWP) aplicando Análisis del Ciclo de Vida (ISO 14044:2006).

1.3. Objetivos Específicos

- Determinar el desempeño ambiental de 1Ton de fibras de abacá, sisal y polietileno tereftalato reciclado en su etapa de producción.
- Comparar el desempeño ambiental de un mortero convencional vs. morteros con diferentes fibras (fibras de abacá tratadas, sisal tratadas y polietileno tereftalato reciclado).
- Comparar el costo de producción de un mortero convencional vs. morteros con diferentes fibras (fibras de abacá tratadas, sisal tratadas y polietileno tereftalato reciclado).

1.4. Hipótesis

El mortero con fibra vegetal de abacá tratada con hidróxido de sodio tiene un menor impacto ambiental en la categoría de Global Warming Potential (GWP) y su costo de producción es más económica en comparación con el mortero convencional y morteros con otras fibras.

1.5. Justificación

En investigaciones anteriores se ha demostrado que la utilización de fibras naturales como parte de la mezcla cementicia mejora las propiedades mecánicas del mortero, dicho mortero se ha fabricado con respecto a la norma INEN (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, 2015). Dentro de los

materiales utilizados en dicho mortero se encuentran: agua, agregado fino (arena), fibra natural y conglomerante (cemento), cada uno tiene su respectivo impacto ambiental debido a sus respectivas extracciones, el uso de recursos naturales, la energía utilizada y sus respectivos desechos. Sin embargo, el mayor contaminante para el medio ambiente es el cemento ya que, usa mayor energía para su producción. (Marinković & Carević, 2018)

Las propiedades mecánicas del mortero con fibra natural son mejores que la del mortero convencional, si se quisiera que el mortero convencional tenga dichas propiedades sin la utilización de la fibra, se deberá aumentar la cantidad de cemento que llevaría la mezcla. (Kilinç et al., 2017). “La fabricación del cemento requiere de una extraordinaria cantidad de energía. Las materias primas se “piroprocesan” en grandes hornos a temperaturas de unos 1.500°C para obtener el clinker” (Cagio et al., 2010). El consumo de carbón es la fuente de energía principal, en segundo lugar, está la utilización de coque, que es un combustible con escasas impurezas y un contenido alto de carbono, y finalmente la energía eléctrica adquirida que es pagada, la misma que al producirse tiene un porcentaje alto de carbón.

“Las fibras naturales producen muy poca contaminación ambiental debido a que, como se la encuentran en la naturaleza no tienen un proceso de fabricación que emita daños ambientales, estas pueden ser: reciclables, renovables y biodegradables” (Townsend, 2020). Por esta última razón se la debe tratar adecuadamente para así desarrollar una mejor durabilidad al estar en contacto con los otros materiales del mortero. No obstante, la forma en la que se extraiga y se trate debe ser controlada para así evitar que exista un impacto ambiental negativo. Utilizar fibras naturales como material de construcción, según Sabanés (2013): “Generan un aprovechamiento de recursos renovables y locales, ampliando el campo de aplicación de las actividades agrícolas”.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se definirá los conceptos correspondientes al análisis de ciclo de vida basados en los lineamientos de ISO 14040-14044 y se explicará detalladamente las diferentes categorías de impactos ambientales que lo conforman. Por último, se definirá los materiales presentes en un mortero convencional y mortero con fibras vegetales y sintética, de las cuales las dos fibras vegetales han sido tratadas con hidróxido de sodio (NaOH). En cuanto a las fibras vegetales se refiere a las fibras de abacá y sisal; mientras que la fibra sintética a la de PET.

2.1. Análisis del ciclo de vida

El análisis del ciclo de vida es una herramienta que nació como base de los responsables políticos y de la industria para evaluar los impactos ambientales producidos desde la cuna a la tumba ya sea de un producto o servicio. Es decir, el fabricante no solo es responsable de los impactos directos de producción, sino también de los impactos asociados con los insumos, uso, transporte y eliminación; las entidades privadas participan activamente en la administración de productos, que busca fomentar la mejora continua a través de mejores sistemas de gestión ambiental; y la "preferencia" del consumidor por productos producidos ambiental y orgánicamente (Cortez et al., 2015)

Esta herramienta que permite obtener resultados cuantitativos se basa en la norma ISO 14040-14044, la cual presenta cuatro pasos principales para su desarrollo: Definición de Objetivos y Alcance, Análisis del Inventario de Ciclo de Vida, Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida e Interpretación de Ciclo de Vida (2006). En la ilustración 1 se observa la estructura para un análisis del ciclo de vida presente en el Norma ISO 14044.

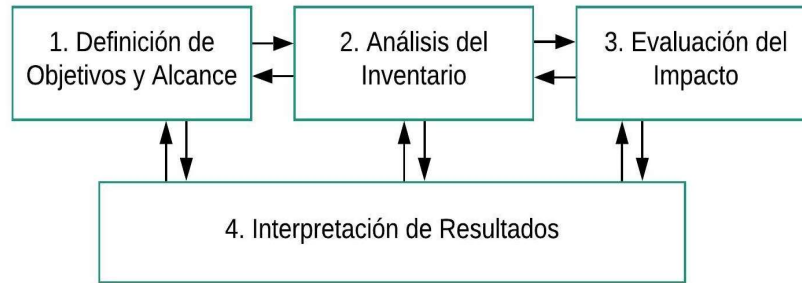


Ilustración 1: Etapas del análisis del ciclo de vida

Fuente: **(ISO 14044, 2006)**

- 1) Definición de objetivos y alcance: Se define el propósito, la profundidad y amplitud del estudio.
- 2) Análisis del inventario del ciclo de vida: Se recopila los datos de entrada (consumo de recursos) y salidas (emisiones al aire, suelo, aguas y generación de residuos) en relación con el sistema de estudio.
- 3) Evaluación del impacto del ciclo de vida: Se evalúa los resultados de la etapa anterior para calcular los impactos ambientales.
- 4) Interpretación del ciclo de vida: A partir de los resultados previamente obtenidos se elaboran conclusiones y recomendaciones de acuerdo al objetivo y alcance definido.

2.2. Categorías de impactos

Durante la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida, los resultados correspondientes del análisis de inventario se convierten en contribuciones a categorías de impacto relevantes. El método de análisis de impactos a utilizar es el CLM 2001, desarrollado por el Instituto de Ciencias Ambientales (CML) de la Universidad de Leiden (Guinée, 2001).

La metodología de CML, es el método más utilizado y suele ser considerada la más completa. Para determinar los factores de impacto utiliza básicamente datos europeos. Los resultados obtenidos del análisis del ciclo de vida se los clasifican en categorías de punto medio por temáticas, pueden ser por mecanismos comunes como el cambio climático, o por grupos como la

toxicidad ecológica. Cabe distinguir el método incluye caracterización y normalización “CML 2001” (Europea Commission et al., 2010).

Este método, CML, tiene un enfoque orientado al problema ambiental y consiste en el uso de efectos intermedios (midpoint). Se encuentra enfocado en una serie de categorías de impacto con sus respectivos factores de caracterización lo cual permite calcular las emisiones al medio ambiente o el uso de los recursos (Dossche et al., 2017).

Según Guinée existe una variedad de categorías de impactos (2001), sin embargo las principales categorías de impactos dentro del ámbito de la construcción se detallan a continuación: Global Warming Potential (GWP), Abiotic Depletion Potential (ADPF), Ozone Depletion Potential (ODP), Acidification Potential (AP), Eutrophication Potential (EP) y Photochemical Oxidation Potential (POF). La tabla 1 presenta las categorías mencionadas con su respectiva unidad de estudio. No obstante, para este estudio a realizar sólo se considerará el Global Warming Potential.

Tabla 1: Principales categorías de impacto dentro del ámbito de la construcción

CATEGORIA DE IMPACTO AMBIENTAL	ACRÓNIMO	UNIDAD
Global Warming Potential	GWP	kg CO ₂ eq.
Abiotic Depletion Potential	ADPF	Sb kg eq.
Ozone Depletion Potential	ODP	kg CFC-11 eq.
Acidification Potential	AP	kg SO ₂ eq.
Eutrophication Potential	EP	kg PO ₄ eq.
Photochemical Oxidation Potential	POF	kg C ₂ H ₄ eq.

Fuente: (Hischier et al., 2010)

2.2.1. Global Warming Potential (GWP)

La categoría de calentamiento global se refiere al impacto de las emisiones humanas en el forzamiento radiativo o climático de la atmósfera. La mayoría de estas emisiones aumentan el forzamiento radiativo, haciendo que la aumente la temperatura en la superficie. El Panel Intergubernamental de

Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha diseñado un modelo de caracterización que está seleccionado para el desarrollo de factores donde se expresa como Calentamiento Global Potencial para un período de máximo de 100 años (GWP100) (Guinée, 2001).

Sin embargo, un GWP de 20 años es utilizado algunas veces como una opción al GWP de 100 años. El GWP de 20 años es basado en la energía que se absorbe durante ese periodo de tiempo, que prioriza a los gases que tienen una vida más corta debido a que, no le presta atención a cualquier impacto que suceda después de 20 años de la emisión. Los GWP son calculados en relación con el CO₂, por lo que estos se basan en un marco de tiempo 80% más corto lo que hará que sea mayor para gases con tiempos de residencia atmosférica más cortos que el de CO₂ y más pequeños para gases con tiempos de residencia mayores (Vallero, 2019).

El GWP es una medida que compara el impacto de los diferentes gases en la atmósfera como: dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Exactamente, es una medida de cuánta energía se absorbe cuando 1 tonelada de gas específico se libera a la atmosfera durante un período, con respecto a la emisión de 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂). Evidentemente mientras mayor sea el GWP, más negativo será para el medio ambiente. SO₂ (Dincer & Abu-Rayash, 2020).

2.2.2. Abiotic Depletion Potential (ADPF)

La categoría sobre el potencial de agotamiento abiótico (ADPF) se refiere a los recursos naturales (incluidos los recursos energéticos) como el mineral de hierro, el petróleo crudo y la energía eólica. El agotamiento de los recursos abióticos es una de las categorías de impacto más discutidas y, en consecuencia, existe una amplia variedad de métodos disponibles para caracterizar las contribuciones a esta categoría. Por ende, el factor de esta categoría de impacto se relaciona con la extracción de minerales y combustibles fósiles en Sb kg eq. basado en las reservas de la concentración y el ritmo de desacumulación (Guinée, 2001).

2.2.3. Ozone Depletion Potential (ODP)

La categoría sobre el agotamiento de la capa de ozono (ODP) se refiere al adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico como resultado de las emisiones antropogénicas. Como consecuencia de este impacto, una mayor fracción de la radiación solar UV-B llegue a la superficie de la tierra, con impactos potencialmente dañinos para la salud humana, la salud animal, los ecosistemas terrestres y acuáticos, los ciclos bioquímicos y los materiales (Guinée, 2001).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha diseñado un modelo de caracterización para la Depleción de la Capa de Ozono que define el potencial de agotamiento de la capa de ozono causado por diferentes gases como freones, clorofluorocarbonos, tetracloruro de carbono y metilcloroformo. El factor para este impacto se determina en CFC-11 kg eq / kg (kg equivalentes de Clorofluorocarbonos tipo 11 / kg de emisiones) (Guinée, 2001).

2.2.4. Acidification Potential (AP)

La categoría sobre el potencial de acidificación (AP) se refiere a los compuestos que son precedentes de la lluvia ácida, los cuales tiene gran impacto en el suelo, las aguas subterráneas, las aguas superficiales, los organismos biológicos, los ecosistemas y los edificios. Los principales compuestos acidificantes incluyen el dióxido de azufre (SO₂), óxido de nitrógeno (NO_x), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) (La Rosa, 2016).

El factor para esta categoría se determina por cada emisión acidificante al aire en SO₂ Kg eq (kg equivalente a dióxido de azufre / kg de emisiones). Dichos gases ácidos generalmente se liberan a la atmósfera debido a la acumulación de combustible. Además, las centrales eléctricas de carbón recién construidas tienen una técnica de desulfuración para limitar la emisión de SO₂ al medio ambiente (Dincer & Abu-Rayash, 2020).

2.2.5. Eutrophication Potential (EP)

La categoría de eutrofización (EP) es una causa principal del desgaste para los ecosistemas marinos y de agua dulce. Dicho impacto cubre todos los

impactos de macronutrientes excesivamente altos, de los cuales el más importante es el nitrógeno (N) y fósforo (P). El enriquecimiento de nutrientes puede causar un cambio indeseable en la composición de especies y la producción de biomasa acelerada en los ecosistemas acuáticos y terrestres. Además, las altas concentraciones de nutrientes también pueden hacer que las aguas superficiales sean inaceptables como fuente de agua potable. En consecuencia, este impacto ambiental conlleva a la vulnerabilidad de las estructuras económicas y sociales (Dincer & Abu-Rayash, 2020).

El EP se calcula en kg en función de una suma ponderada de la emisión de derivados de nitrógeno y fósforo como N_2 , NO_x , NH_4^+ , PO_4^{3-} , P y la demanda química de oxígeno. Los factores de clasificación para EP se expresan en PO_4 Kg eq (kg equivalente a fosfato / kg equivalente a emisiones) (La Rosa, 2016).

2.2.6. Photochemical Oxidation Potential (POF)

La categoría sobre el potencial de oxidación fotoquímico se lo conoce como smog a nivel del suelo, smog fotoquímico o smog de verano. Este impacto se refiere a la formación de compuestos químicos reactivos como el ozono por la acción de la luz solar sobre ciertos contaminantes del aire primario. Dichos compuestos reactivos pueden ser perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas y también pueden dañar los cultivos. Por ende, el factor para el potencial de creación de oxidantes fotoquímicos se determina para cada emisión de COV y dióxido de nitrógeno en C_2H_4 Kg eq (kg equivalente de etileno / kg equivalente a emisiones) (Čuček et al., 2015; Guinée, 2001).

2.3. Mortero

En la construcción la utilización de mortero tiene un uso muy diverso, sirve desde material utilizado para realizar enlucidos, hasta como pegamento para la mampostería. El mortero es una mezcla de conglomerante, agua y arena (NTE INEN 2518, 2010). La relación de estos va a darse únicamente por la necesidad que exista, tal que las cantidades del compuesto van a ser diferente dependiendo la utilidad que se le vaya a dar. Hay diferentes conglomerantes que se pueden utilizar, por ejemplo: el cemento, el yeso y la cal, estos pueden ser utilizados de manera individual o combinados. Si se desea agregar dos o

más conglomerantes, se lo denominara mortero mixto. En este proyecto de investigación, se trabajará con un mortero convencional, es decir, su mezcla es de agua, cemento y arena.

Se entiende como mortero fresco, cuando la mezcla esta mezclada completamente y lista para el uso respectivo que se requiera. En ciertos casos, como agregado extra, a la mezcla se le adiciona fibras ya sean vegetales o sintética, esto va a depender del uso que se le dará al mortero, pueden ser para tener un mejor tiempo de fraguado, tiempo de duración, adherencia, plasticidad y permeabilidad. El Instituto Ecuatoriano de Normalización en su norma NTE INEN 2518 indica los requerimientos necesarios tales como: densidad, contenido de aire, flujo, entre otras que deben cumplir los morteros de mampostería.

2.3.1. Función del mortero

La utilización en el área de la construcción que se le da al mortero es variada, una de las principales es que sirve como pegamento para los bloques utilizados para crear paredes divisorias, este se aplica en las juntas verticales y horizontales. Al unir estos bloques se crea un elemento de mampostería, el mismo que, por lo general no se realiza un análisis previo de diseño.

El nivel de adherencia que este tiene es alto, por lo tanto, puede ser utilizado para generar revestimientos en superficies. De esta forma, se logrará proteger la mampostería de los agentes climáticos que podrían afectar su función. A este uso del mortero, se lo conoce como enlucido. Así mismo, al enlucir una superficie se puede generar la nivelación de esta y dar un aspecto liso si se desea (Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha, 2020).

Como la composición del mortero es similar a la del hormigón, puede llegar a ocurrir una confusión y creer que ambos tienen la misma funcionalidad y utilizarlos de igual manera. Una de las diferencias es que en el mortero no existe agregado grueso en la mezcla, mientras que en el hormigón sí. Además, el mortero es empleado como pegamento de mampostería y así se logra crear un elemento estructural mientras que, el hormigón como tal ya es considerado un elemento estructural (Calle Balladares, 2019).

2.4. Agregado Fino

Se denomina agregado fino a aquel material que pase el tamiz 3/8" y permanece retenido en la malla N°200. Se lo puede utilizar de diversas maneras, entre estos agregados se encuentra la arena, la misma que, mayormente es utilizada como material de construcción, área en la cual este trabajo de investigación se enfocará.

El agregado fino se la puede obtener de diversas fuentes, los ríos y canteras son una de ellas, en ocasiones puede ser encontrada en depósitos volcánicos. La extracción de esta presenta muy pocas dificultades y se la encuentra en bastante cantidad. Normalmente cuando esta procede del río, tiene una forma redondeada por el arrastre que se debe a la corriente que este tiene, va tomando dicha forma y se depositan al final (Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha, 2020).

La influencia del agregado fino posee importantes efectos en el acabado y la calidad que se consigue, de igual forma en la consistencia, trabajabilidad, durabilidad, entre otros. La arena de mar no funciona bien como material de construcción debido a que, contiene demasiadas impurezas y llega a correr al acero que el hormigón recubra. A continuación, se muestra la granulometría según ASTM C114 en la tabla 2.

Tabla 2: Granulometría según ASTM C144

TAMIZ	% PASANTE	MÍNIMO PERMITIDO	MÁXIMO PERMITIDO	CUMPLE
4 (4.75 mm)	100%	100%	100%	SI
8 (2.36 mm)	97%	95%	100%	SI
16 (1.18 mm)	91%	70%	100%	SI
30 (600 µm)	75%	40%	75%	SI
50 (300 µm)	28%	10%	35%	SI
100 (150 µm)	3%	2%	15%	SI

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 1974)

En este trabajo de investigación se utilizará una granulometría proveniente de una investigación anteriormente realizada, en la tabla 3 se muestra la granulometría de la arena y en la ilustración 2 se observa la curva granulométrica:

Tabla 3: Granulometría de la arena

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE
4 (4,75 mm)	0	0%	0%	100%
8 (2,36 mm)	40,5	3%	3%	98%
16 (1,18 mm)	218,7	14%	16%	84%
30 (600 µm)	461,7	29%	45%	56%
50 (300 µm)	534,6	33%	78%	23%
100 (150 µm)	226,8	14%	92%	9%
200 (75 µm)	97,2	6%	98%	3%
FONDO	40,5	3%	100%	0%
TOTAL	1620			

Fuente: (Calle Balladares, 2019)

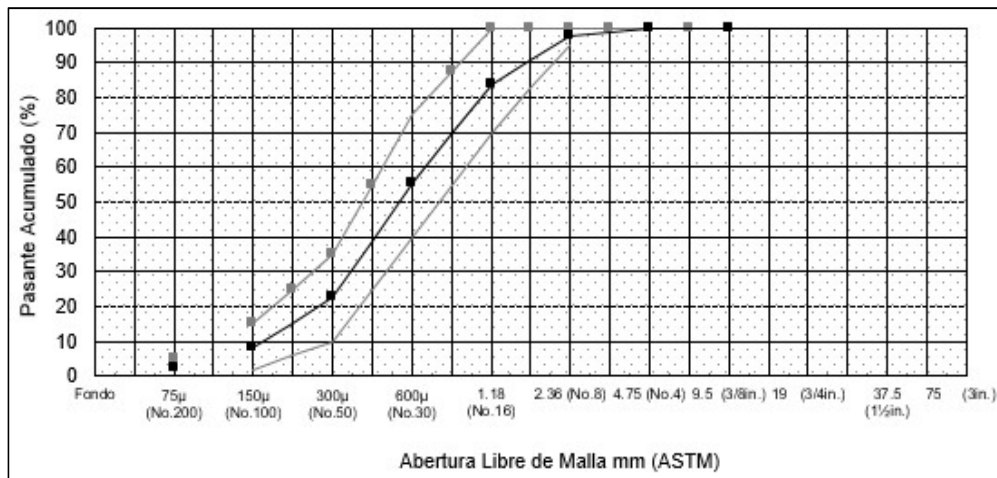


Ilustración 2. Curva granulométrica.

Fuente: (Calle Balladares, 2019)

2.5. Cemento

El cemento que ha sido utilizado para esta investigación es un cemento hidráulico de tipo GU conocido como “Holcim Fuerte”, este tiene entre sus agregados la pulverización de clinker la misma que, consta de silicatos cálcicos hidráulicos y varios complementos como el sulfato de calcio y la piedra caliza en porcentajes que son especificados en la NTE INEN 152. Asimismo, al tener esta particularidad se conoce como el cemento que fragua y se endurece por reacción química al estar en contacto con el agua.

Según (Holcim Ecuador S.A., 2016) el cemento Holcim Fuerte Tipo GU presenta características principales como resistencia, durabilidad y desempeño que cumple; a su vez excede los estándares de la norma NTE INEN 2380 como se muestra en la ilustración 3.

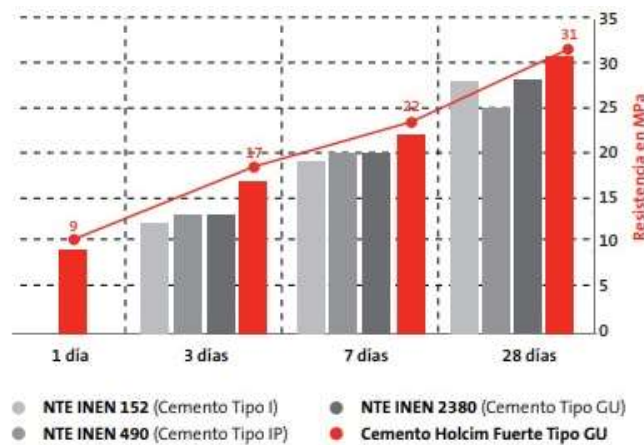


Ilustración 3. Comparativo de resistencia de cementos

Fuente: (Holcim Ecuador S.A., 2016)

En esta investigación la utilidad que se le dará a este cemento será la de conglomerante para elaborar morteros para mampostería, los mismos que, deben obedecer con los patrones que se indican en la ilustración 4. Las características que tiene este cemento demuestran que es un tipo M es decir que, según la norma NTE INEN 1806 no debe tener mayor adición de cemento que la que se especifica en dicha norma. (NTE INEN 2518, 2010).

Tipo de cemento para mampostería	N	S	M
Finura, residuo sobre el tamiz de 45 µm (No. 325), % máx.	24	24	24
Expansión en autoclave, % máx.	1,0	1,0	1,0
Tiempo de fraguado, método de Gillmore			
Tiempo inicial, minutos, no menos de	120	90	90
Tiempo inicial, minutos, no mayor de	1 000	1 000	1 000
Resistencia a la compresión (promedio de 3 cubos)			
La resistencia a la compresión de cubos de mortero, compuesto de 1 parte de cemento y 3 partes de arena mezclada (la mitad de arena graduada normalizada y la otra mitad de arena normalizada 20 – 30) en volumen, preparados y ensayados de acuerdo con esta norma, debe ser igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
7 días, MPa	3,4	9,0	12,4
28 días, MPa	6,2	14,5	20,0
Contenido de aire del mortero, preparado y ensayado de acuerdo con los requisitos de esta norma.			
Volumen, % mín	8	8	8
Volumen, % máx.	21	19	19
Valor de retención de agua, % de flujo original	70	70	70

Ilustración 4: Requisitos físicos del cemento para mampostería
Fuente: (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, 2015)

2.6. Agua

El agua tiene un papel significativo en los diversos usos que se le puede proporcionar, en la actualidad, el área de la construcción utiliza el 16% del consumo de esta a nivel mundial. Valdez (2014) afirma: “Una Construcción Sustentable debe velar por reducir el impacto sobre el ciclo del agua, en todas las fases, incluyendo los procesos constructivos”. Esto quiere decir que se debe dar al recurso un uso racional y así se evita la contaminación de esta.

Es considerada como compuesto esencial en mezcla del mortero al agua, para ello las características que esta tenga deben estar contempladas en la norma. De acuerdo en la NTE INEN 2518 (2010) afirma: “El agua debe ser limpia y estar libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos, u otras sustancias que sean perjudiciales para los morteros o para cualquier metal en la pared”.

La relación que debe existir en la mezcla para crear un mortero es importante, debido a que es inversamente proporcional a la resistencia del mortero, esto quiere decir que, si la cantidad de agua en este es mayor, la resistencia será menor. Esto es de mucha importancia ya que, si el agua en la mezcla no es la adecuada, la trabajabilidad del mortero se vería afectada. La solución que se puede dar siendo este el caso, es aplicar aditivos a la mezcla.

2.7. Fibras Vegetales

Para la creación de morteros con fibras se tienen diversas opciones, algunas de estas son: de origen vegetal, fibras provenientes de animales y derivado de minerales. En este documento se hablará particularmente de dos fibras de origen vegetal que son: fibra de abacá y sisal.

Las fibras naturales de origen vegetal consisten en celulosa, hemicelulosa, lignina, extractos y cenizas. Las concentraciones de estos componentes dependerá de factores como el tipo de fibra, la condición de crecimiento, la dimensión, edad, ubicación en planta, método de extracción y procesamiento (Onuaguluchi & Banthia, 2016).

Gracias a la amigabilidad que las fibras vegetales tienen con el medio ambiente y a su abundancia, han sido de interés para diversos sectores, uno de ellos la construcción. Estas provienen de muchas de las plantas existentes en el planeta tierra, una de las desventajas que presentan es que, como son compuestos orgánicos el pasar del tiempo las va afectando, es decir, las degrada. (Cai et al., 2015)

Al utilizar fibras vegetales se tienen diferentes beneficios que van desde la sostenibilidad hasta el bajo consumo de energía que estas conllevan. Actualmente se busca tener diversas opciones sustentables en la industria de la construcción, es por esto que, los compuestos que son fortalecidos con fibras de origen vegetal poseen la viabilidad de convertirse en uno ellos.

2.8. Abacá

El abacá o también llamado musa textilis es una planta perteneciente al grupo de musáceas, llega a medir aproximadamente una altura de 5 metros, se ubican en lugares que tiene climas trópicos húmedos. Tiene un aspecto similar a la planta de banano, sin embargo, las diferencias que existen en las propiedades hacen que sus usos sean otros. Es una planta endémica y nativa de Filipinas, también se la encuentra en Ecuador. Este es conocido como segundo país que exporta esta planta y tiene un valor representativo del 15% del valor total. Es de gran valor debido a que, tiene una gran resistencia

mecánica y la resistencia al deterioro por agua salada (Calle Balladares, 2019; FAO, 2020)

2.8.1. Fibra de abacá

Las fibras de abacá están constituidas por células delgadas y largas, las mismas que, son parte del armazón que resiste a la hoja, estas llegan a tener una altura de 1,5 a 4 metros de extensión aproximadamente. El brillo natural que tiene es una de sus características principales, al igual del color que generalmente puede ser habano claro, esto va a depender de la manera en que fue extirpada, mientras más claras sean es índice de que son de mejor calidad.

El diámetro que poseen varía entre 250 a 300 μm y la apariencia que tienen estas fibras es muy similar, en su exterior muestra algunos huecos y las células individuales tienen una forma cilíndrica. El procedimiento para extraer la fibra contempla: el corte de la planta de abacá, quitarle las hojas y desfibrar el tronco. En este trabajo de investigación se utilizó fibras que tengan una longitud de 3 cm y un porcentaje del 0.2% en relación con los sólidos del mortero (Calle Balladares, 2019).

Las propiedades mecánicas que tienen las fibras naturales están relacionadas al clima, tiempo de cosecha, instrumento utilizado para la cosecha y condiciones de crecimiento, entre otros. Entre las ventajas de la fibra de abacá es que es una de las fibras naturales más resistentes, además de ser una de las pocas fibras que soportan una gran exposición al agua del mar. Tiene diversos usos, y algunos estudios han demostrado que la fibra de abacá se ha transformado en muchos usos tales como, materiales compuestos para la industria automovilística, también incluso en aplicaciones industriales (Armecin & Coseco, 2012).

Para este trabajo las fibras de abacá se las obtiene del trabajo previo de Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha (2020), las cuales tienen una longitud de 3cm con un porcentaje óptimo del 0.2% con respecto a los sólidos del mortero (4.3 gr).

2.8.2. Producción de fibras de abacá

El proceso de producción de la fibra de abacá consiste en 3 etapas principales: cosecha, extracción de fibra, y secado como se muestra en la ilustración 5.

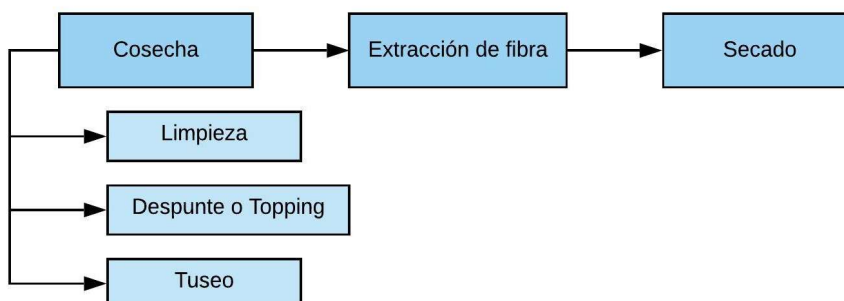


Ilustración 5: Proceso de producción de fibras de abacá

Fuente: Autor

Dentro de la etapa de cosecha, existe 3 procesos más: Limpieza, despunte o topping y tuseo. Primero viene la limpieza consiste en quitar las hojas secas, pastos y malezas alrededor de la base del tallo para garantizar que la planta de abacá se mantenga saludable y viable. Luego viene el despunte que consiste en el corte de las hojas del tallo lo cual se lo realiza con un cuchillo afilado y curvo que se encuentra sujeto en la punta de un poste largo; de ahí se realiza la caída de los tallos seleccionados. Por último en esta etapa de cosecha se realiza el tuseo que consiste en separar la vaina externa de la hoja en 5 a 8 cm de ancho. Una vez acabado el proceso de cosecha, se realiza la extracción de fibra mediante el uso de la máquina desfibradora. A continuación, las fibras son secadas al sol en tendales (Simbaña et al., 2020).

2.9. Sisal

Agave sisalana o sisal es una planta que pertenece a la familia de las asparagaceas, se encuentra en regiones tropicales y semi-tropicales, aunque se originó en México. Esta planta no es cultivada de forma sistemáticamente, es decir, que se encuentra en estado salvaje. Por tal razón, es característico encontrar estas plantas en tierras ricas en calcio, magnesio, potasio, nitrógeno y fósforo (Chain & Fahim, 2008; Townsend, 2020).

2.9.1. Fibra de sisal

Las fibras de sisal están compuestas por un conjunto de sub-fibras huecas y son extraídas de sus hojas. La longitud de estas fibras varía entre 1 – 1.5m y su diámetro de 100 a 300 μm . La composición típica de las hojas de sisal es: humedad 87.5%, fibra 4%, cutículas 0,75% y materia seca 8%. Usualmente estas plantas pueden dar 6 hojas a la vez y cada hoja contiene 1000 fibras. Una simple hoja suele pesar 600g y el 3% de su peso sale como fibras. El proceso de extracción de fibras es similar al del abacá (Chain & Fahim, 2008).

Esta fibra natural también presenta un excelente esfuerzo a tensión debido a la composición celular. La composición celular consiste agua soluble (1.2%), grasa y cera (0.3-2%), pectina (0.8%), lignina (8-11%), hemicelulosa (10-14.2%) y principalmente celulosa (67-78%) (Nayak et al., 2020; Sayem & Haider, 2020).

Estas fibras son de alta resistencia, durabilidad y resistencia al agua salada. Sin embargo, absorben la humedad del aire y por ende pueden expandirse y contraerse a la par ser atacadas por microbios y degradarse con la exposición del calor, luz y radiación ultravioleta, todas propiedades del sol (Chain & Fahim, 2008).

Para este trabajo las cantidades de fibras de sisal se realiza de forma teórica en cuanto a su resistencia de acuerdo al trabajo de Deng (2015), teniendo una longitud de 3cm con un porcentaje óptimo del 0.3% (6.5 gr) con respecto a los sólidos del mortero presente en el trabajo previo de Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha (2020).

2.9.2. Producción de fibras de sisal

El proceso de producción de la fibra de sisal consiste en 3 etapas: cosecha, extracción de fibra, y secado como se muestra en la ilustración 6.

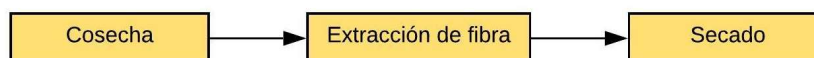


Ilustración 6: Proceso de producción de fibras de sisal

Fuente: Autor

Después de la cosecha de la planta sisal, las fibras útiles se extraen de las hojas mediante el proceso de decorticación. Es aquí, donde las hojas verdes cortadas de la planta de sisal son trituradas por un juego de ruedas giratorias con cuchillos romos con el cual también elimina el material resinoso. Las fibras extraídas se lavan y secan al sol, lo cual hace que las fibras se blanqueen un poco. Para obtener fibras de alta calidad, su extracción debe ser inmediatamente después de la cosecha dado que el material gomoso se retiene de forma natural, en cambio una vez que se endurece, la separación de las fibras se vuelve más difícil (Ramesh, 2018).

2.10. Tratamiento Alcalino

Una de las técnicas más ventajosas para la alteración de las fibras celulósicas es el tratamiento alcalino. Un grupo amplio de trabajos de investigación han demostrado un progreso favorable al momento de emplear un tratamiento alcalino sobre la composición de las fibras naturales y las propiedades mecánicas. Esto se lo realiza dentro del agua ya que así, la fibra se agranda y de esta forma aumenta su área de superficie interna.

Se puede resaltar el comportamiento hidrofílico de estas fibras, lo que puede dificultar la adhesión de la fibra a la matriz. Además, la naturaleza hidrofílica de las fibras de acaca puede contribuir a una rápida absorción de la humedad, lo que lleva a una consiguiente pérdida de estabilidad dimensional de la pieza fabricada (de Souza & D'Almeida, 2014).

Como la fibra de abacá es biodegradable presentará un deterioro con el pasar del tiempo, es por esto por lo que, en estudios anteriormente realizados se comprobó que el tratamiento con hidróxido de sodio es la mejor forma de conservar una fibra, obteniendo como resultado menos absorción de agua, trabajabilidad superior y una larga duración a medida que el tiempo pasa (Calle Balladares, 2019).

El objetivo de este tratamiento es garantizar la permanencia de la fibra en la matriz cementicia después de varios años, para que de esa manera siga actuando en la misma (Onuaguluchi & Banthia, 2016).

2.10.1. Hidróxido de sodio (NaOH)

Como se mencionó anteriormente, el uso de hidróxido de sodio es una manera de aplicar el tratamiento alcalino, muchos estudios se han elaborado con diferentes porcentajes de aplicación consiguiendo así resultados efectivos en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la fibra, es importante mencionar que existen muchas variantes que cada estudio toma en cuenta para hallar el objetivo planteado, por ejemplo: porcentaje de hidróxido, tamaño de la fibra y composición de matriz cementicia (de Klerk et al., 2020).

El hidróxido de sodio es una sustancia sumamente corrosiva que cuando está a temperatura ambiente está en estado sólido, es de color blanco, inoloro y absorbe la humedad del aire y el dióxido de carbono (INSHT, 2010).

Según (Ouarhim et al., 2019) y (Jiang et al., 2018) dicen que para limpiar las superficies de las fibras naturales, la sustancia más utilizada es el hidróxido de sodio debido que desarrolla una mayor rugosidad en la superficie y elimina la lignina, la hemicelulosa, la pectina y los aceites que naturalmente cubren las fibras.

Enríquez (2013) afirma: “Cuando se disuelve en agua o cuando se neutraliza con algún ácido libera gran cantidad de calor, el cual puede ser suficiente para hacer que el material combustible en contacto con el hidróxido haga ignición”.

2.10.2. Tratamiento alcalino de la fibra abacá

De acuerdo a investigaciones previas Freire Peñafiel (2019), Calle Balladares (2019) y Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha (2020) se comprobó que el tratamiento de hidróxido de sodio es óptimo cuando las fibras tienen un tamaño de 3cm. El contenido de hidróxido de sodio debe ser el 3% de la masa total de agua, es decir en 5820g de agua se disuelve 180g de hidróxido de sodio. En dicha investigación el hidróxido se encuentra en forma de pastillas (Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha, 2020). A continuación, se

menciona los pasos a seguir para realizar el tratamiento de NaOH a las fibras de abacá:

1. Pesar el agua en un recipiente grande para que ocupe el volumen de la solución junto con la fibra a tratar.
2. En el recipiente con agua colocar las pastillas de hidróxido y disolver todo el contenido químico con la ayuda de una máquina para mezclar.
3. Se sumerge 350g de fibras en la solución hasta que esté completamente cubierta por la misma.
4. Dejar la fibra sumergida por 4 horas.
5. Una vez pasado el tiempo se lavan 7 veces con el fin que el agua se vuelva transparente.
6. Colocar las fibras en un horno eléctrico por un periodo de 24 horas a una temperatura de $85 \pm 1^{\circ}\text{C}$ (Proceso de secado)
7. Dejar enfriar las fibras a una temperatura de laboratorio y colocar en bolsas con cierre hermético.

Es muy importante considerar los cambios bruscos de temperatura dado que la fibra puede sufrir un choque electrostático.

2.11. Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas son fibras artificiales que están hechas de materias primas como el petróleo, a base de productos químicos o petroquímicos. De acuerdo (Saba & Jawaid, 2017), las fibras sintéticas se polimerizan en una sustancia química larga y lineal con diversos compuestos químicos para producir diferentes tipos de fibras entre ellos, nylon, poliéster, acrílicos, arámida (Klevar), polietileno, etc. Este trabajo se enfocará en las fibras sintéticas de polietileno.

2.12. Polietileno

El polietileno es el polímero más común en el mundo, el cual se produce 85 millones de toneladas anuales. El polietileno se divide en varias categorías dependiendo de su punto de fusión, entre las cuales está la de baja, media y

alta densidad (Houtman, 2015; Kupolati et al., 2017). Los diferentes tipos de polietileno presentan buenas propiedades de deslizamiento y sus propiedades mecánicas son moderadas (Varley et al., 2019).

El plástico con mejor perspectiva de uso es el Polietileno Tereftalato (PET), es por esta razón que, esta materia prima puede ser utilizada en la fabricación de morteros para mampostería (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012).

2.12.1. Polietileno Tereftalato Reciclado (PET)

PET (Polietileno Tereftalato) es un polímero plástico que es obtenido mediante un procedimiento de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Es un polímero lineal, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, es por esto que, es apto para ser transformado a través de procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termo formado (Angumba, 2016).

El polietileno tereftalato es un material muy utilizado en la elaboración de recipientes de bebidas como agua, jugos, envases de aceites y detergentes caseros, entre otros. En este proyecto de investigación se utilizará fibras de dicho polietileno, pero de manera reciclada.

Para realizar el reciclaje de PET existen dos tipos: mecánico y químico; sin embargo, cuando se trata de métodos están: primario, secundario, terciario y cuaternario. El primario, es un procedimiento mecánico que elabora productos parecidos a la materia inicial, atravesando etapas de triturado, lavado, extrucción, granceado (aditivación necesaria). El secundario, es un procedimiento de fusión que transforma los polímeros en diferentes productos a la materia inicial y tienen mejores características, a este proceso se le denomina cascada. El terciario, es un procedimiento químico o térmico esto depende del polímero, aprovecha todos los componentes del polímero para convertirlos en hidrocarburos. El cuaternario, se lo realiza mediante incineración y su objetivo es obtener energía que no es medioambientalmente aceptable (Angumba, 2016).

2.12.2. Fibra de polietileno tereftalato reciclado

Las fibras de polietileno tereftalato reciclado son de bajo peso y capaces de flotar en agua. Similares a otras fibras de polímeros es solo capaz de aceptar tensión y no presión y por ende son utilizadas para cuerdas, telas y aplicaciones que requieran tensión. Cuando se aumenta la densidad del polietileno se obtiene fibras aún más fuertes, ejemplo HDPE. El polietileno tiene baja adhesión superficial. Es una materia termoplástica y por ello es fácil de reciclar sin embargo su producción causa daño al ambiente (Houtman, 2015).

2.12.3. Producción fibras de polietileno

En el presente trabajo de investigación se explicará la producción de fibras de polietileno tereftalato reciclado provenientes de botellas de gaseosas descartables. Se considera como punto de partida en el proceso de reciclado la recogida de los envases que va desde los residuos en los domicilios hasta los arrojados en calles o ríos. Estas botellas deben ser agrupadas en pacas y luego ser compactadas, así se facilita su almacenamiento y transportación. A continuación, se mencionan los pasos que conducen al producto final (Shen et al., 2010). En la ilustración 7 se muestra el proceso de producción de la fibra.

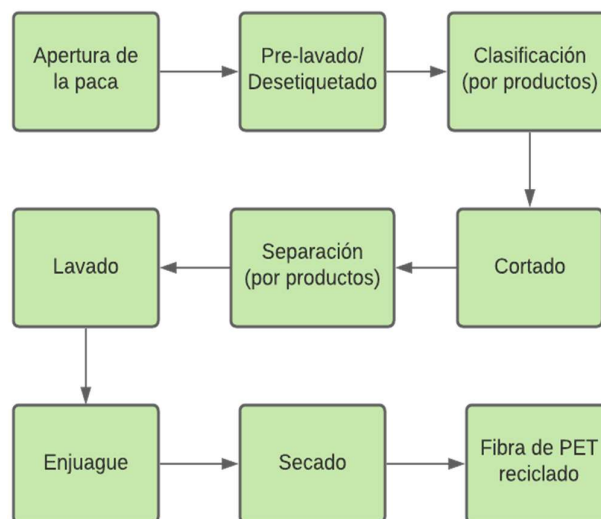


Ilustración 7 Proceso de producción de fibra de polietileno tereftalato reciclado

Fuente: (Shen et al., 2010)

1. Las pacas son desarmadas mediante la acción de tornillos sin fin.
2. Prelavado de la suciedad gruesa exterior como tierra o piedras y sacado de las etiquetas que la mayoría de las botellas tiene adherida.
3. Las botellas son pasadas a un detector/separador de metales cuya función es retirar cualquier residuo metálico que la botella tenga.
4. Una vez transportados los envases caen en la garganta del molino, donde unas cuchillas giratorias y fijas, los triturará hasta obtener fibras de 12mm. Posteriormente, pasan a través de una criba metálica. El tamaño de la fibra dependerá del diámetro de los orificios de la criba.
5. Se clasifican los envases en los diferentes materiales que puedan existir, por ejemplo, PVC, PEAD, entre otros. Y se elimina otros materiales como madera, piedras, basuras.
6. Estas fibras caen en un recipiente lleno de agua y con circulación.
7. El PET tiene una densidad mayor al agua, por lo que, se hundirá y será transportada a tanques de lavado caliente con una solución acuosa y agitación que eliminará toda suciedad adherida a las fibras. Los demás materiales que no se hundan serán expulsados por desbordamiento.
8. Se procede a la eliminación de agua mediante centrifugación.
9. Las fibras de PET salen por la parte superior de la centrifuga y son arrastradas por una corriente de aire hasta el ciclón. Las partículas de polvo son separadas de las fibras de PET mediante un ciclón separador. Al final de la cinta de inspección, las fibras caen en una zaranda vibratoria. Aquí se separan las fibras dependiendo de los agujeros de los tamices. El menor es de 2mm y el mayor de 12mm.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El siguiente trabajo se lo ha dividido en seis capítulos:

1. Introducción
2. Marco teórico
3. Metodología de trabajo
4. Análisis de ciclo de vida aplicado
5. Análisis de caso
6. Conclusiones (análisis final del trabajo)

El planteamiento de esta investigación se basa en demostrar mediante el análisis del ciclo de vida del mortero con fibras abacá tratadas con NaOH tiene un menor impacto ambiental en comparación a un mortero convencional vs. mortero con fibras de sisal o polietileno. Para esto se evaluará por m³ de mortero. Frente a este plan de estudio se elabora la metodología de trabajo que consta de 3 pasos con el propósito de llevar un orden adecuado para cumplir con los objetivos e hipótesis planteadas, como se observa en la ilustración 8.

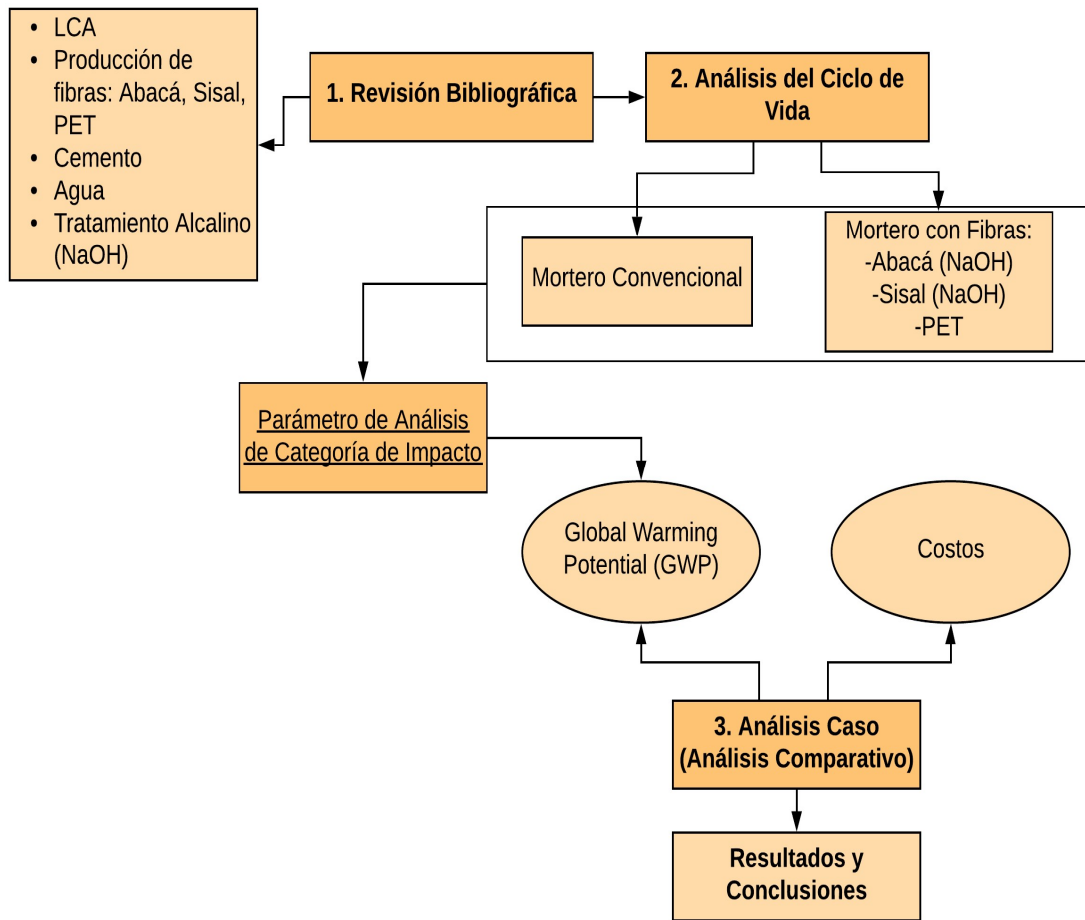


Ilustración 8: Metodología de Trabajo

Fuente: Autor

3.1. Paso 1: Revisión bibliográfica

Inicilmente en este trabajo de investigación se realizó la revisión bibliográfica necesaria con el tema propuesto donde se definió los conceptos correspondientes al análisis de ciclo de vida, los materiales presentes en un mortero convencional y morteros con fibras y por último la producción de las fibras de abacá, sisal y polietileno.

3.2. Paso 2: Análisis de Ciclo de Vida Aplicado

Seguidamente se realizó el análisis de ciclo de vida aplicado en la producción de 1m^3 de mortero convencional y morteros con fibras (abacá, sisal y polietileno) para un $f'c$ 43MPa mediante la categoría de impacto de Global Warming Potential (GWP), basado en los lineamientos de la norma ISO

14040-14044. Este análisis de ciclo de vida se realiza para determinar el mortero con menor impacto ambiental.

3.3. Paso 3: Análisis de Caso

Finalmente se calculó los costos de producción de cada m³ de los morteros propuestos para realizar un análisis comparativo junto con los resultados del impacto ambiental de GWP para indicar cuál mortero tiene menor impacto ambiental y a su vez es más económico.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA APLICADO

En el capítulo IV se desarrollará el análisis de ciclo de vida para la producción de los cuatro morteros propuesto: mortero convencional, con fibras de abacá tratadas, con fibras de sisal y con fibras PET.

El análisis del ciclo de vida es una herramienta cuantitativa que evalúa el desempeño ambiental de un producto durante las etapas de su ciclo vida. basándose en los lineamientos de la ISO 14040-14044. Según ISO 14044 (2006), el análisis presenta cuatro principales pasos: Definición de Objetivos y Alcance, Análisis de Inventario de Ciclo de Vida, Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida e Interpretación de Ciclo de Vida como se observa en la ilustración 9.

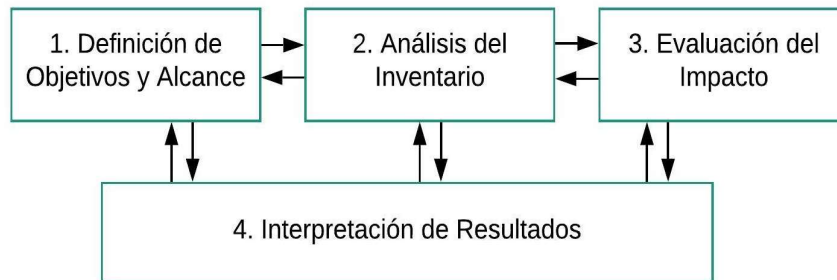


Ilustración 9: Principales pasos del análisis del ciclo de vida
Fuente: (ISO 14044, 2006)

Es importante acotar que este análisis de ciclo de vida no toma en cuenta todas sus etapas, se ajustó de acuerdo a las necesidades de la investigación, es decir, será un análisis “cradle to gate”.

4.1. Definición de objetivos y alcance

En el presente trabajo de investigación se desea evaluar el desempeño ambiental en la categoría del Global Warming Potential de los diferentes morteros propuesto para demostrar que el mortero con fibras de abacá tratadas con hidróxido de sodio tiene el menor impacto ambiental.

La unidad funcional seleccionada es 1m^3 de mortero para un $f'c$ de 43MPa, se plantean tres principales límites en el alcance del proyecto:

1. Límite Temporal, basados en la producción anual de fibras de abacá, sisal y PET del año 2015.
2. Límite Geográfico, utilizando datos de la producción del sector litoral de Ecuador, se utilizará materiales disponibles en el mercado como el cemento y demás componentes del mortero.
3. Límite con Respecto al Sistema Natural, se estudiará su producción por lo que será un análisis “cradle to gate”.

4.2. Análisis de inventario

En esta parte se procede a recopilar los datos de entrada y salida para la producción de los morteros propuestos para un $f'c$ 43MPa teniendo en cuenta la unidad funcional ya definida.

4.2.1. Mortero con fibras de abacá tratadas con hidróxido de sodio

La dosificación del mortero con fibras de abacá tratadas para un $f'c$ de 43MPa se las obtuvo del trabajo previo de Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha (2020) como se indica en la tabla 4. Se tiene en cuenta que la dosificación de las fibras de fibras es del 0.2% con respecto a los sólidos del motero (4.3 gr).

Tabla 4: Dosificaciones del mortero con fibras de abacá tratadas

MATERIALES	GRAMOS
Cemento GU	540
Arena	1620
Agua	305
Fibra	4.3
<u>Tratamiento alcalino a las fibras</u>	
NaOH	5820
Agua	180

Fuente: (Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha, 2020)

La dosificación de la tabla 4 no corresponden a 1m³ de mortero con fibra por lo cual se deben hacer las respectivas conversiones para determinar la cantidad adecuada para la unidad funcional ya definida para el estudio.

En la ilustración 10 y tabla 5 presentadas a continuación representan a los datos de entrada y salida de una manera más gráfica y detallada, respectivamente.

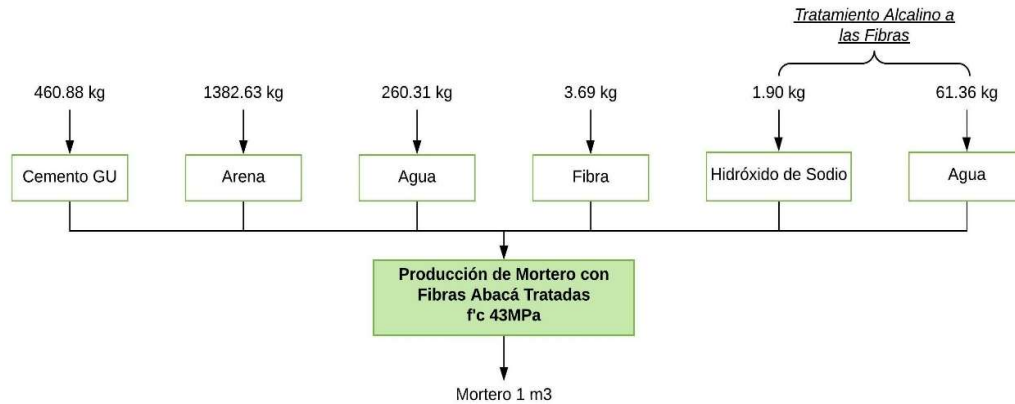


Ilustración 10: Diagrama de flujo de producción 1m³ de mortero con fibras de abacá tratada

Fuente: Autor

Tabla 5: Flujo de entrada y salida para 1m³ de Mortero con fibras de abacá tratadas de f'c: 43MPa

Flujos de Entrada	Cantidad	Unidad
Cemento GU	460.88	kg
Arena	1382.63	kg
Agua	260.31	kg
Fibra	3.69	kg
<i>Tratamiento alcalino a las fibras</i>		
NaOH	1.90	kg
Agua	61.31	kg
Flujo de Salida	Cantidad	Unidad
Mortero con Fibra de abacá f'c: 43 MPa	1	m ³

Fuente: Autor

4.2.2. Mortero convencional

La dosificación del mortero convencional se las obtiene del trabajo previo de Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha (2020) como se indica en la tabla 6.

Tabla 6: Dosificaciones del mortero convencional

MATERIALES	GRAMOS
Cemento GU	540
Arena	1620
Agua	305

Fuente: **(Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha, 2020)**

La dosificación presentada en la tabla anterior corresponde a un $f'c$ 39.4MPa con una carga aplicada de 63.04KN. En este trabajo de investigación se requiere que la resistencia del mortero convencional sea la misma que el mortero con fibras de abacá tratadas ($f'c$ 43MPa). Para lograr la resistencia deseada se debe mejorar la mezcla, es decir, dosificarlo con más cemento. Se tiene presente que las probetas usadas en la investigación previa de Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha (2020) eran de 40 X 40 X 160mm (base, altura y longitud). A continuación, se realiza los cálculos para determinar la fuerza necesaria en compresión mediante siguiente ecuación:

$$C = \frac{F}{A}$$

Ecuación 1: Resistencia a la compresión del mortero

$$43 = \frac{F}{1600} * 1000$$

$$F = 68.8 \text{ KN}$$

Haciendo una regla de tres, se determina la cantidad de cemento que necesita la muestra:

540

63.04 KN

$$X(\text{cemento}) = 68.8 \text{ KN}$$

$$X(\text{cemento}) = 589 \text{ g}$$

De igual forma, la dosificación presente de la tabla 7 y con la nueva dosificación de cemento no corresponden a 1m³ de mortero convencional por lo cual se deben hacer las respectivas conversiones para determinar la cantidad adecuada para la unidad funcional ya definida para el estudio.

En la ilustración 11 y tabla 7 presentadas a continuación representan a los datos de entrada y salida de una manera más gráfica y detallada, respectivamente.

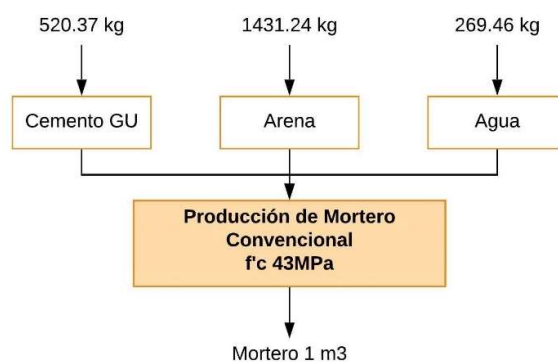


Ilustración 11: Diagrama de flujo de producción 1m³ de mortero convencional

Fuente: Autor

Tabla 7: Flujo de entrada y salida para 1m³ de Mortero convencional de f'c: 43MPa

Flujos de Entrada	Cantidad	Unidad
Cemento GU	520.37	kg
Arena	1431.24	kg
Agua	269.46	kg
Flujo de Salida	Cantidad	Unidad
Mortero convencional f'c: 43 MPa	1	m ³

Fuente: Autor

4.2.3. Mortero con fibras de sisal

La dosificación del mortero con fibras de sisal tratadas para un $f'c$ de 43MPa se realiza una dosificación teórica en cuanto a la cantidad de fibras de sisal mientras que para los demás materiales se usará las obtenidas del trabajo previo de Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha (2020) como se indica en la tabla 8. Se tiene en cuenta que la dosificación de las fibras de sisal es del 0.3% con respecto a los sólidos del motero (6.5 gr).

Tabla 8: Dosificaciones del mortero con fibras de sisal tratadas

MATERIALES	GRAMOS
Cemento GU	540
Arena	1620
Agua	305
Fibra	6.5
<u>Tratamiento alcalino a las fibras</u>	
NaOH	5820
Agua	180

Fuente: (Cubillo Santana & Chasiguasin Nacipucha, 2020)

La dosificación de la tabla 8 no corresponden a $1m^3$ de mortero con fibra de sisal por lo cual se deben hacer las respectivas conversiones para determinar la cantidad adecuada para la unidad funcional ya definida para el estudio.

En la ilustración 12 y tabla 9 presentadas a continuación representan a los datos de entrada y salida de una manera más gráfica y detallada, respectivamente.

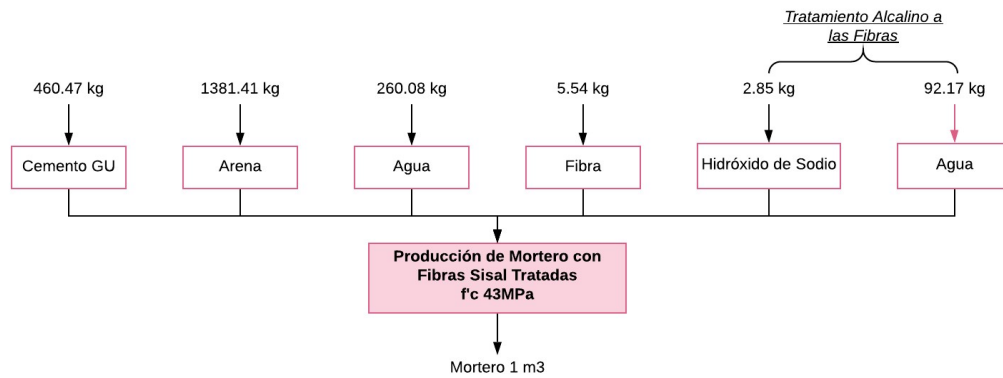


Ilustración 12: Diagrama de flujo de producción 1m³ de mortero con fibras de sisal tratada

Fuente: Autor

Tabla 9: Flujo de entrada y salida para 1m³ de Mortero con fibras de sisal tratadas de f'c: 43MPa

Flujos de Entrada	Cantidad	Unidad
Cemento GU	460.47	kg
Arena	1381.41	kg
Agua	260.08	kg
Fibra	5.54	kg
<i>Tratamiento alcalino a las fibras</i>		
NaOH	2.85	kg
Agua	92.17	kg
Flujo de Salida	Cantidad	Unidad
Mortero con Fibra de abacá f'c: 43 MPa	1	m ³

Fuente: Autor

4.2.4. Mortero con fibras PET

Para la dosificación del mortero con fibras de polietileno tereftalato reciclado se realizará una dosificación teórica, el porcentaje de la fibra de PET es obtenido de un trabajo de investigación previo de (Reyes, 2018) como se indica en la tabla 10.

Tabla 10 Dosificaciones del mortero con fibras de polietileno tereftalato reciclado

MATERIALES	KILOGRAMOS
Cemento GU	550
Arena	1348.3
Agua	284.8
Fibra	8.25

Fuente: Autor

En la ilustración 13 y tabla 11 presentadas a continuación representan a los datos de entrada y salida de una manera más gráfica y detallada, respectivamente.

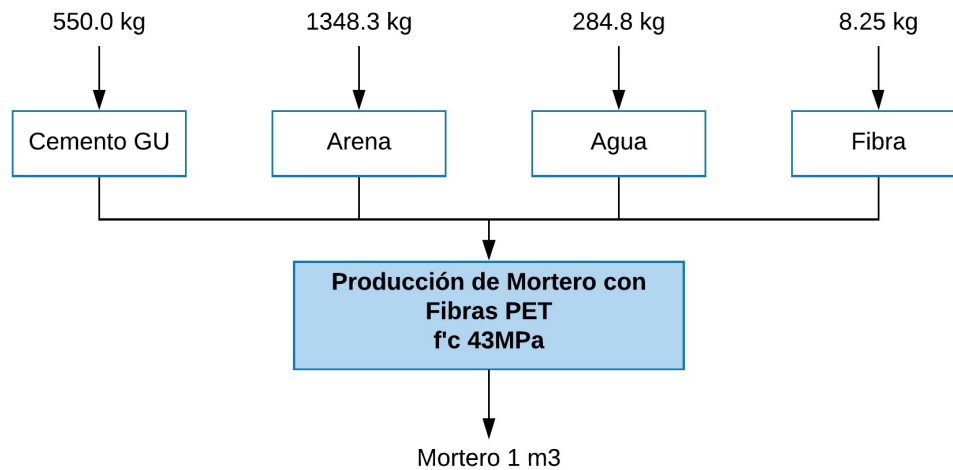


Ilustración 13: Diagrama de flujo de producción 1m³ de mortero con fibra de polietileno tereftalato

Fuente: Autor

Tabla 11 Flujo de entrada y salida para 1m³ de Mortero con fibras de polietileno tereftalato reciclado de f'c: 43MPa

Flujos de Entrada	Cantidad	Unidad
Cemento	550.00	kg
Arena	1348.30	kg
Agua	284.80	kg
Fibra	8.25	kg
Flujo de Salida	Cantidad	Unidad
Mortero con Fibra de Polietileno Tereftalato Reciclado PET f'c: 43 MPa	1	m ³

Fuente: Autor

4.3. Evaluación del impacto

El método de análisis de impactos ambientales a utilizar es el CLM 2001, desarrollado por el Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden (Guinée, 2001), en este trabajo se considerará solo una categoría de impacto: Global Warming Potential (GWP). La categoría de GWP usa el siguiente factor de conversión: kgCO₂ eq/ton. Para calcular el impacto ambiental de cada mortero consiste en la suma de GWP de los flujos de entrada. Para el cálculo de impacto de los flujos de entrada se debe multiplicar cada flujo para el factor de conversión, se tiene presente que la unidad del flujo debe estar en ton, para que el resultado quede en kg CO₂ eq.

$$GWP [kg CO_2 eq] = Flujos [ton] * Factor de conversión \left[kg CO_2 \frac{eq}{ton} \right]$$

Ecuación 2: Impacto ambiental GWP

4.3.1. Mortero con fibras de abacá tratadas con hidróxido de sodio

Los respectivos factores de conversión para GWP de los materiales presentes en este mortero se determinan mediante la base de datos del USLCI (arena, agua e hidróxido de sodio), la base de datos del GCCA (cemento GU) y los datos proporcionado de la investigación de Cortez et al., (2015) (abacá).

El dato obtenido para 1ton de fibras de abacá en cuánto al factor del GWP se encuentra dado por el transporte de las fibras (35.6 kgCO₂ eq) y empacado (12.1 kgCO₂ eq). Este último debe ser calculado de nuevo debido que la investigación de Cortez et al., (2015) usa el factor de emisión por kwh de electricidad de otro país (0.536006 kg CO₂/kwh), para ello se aplica una regla de tres. En cuanto al factor de emisión de electricidad para Ecuador se usó el trabajo de Parra (2018) de 0.329 kg CO₂/kwh.

$$12.1 \text{ kg CO}_2\text{eq} \quad 0.53606 \text{ kg CO}_2/\text{kwh}$$

$$X(\text{empacado}) \quad 0.329 \text{ kg CO}_2/\text{kwh}$$

$$X(\text{empacado}) = 7.43 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

Los respectivos cálculos para el impacto ambiental considerado (GWP) de 1m³ de mortero con fibras de abacá tratada se los muestra en la siguiente tabla 12.

Tabla 12: GWP de 1m³ de mortero con fibras de abacá tratadas de f'c 43MPa

		Factor de Conversión (kgCO ₂ eq./ton)	Cantidad	Unidad
Flujos de Entrada				
Cemento	460,88 kg	543	250,26	kgCO ₂ eq.
Arena	1382,63 kg	5,76	7,96	kgCO ₂ eq.
Agua	260,31 kg	0,628	0,16	kgCO ₂ eq.
Fibra	3,69 kg	43,03	0,16	kgCO ₂ eq.
Tratamiento alcalino				
Hidróxido	1,90 kg	1110	2,11	kgCO ₂ eq.
Agua	61,36 kg	0,628	0,04	kgCO ₂ eq.
Flujo de Salida				
Mortero Con Fibra Abacá f'c: 43MPa	1 m ³		260,69	kgCO ₂ eq.

Fuente: Autor

Mediante la tabla 12 se observa que 1m³ de mortero con fibras de abacá tratadas con hidróxido de sodio de f'c 43MPa tiene un impacto ambiental de 260.69 kgCO₂ eq.

4.3.2. Mortero convencional

Los respectivos factores de conversión para GWP de los materiales presentes en este mortero convencional se determinan mediante la base de datos del USLCI (arena y agua) y la base de datos del GCCA (cemento GU).

Los respectivos cálculos para el impacto ambiental considerado (GWP) de 1m³ de mortero convencional se los muestra en la tabla 13.

Tabla 13: GWP de 1m³ de mortero convencional de f'c 43MPa

		Factor de Conversión (kgCO ₂ eq./ton)	Cantidad	Unidad
Flujos de Entrada				
Cemento	520,37 kg	543	282,56	kgCO ₂ eq.
Arena	1431,24 kg	5,76	8,24	kgCO ₂ eq.
Agua	269,46 kg	0,628	0,17	kgCO ₂ eq.
Flujo de Salida				
Mortero Convencional f'c: 43MPa	1 m ³		290,97	kgCO ₂ eq.

Fuente: Autor

Mediante la tabla 13 se observa que 1m³ de mortero convencional de f'c 43MPa tiene un impacto ambiental de 290.97 kgCO₂ eq.

4.3.3. Mortero con fibras de sisal

Los respectivos factores de conversión para GWP de los materiales presentes en este mortero se determinan mediante la base de datos del USLCI (arena, agua e hidróxido de sodio), la base de datos del GCCA (cemento GU) y los datos proporcionado de la investigación Broeren et al. (2017) (sisal).

El dato obtenido para 1ton de fibras de sisal en cuánto al factor del GWP se encuentra dado mediante el método del IPCC del año 2013 y es 170 kgCO₂ eq. Los respectivos cálculos para el impacto ambiental considerado (GWP) de 1m³ de mortero con fibras de sisal tratadas se los muestra en la tabla 14.

Tabla 14: GWP de 1m³ de mortero con fibras de sisal tratadas de f'c 43MPa

		Factor de Conversión (kgCO₂ eq./ton)	Cantidad	Unidad
Flujos de Entrada				
Cemento	460,47 kg	543	250,04	kgCO ₂ eq.
Arena	1381,41 kg	5,76	7,96	kgCO ₂ eq.
Agua	260,08 kg	0,628	0,16	kgCO ₂ eq.
Fibra	5,54 kg	170	0,94	kgCO ₂ eq.
Tratamiento alcalino				
Hidróxido	2,85 kg	1110	3,16	kgCO ₂ eq.
Agua	92,17 kg	0,628	0,06	kgCO ₂ eq.
Flujo de Salida				
Mortero Con Fibra Sisal f'c: 43MPa	1 m ³		262,32	kgCO ₂ eq.

Fuente: Autor

Mediante la tabla 14 se observa que 1m³ de mortero con fibras de sisal tratadas con hidróxido de sodio de f'c 43MPa tiene un impacto ambiental de 262.32 kgCO₂ eq.

4.3.4. Mortero con fibras PET

Los respectivos factores de conversión para GWP de los materiales presentes en este mortero se determinan mediante la base de datos del USLCI (arena, agua e hidróxido de sodio), la base de datos del GCCA (cemento GU) y los datos proporcionado de la investigación de Shen et al., (2010) (polietileno tereftalato reciclado). El dato obtenido para 1ton de fibras de PET en cuánto al factor del GWP se encuentra dado por la base de datos Ecoinvent v2.0.

Los respectivos cálculos para el impacto ambiental considerado (GWP) de 1m³ de mortero con fibras de abacá tratada se los muestra en la siguiente tabla 15.

Tabla 15: GWP de 1m³ de mortero con fibra de polietileno tereftalato reciclado de f'c 43MPa

		Factor de Conversión (kgCO ₂ eq./ton)	Cantidad	Unidad
Flujos de Entrada				
Cemento	550,00 kg	543	298,65	kgCO ₂ eq.
Arena	1349,30 kg	5,76	7,77	kgCO ₂ eq.
Agua	284,80 kg	0,628	0,18	kgCO ₂ eq.
Agua	8,25 kg	960	-7,92	kgCO ₂ eq.
Flujo de Salida				
Mortero Con Fibra PET f'c: 43MPa	1 m3		298,68	kgCO ₂ eq.

Fuente: Autor

Mediante la tabla 15 se observa que 1m³ de mortero con fibra de polietileno tereftalato reciclado de f'c 43MPa tiene un impacto ambiental de 298.68 kgCO₂ eq.

4.4. Interpretación de Resultados

La tabla 16 muestra los resultados obtenido de la evaluación del ciclo de vida de 1m³ de los diferentes morteros propuestos mediante la categoría de GWP.

Tabla 16: Resultados de GWP para 1m³ de diferentes mortero con f'c 43MPa

TIPOS DE MORTEROS	Cantidad	Unidad
Con fibras abacá tratadas	260.69	kgCO ₂ eq
Convencional	290.97	kgCO ₂ eq
Con fibra sisal	262.32	kgCO ₂ eq
Con fibra polietileno	298.68	kgCO ₂ eq

Fuente: Autor

La ilustración 14 muestra de forma gráfica los resultados obtenidos del GWP para cada m³ de mortero.

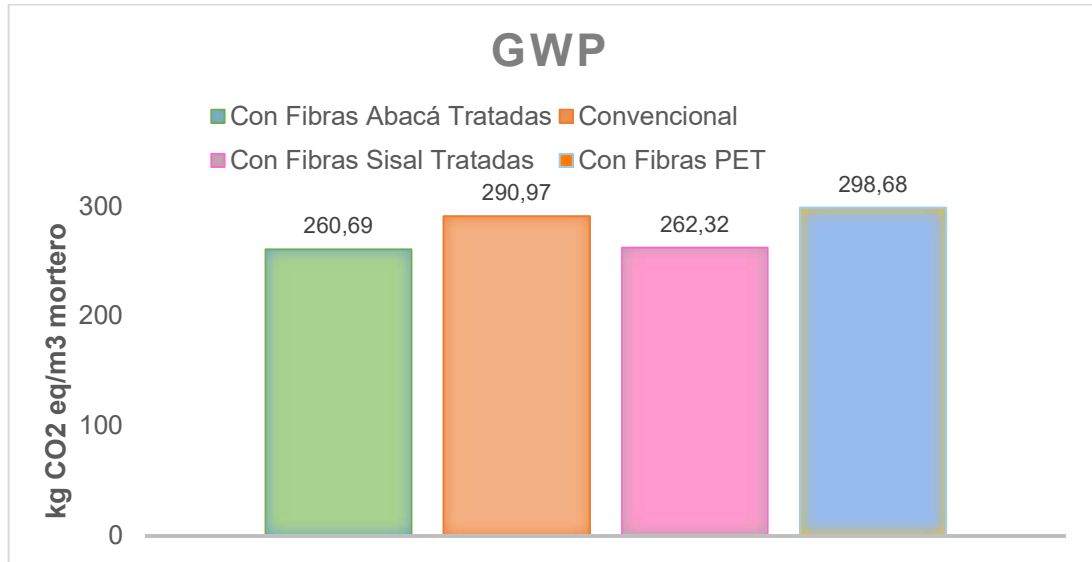


Ilustración 14: Comparativo de resultado de GWP

Fuente: Autor

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE CASO

En el capítulo V se desarrollará el análisis de costo para la producción de los cuatro morteros propuesto: mortero convencional, con fibras de abacá tratadas, con fibras de sisal tratadas y con fibras de PET para luego realizar un análisis comparativo del GWP con los costos.

5.1. Análisis de Costo

En esta parte se realiza los análisis de costos unitarios (APUS) para cada uno de los morteros mencionados.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO					UNIDAD	m3
DETALLE:	Mortero con Fibras Abacá Tratadas f'c 43MPa					
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Herramientas Menores (5% M.O.) Mezcladora	0,05	\$33,90	\$ 1,70		\$1,70	
SUBTOTAL					\$1,70	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Maestro Categoría C1	0,2	\$4,54	\$0,91	1	\$0,91	
Albañil Categoría D2	2	\$4,15	\$8,30	1	\$8,30	
Peón Categoría E2	2	\$4,10	\$8,20	1	\$8,20	
SUBTOTAL					\$17,41	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO		
Cemento GU	saco	9,22	\$7,50	\$69,13		
Arena	m3	0,53	\$12,31	\$6,55		
Agua	m3	0,32	\$1,20	\$0,39		
Fibra de Abacá	kg	3,69	\$0,80	\$2,95		
Hidróxido de Sodio	kg	1,90	\$1,00	\$1,90		
SUBTOTAL					\$80,91	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
SUBTOTAL					\$ -	
COSTO DIRECTO (M+N+P+O)					\$100,01	
INDIRECTOS Y UTILIDADES					0,00% \$0,00	
IMPREVISTOS					0,00% \$0,00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$100,01	

Ilustración 15: APUS para 1m³ de mortero con fibras abacá tratada f'c 43MPa

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO

DETALLE: Mortero Convencional f'c 43MPa

UNIDAD

m3

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas Menores (5% M.O.) Mezcladora	0,05	\$33,90	\$ 1,70		\$1,70
SUBTOTAL					\$1,70

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Maestro Categoría C1	0,2	\$4,54	\$0,91	1	\$0,91
Albañil Categoría D2	2	\$4,15	\$8,30	1	\$8,30
Peón Categoría E2	2	\$4,10	\$8,20	1	\$8,20
SUBTOTAL					\$17,41

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO
Cemento GU	saco	10,41	\$7,50	\$78,06
Arena	m3	0,55	\$12,31	\$6,78
Agua	m3	0,27	\$1,20	\$0,32
SUBTOTAL				\$85,16

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL				\$ -

COSTO DIRECTO (M+N+P+O)	\$104,26
INDIRECTOS Y UTILIDADES	0,00% \$0,00
IMPREVISTOS	0,00% \$0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$104,26

Ilustración 16: APUS para 1m³ de mortero con convencional f'c 43MPa

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO

DETALLE: Mortero con Fibras Sisal Tratadas f'c 43MPa

UNIDAD

m3

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas Menores (5% M.O.) Mezcladora	0,05	\$33,90	\$ 1,70		\$1,70
SUBTOTAL					\$1,70

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Maestro Categoría C1	0,2	\$4,54	\$0,91	1	\$0,91
Albañil Categoría D2	2	\$4,15	\$8,30	1	\$8,30
Peón Categoría E2	2	\$4,10	\$8,20	1	\$8,20
SUBTOTAL					\$17,41

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO
Cemento GU	saco	9,21	\$7,50	\$69,07
Arena	m3	0,53	\$12,31	\$6,54
Agua	m3	0,35	\$1,20	\$0,42
Fibra de Sisal	kg	5,54	\$0,70	\$3,88
Hidróxido de Sodio	kg	2,85	\$1,00	\$2,85
SUBTOTAL				\$82,76

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL				\$ -

COSTO DIRECTO (M+N+P+O)	\$101,86
INDIRECTOS Y UTILIDADES	0,00% \$0,00
IMPREVISTOS	0,00% \$0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$101,86

Ilustración 17: APUS para 1m³ de mortero con fibras sisal tratada f'c 43MPa

Fuente: Autor

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO

DETALLE: Mortero con Fibras PET f'c 43MPa

UNIDAD

m3

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas Menores (5% M.O.) Mezcladora	0,05	\$33,90	\$ 1,70		\$1,70
SUBTOTAL					\$1,70

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Maestro Categoría C1	0,2	\$4,54	\$0,91	1	\$0,91
Albañil Categoría D2	2	\$4,15	\$8,30	1	\$8,30
Peón Categoría E2	2	\$4,10	\$8,20	1	\$8,20
SUBTOTAL					\$17,41

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO UNITARIO
Cemento GU	saco	11,00	\$7,50	\$82,50
Arena	m3	0,52	\$12,31	\$6,38
Agua	m3	0,28	\$1,20	\$0,34
Fibra de PET	kg	5,54	\$6,92	\$38,34
SUBTOTAL				\$127,56

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL				\$ -

COSTO DIRECTO (M+N+P+O)	\$146,67
INDIRECTOS Y UTILIDADES	0,00% \$0,00
IMPREVISTOS	0,00% \$0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	\$146,67

Ilustración 18: APUS para 1m³ de mortero con fibras PET f'c 43MPa

Fuente: Autor

Se observa que el APUS correspondiente a la producción de 1m³ de mortero con fibras de abacá tratadas da \$110.31, para un mortero convencional su valor es \$114.56, mientras que para un mortero con fibras de sisal tratada es \$112.17 y por último un mortero con fibras PET con un valor de \$156.97.

5.2. Análisis Comparativo

Para este análisis comparativo, se utilizaron los resultados del GWP y APUS para la producción de los 4 morteros propuesto: con fibras de abacá tratadas, con fibras de sisal tratadas, convencional y con fibras PET.

5.2.1. Desempeño Ambiental (GWP)

El primer análisis comparativo consiste en comparar 1m³ de mortero convencional vs 1m³ de morteros con fibras para ver cuál es el más óptimo en cuanto a desempeño ambiental.

Tabla 17: Desempeño ambiental mortero convencional vs. mortero con fibras de abacá tratadas

MORTERO CONVENCIONAL VS. CON FIBRAS ABACÁ TRATADAS			
Flujo de Salida			
Mortero Convencional f'c: 43MPa	1 m3	290,97	kgCO2 eq.
Flujo de Salida			
Mortero Con Fibra Abacá f'c: 43MPa	1 m3	260,69	kgCO2 eq.
COMPARACIÓN		-10,41%	

Fuente: Autor

En la tabla 17 se observa que 1m³ de mortero convencional tiene una huella de 290.97kg CO₂ eq.; mientras que 1m³ de mortero con fibra de abacá, una huella de 260.69kg CO₂ eq. Es decir, la inserción de las fibras de abacá tratadas (NaOH 3%) hace que sea 10.41% menos contaminante.

Tabla 18: Desempeño ambiental mortero convencional vs. mortero con fibras de sisal tratadas

MORTERO CONVENCIONAL VS. CON FIBRAS SISAL TRATADAS			
Flujo de Salida			
Mortero Convencional f'c: 43MPa	1 m3	290,97	kgCO2 eq.
Flujo de Salida			
Mortero Con Fibra Sisal f'c: 43MPa	1 m3	262,32	kgCO2 eq.
COMPARACIÓN		-9,85%	

Fuente: Autor

En la tabla 18 se observa que 1m³ de mortero convencional tiene una huella de 290.97kg CO₂ eq.; mientras que 1m³ de mortero con fibra de sisal, una huella de 262.32kg CO₂ eq. Es decir, la inserción de las fibras de sisal tratadas (NaOH 3%) hace que sea 9.85% menos contaminante.

Tabla 19: Desempeño ambiental mortero convencional vs. mortero con fibras PET

MORTERO CONVENCIONAL VS. CON FIBRAS PET			
Flujo de Salida			
Mortero Convencional f'c: 43MPa	1 m3	290,97	kgCO2 eq.
Flujo de Salida			
Mortero Con Fibra PET f'c: 43MPa	1 m3	298,68	kgCO2 eq.
COMPARACIÓN		2,65%	

Fuente: Autor

En la tabla 19 se observa que 1m³ de mortero convencional tiene una huella de 290.97kg CO₂ eq.; mientras que 1m³ de mortero con fibra PET, una huella de 298.68kg CO₂ eq. Es decir, la inserción de fibras PET hace que sea 2.65% más contaminante.

En la ilustración 19 se muestra de manera gráfica los resultados obtenidos del análisis comparativo en función del desempeño ambiental del GWP de 1m³ de mortero convencional vs 1m³ de morteros con fibras.

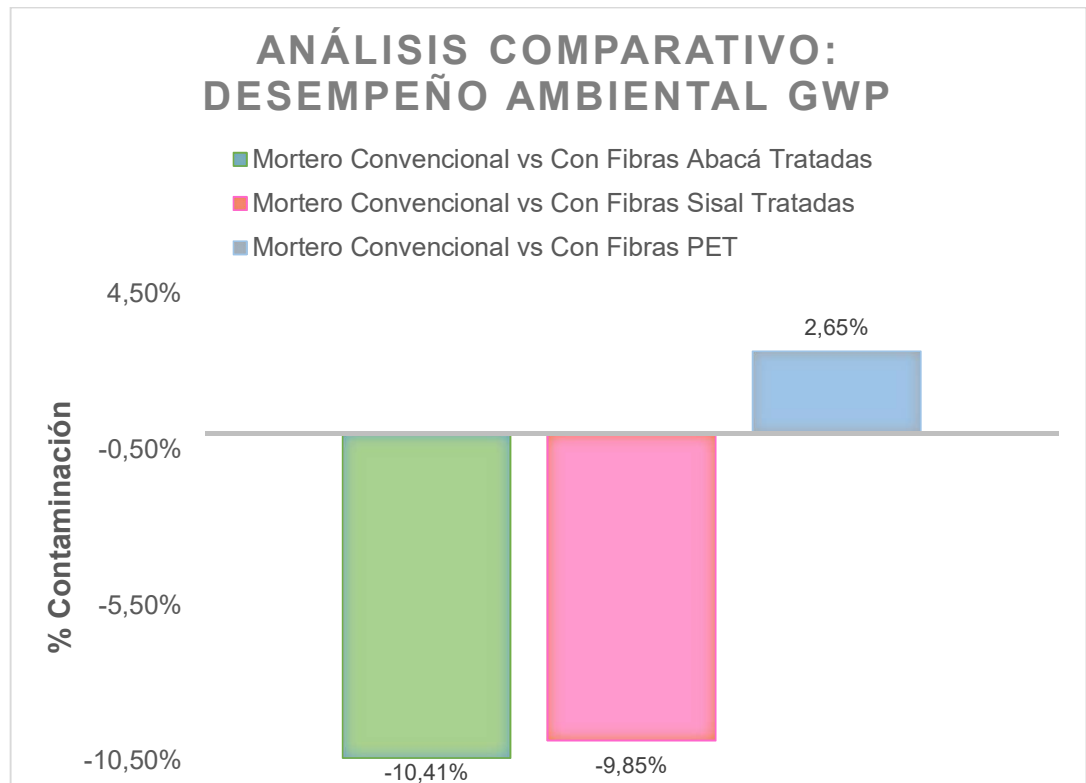


Ilustración 19: Análisis comparativo en función del desempeño ambiental GWP de 1m³ de mortero convencional vs 1m³ de morteros con fibras.

Fuente: Autor

5.2.2. Costos

El segundo análisis comparativo consiste en comparar 1m³ de mortero convencional vs 1m³ de morteros con fibras para ver cuál es el más óptimo en cuanto a su costo de producción.

Tabla 20: Costo de producción del mortero convencional vs. mortero con fibras de abacá tratadas

MORTERO CONVENCIONAL VS. CON FIBRAS ABACÁ TRATADAS	
Costo de Producción	
1m3 de Mortero Convencional f'c: 43MPa	\$ 114,56
Costo de Producción	
1m3 de Mortero Con Fibra Abacá f'c: 43MPa	\$ 110,31
COMPARACIÓN	3,71%

Fuente: Autor

En la tabla 20 se observa que 1m³ de mortero convencional tiene un costo de producción de \$114.56; mientras que 1m³ de mortero con fibra de abacá, un costo de \$110.31. Es decir, la inserción de las fibras de abacá tratadas (NaOH 3%) hace que sea 3.71% más económico.

Tabla 21: Costo de producción del mortero convencional vs. mortero con fibras de sisal tratadas

MORTERO CONVENCIONAL VS. CON FIBRAS SISAL TRATADAS	
Costo de Producción	
1m3 de Mortero Convencional f'c: 43MPa	\$ 114,56
Costo de Producción	
1m3 de Mortero Con Fibra Sisal f'c: 43MPa	\$ 112,17
COMPARACIÓN	2,09%

Fuente: Autor

En la tabla 21 se observa que 1m³ de mortero convencional tiene un costo de producción de \$114.56; mientras que 1m³ de mortero con fibra de abacá, un costo de \$112.17. Es decir, la inserción de las fibras de sisal tratadas (NaOH 3%) hace que sea 2.09% más económico.

Tabla 22: Costo de producción del mortero convencional vs. mortero con fibras PET

MORTERO CONVENCIONAL VS. CON FIBRAS PET	
Costo de Producción	
1m ³ de Mortero Convencional f'c: 43MPa	\$ 114,56
Costo de Producción	
1m ³ de Mortero Con Fibra PET f'c: 43MPa	\$ 156,97
COMPARACIÓN	-37,02%

Fuente: Autor

En la tabla 22 se observa que 1m³ de mortero convencional tiene un costo de producción de \$114.56; mientras que 1m³ de mortero con fibra PET, un costo de \$156.97. Es decir, la inserción de fibras PET hace que sea 37.02% menos económico.

En la ilustración 20 se muestra de manera gráfica los resultados obtenido del análisis comparativo en función al costo de producción de 1m³ de mortero convencional vs 1m³ de morteros con fibras.

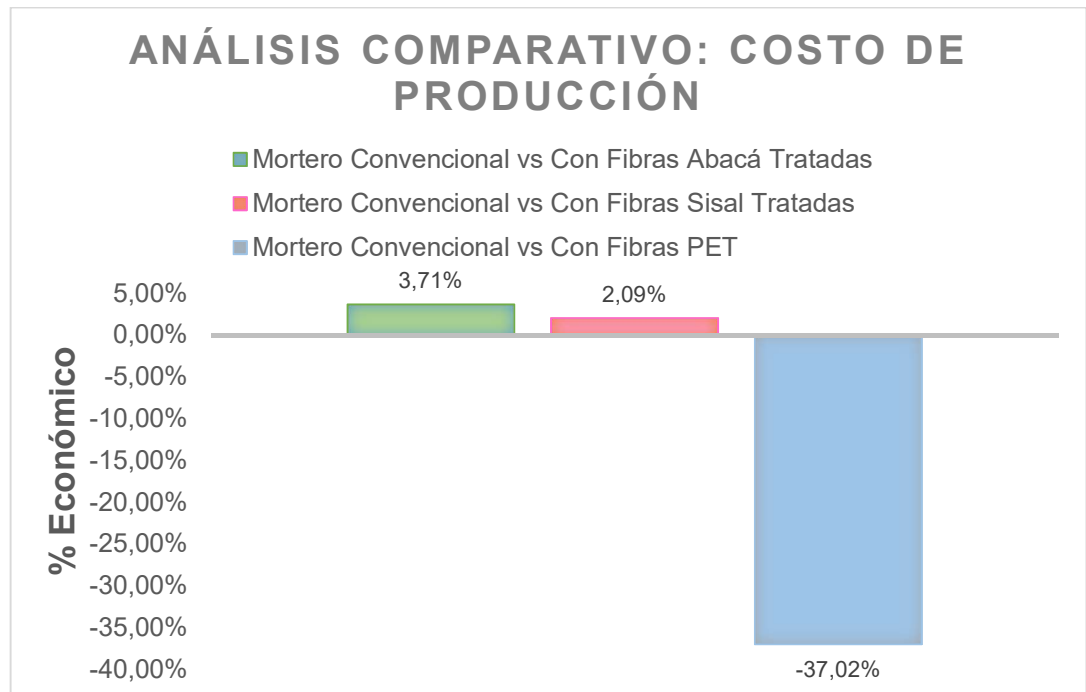


Ilustración 20: Análisis comparativo en función del costo de producción de 1m³ de mortero convencional vs 1m³ de morteros con fibras.

Fuente: Autor

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El propósito que tiene este trabajo de investigación es el de realizar un comparativo entre el mortero tradicional vs mortero con otras fibras: vegetales tratadas con hidróxido de sodio al 3% (abacá y sisal) y sintéticas (PET), con un f'c igual en todos los morteros de 43MPa, haciendo su respectivo análisis del ciclo de vida y los análisis de costos de cada uno de los morteros mencionado anteriormente.

- El mortero con fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio al 3% genera un impacto ambiental de 260.69 kg CO₂ eq / m³ y tiene un costo de producción para cada m³ igual a \$110.31.
- El mortero convencional genera un impacto ambiental de 290.97 kg CO₂ eq / m³ y tiene un costo de producción para cada m³ igual a \$114.56.
- El mortero con fibra de sisal tratada con hidróxido de sodio al 3% genera un impacto ambiental de 262.32 kg CO₂ eq / m³ y tiene un costo de producción para cada m³ igual a \$112.17.
- El mortero con fibra PET (polietileno tereftalato reciclado) genera un impacto ambiental de 298.68 kg CO₂ eq / m³ y tiene un costo de producción para cada m³ igual a \$156.97.

Se logra evidenciar en el análisis comparativo realizado en el capítulo V de este proyecto de investigación que, el mortero de fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio al 3% genera un menor impacto ambiental y a su vez un costo de producción más bajo en comparación con los demás morteros analizados.

El mortero con fibra de sisal tratada tiene un impacto ambiental aproximado al mortero con fibra de abacá tratada y de igual manera un costo de producción parecido, esto nos ayuda a concluir que las fibras vegetales que han sido tratadas posteriormente poseen un gran potencial ecológico y de igual manera económico en el área de la construcción.

La utilización de mortero tradicional tiene un impacto ambiental elevado; sin embargo, su costo de producción por cada m^3 es aproximado al mortero con fibras vegetales tratadas. Por otra parte, el uso de fibras de polietileno tereftalato reciclado (PET) en morteros, tiene un mayor costo de producción y un mayor impacto ambiental en comparación al mortero tradicional y a los morteros con fibras vegetales que se han estudiado en esta investigación, lo que hace que se concluya que la fibra sintética que se ha propuesto no sea la más adecuada.

Los costos de producción por cada m^3 que se determinaron mediante el respectivo análisis de costos dan como resultados valores aproximados en tres de los cuatro morteros analizados. Sin embargo, la alternativa de mayor importancia en esta investigación es la cantidad de CO_2 que genera cada uno de los morteros y que tanta contaminación ambiental pueden llegar a tener.

El mortero con fibra de abacá tratada es el principal elemento en esta investigación, al no existir mucha información sobre el análisis de ciclo de vida de esta fibra y no tener los factores de conversión de cinco de las seis categorías de impacto, se concluyó que se trabajaría con la restante, la misma que es Global Warming Potential (GWP), de esta categoría si existía un análisis de la fibra y por ende su factor de conversión.

Finalmente, se concluye que el mortero con fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio al 3% cumple con la hipótesis propuesta en este trabajo de investigación, debido a que, si tiene un menor costo de producción y lo más importante, genera una menor cantidad de CO_2 lo que lo hace menos contaminante para el medio ambiente.

6.2. Recomendaciones

Se sugiere para futuras investigaciones que las dosificaciones necesarias para los morteros con fibras se realicen en función de la parte experimental, debido a las condiciones actuales que se están viviendo en el país, ha sido imposible desarrollar los ensayos correspondientes, por lo que se realizó en esta investigación una dosificación teórica, para el mortero con fibra de vegetal (sisal) y sintética (PET), que aportará de manera significativa a futuras investigaciones.

También es recomendable que se realicen los ensayos necesarios para de esta forma poder determinar la correcta resistencia que tendrán los morteros con fibras añadidas en su mezcla, y así, para llegar a una misma resistencia con diferentes fibras poder realizar los cálculos necesarios para determinar la variación de componentes en su dosificación, esto ayudará a tener un correcto análisis de ciclo de vida y de igual manera un buen análisis de costos, debido a que, se conocerán la cantidad de dosificaciones exactas que deberá tener cada mortero.

Debido a la falta de información que existe sobre las categorías de impacto en fibras naturales, en este caso con la fibra de abacá, en este proyecto de investigación se decidió realizar una de las seis categorías de impactos, la misma que fue la de Global Warming Potential (GWP). Por lo tanto, se procedió con esa categoría para todos los morteros ya que se quería efectuar un comparativo, sin embargo, de las otras dos fibras mencionadas en esta investigación si existía información de los factores de conversión de las otras categorías en las bases de datos.

Es recomendable que se realice el respectivo análisis de ciclo de vida (ACV) con las diferentes categorías de impactos restantes para los morteros que contengan fibras naturales o sintéticas en su composición y así lograr obtener con mayor profundidad un acerca de la afectación medioambiental que dicho mortero produce.

Finalmente, se recomienda que mientras más categorías de impacto se realicen en futuras investigaciones, mejor será el análisis de ciclo de vida que se obtendrá.

REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2012). El medio urbano. *Agencia Europea de Medio Ambiente*.
- American Society for Testing and Materials. (1974). ASTM C144. Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar. *Annual Book of ASTM Standards*, 70, 4–5. <https://doi.org/10.1520/C0144-11.2>
- Angumba, P. (2016). *LADRILLOS ELABORADOS CON PLÁSTICO RECICLADO (PET), PARA MAMPOSTERÍA NO PORTANTE* [Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25297/1/tesis.pdf>
- Armezin, R. B., & Coseco, W. C. (2012). Abaca (*Musa textilis* Nee) allometry for above-ground biomass and fiber production. *Biomass and Bioenergy*, 46(0), 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.004>
- Booya, E., Ghaednia, H., Das, S., & Pande, H. (2018). Durability of cementitious materials reinforced with various Kraft pulp fibers. *Construction and Building Materials*, 191, 1191–1200. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.139>
- Broeren, M. L. M., Dellaert, S. N. C., Cok, B., & Patel, M. K. (2017). Life cycle assessment of sisal fibre – Exploring how local practices can influence environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, 149, 818–827.
- Cagiao, J., Gómez, B., Doménech, J., Gutiérrez, S., Gutiérrez, H., Martínez, F., & González, M. (2010). *HUELLA ECOLÓGICA DEL CEMENTO*.
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Katoh, M., Ueki, T., Waterhouse, G. I. N., & Li, Y. (2015). Influence of alkali treatment on internal microstructure and tensile properties of abaca fibers. *Industrial Crops and Products*, 65, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.048>
- Calle Balladares, G. E. (2019). *INGENIERÍA CIVIL TEMA : INFLUENCIA DEL*

EFFECTO ALCALINO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MORTERO REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13839>

Chain, N., & Fahim, M. (2008). Sisal reinforced polymer composites. In *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites* (pp. 84–107). Elsevier.
<https://doi.org/10.1533/9781845695057.84>

Cortez, C. V, Alcantara, A. J., Pacardo, E. P., & Rebanco, C. M. (2015). *Life Cycle Assessment of Manila Hemp in Catanduanes , Philippines*. 18(December), 53–61.

Cubillo Santana, A. L., & Chasiguasin Nacipucha, L. F. (2020). *Procesos de envejecimientos natural y acelerado del mortero reforzado con fibra de abacá previamente tratada con Hidróxido de Sodio* (Vol. 2, Issue 1) [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14407>

Čuček, L., Klemeš, J. J., & Kravanja, Z. (2015). *Overview of environmental footprints*. 131–193. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00005-1>

de Klerk, M. D., Kayondo, M., Moelich, G. M., de Villiers, W. I., Combrinck, R., & Boshoff, W. P. (2020). Durability of chemically modified sisal fibre in cement-based composites. *Construction and Building Materials*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117835>

de Souza, N. C. R., & D’Almeida, J. R. M. (2014). Tensile, Thermal, Morphological and Structural Characteristics of Abaca (Musa Textiles) Fibers. *Polymers from Renewable Resources*, 5(2), 47–60. <https://doi.org/10.1177/204124791400500201>

Deng, Y. (2015). *LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIOBASED FIBRE-REINFORCED POLYMER COMPOSITES*.

Dincer, I., & Abu-Rayash, A. (2020). Sustainability modeling. In *Energy*

Sustainability (pp. 134–155). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819556-7.00006-1>

Dossche, C., Boel, V., & De Corte, W. (2017). Use of Life Cycle Assessments in the Construction Sector: Critical Review. *Procedia Engineering*, 171, 302–311. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.338>

Enríquez, F. (2013). *COMPORTAMIENTO DEL HIDRÓXIDO DE SODIO Y POTASIO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA AMBIENTAL* [UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. <http://200.12.169.19/bitstream/25000/870/1/T-UCE-0017-22.pdf>

Europea Commission, Joint Research Centre, & Institute for Environment and Sustainability. (2010). *ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance* (Primera). <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>

FAO. (2020). *Abacá*. <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>

Flower, D. J. M., & Sanjayan, J. G. (2017). Greenhouse Gas Emissions Due to Concrete Manufacture. *Handbook of Low Carbon Concrete*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804524-4.00001-4>

Freire Peñafiel, M. M. (2019). *INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO, TAMAÑO Y DOSIFICACIÓN DE LAS FIBRAS DE ABACÁ EN EL MORTERO* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12603>

Guinée, J. B. (2001). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*.

Haya, E. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. 43. https://static.eoi.es/savia/documents/teoria_acv_migma1.pdf

Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R.,

- Frischknecht, R., Hellweg, S., Humbert, S., Jungbluth, N., Köllner, T., Loerincik, Y., Margni, M., & Nemecek, T. (2010). *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*.
- Holcim Ecuador S.A. (2016). *Cemento Holcim Fuerte Tipo GU. 2*.
https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf
- Houtman, R. (2015). *Materials used for architectural fabric structures*. 101–121.
- Humphreys, K., & Hahasenana, M. (2002). *Towards a sustainable cement industry. Substudy 8: climate change*. 1–61.
<https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20269589>
- INSHT. (2010). Hidróxido De Sodio. *Fichas Internacionales de Seguridad Química*, 265.
- Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. (2015). *NORMA TECNICA ECUATORIANA*.
- ISO 14044. (2006). *Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>
- 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, 573–583.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.05.028>
- Kilinc, A. Ç., Durmuşkahya, C., & Seydibeyoğlu, M. Ö. (2017). Natural fibers. In *Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites* (pp. 209–235). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101871-2.00010-2>
- Kupolati, W. K., Sadiku, E. R., Ibrahim, I. D., Adeboje, A. O., Kambole, C., Ojo, O. O. S., Eze, A. A., Paige-Green, P., & Ndambuki, J. M. (2017). The use of polyolefins in geotextiles and engineering applications. *Polyolefin*

Fibres, 497–516. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101132-4.00016-3>

La Rosa, A. D. (2016). *Life cycle assessment of biopolymers*. 57–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100214-8.00004-X>

Marinković, S., & Carević, V. (2018). Comparative studies of the life cycle analysis between conventional and recycled aggregate concrete. In *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete* (pp. 257–291). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102480-5.00010-5>

Mefteh, H., Kebaili, O., Oucief, H., Layachi, B., & Nourredine, A. (2013). Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete. *Journal of Cleaner Production*, 54, 282–288. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.009>

Nayak, R., Houshyar, S., Khandual, A., Padhye, R., & Fergusson, S. (2020). Identification of natural textile fibres. In *Handbook of Natural Fibres* (Second, Vol. 1, pp. 503–534). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818398-4.00016-5>

NTE INEN 2518. (2010). *Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización*. 2007(1), 15. [https://doi.org/10.1016/s0301-5629\(02\)00732-9](https://doi.org/10.1016/s0301-5629(02)00732-9)

Onuaguluchi, O., & Banthia, N. (2016). Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. *Cement and Concrete Composites*, 68, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.014>

Ouarhim, W., Zari, N., Bounhfid, R., & el kacem Qaiss, A. (2019). Mechanical performance of natural fibers–based thermosetting composites. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, 43–60.

Parra, R. (2018). *Dynamics of the Electrical CO2 Emission Factor in Ecuador during the Period 2001 – 2017*.

Ramesh, M. (2018). Hemp, jute, banana kenaf, ramie, sisal fibers. In *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres* (Second, pp. 301–

325). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101272-7.00009-2>

Reyes, I. (2018). *Diseño de un concreto con fibras de Polietileno Tereftalato (pet) reciclado para la ejecución de losas en el asentamiento humano Amauta*. UNIVERSIDAD RICARDO PALMA.

Saba, N., & Jawaid, M. (2017). Epoxy resin based hybrid polymer composites. In *Hybrid Polymer Composite Materials* (pp. 57–82). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100787-7.00003-2>

Sabanés, M. (2013). *Uso de No Tejidos de Fibras Vegetales en Matrices de Cemento para Materiales de Construcción* [Universidad Politécnica de Cataluña]. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19871/TFM_Sabanés_Alethia_FVMC_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salas Márquez, D., Petroche Sánchez, D., Ramírez, A. D., Rodríguez, C. R., Boero Vera, A., Meléndres Palma, A., Duque-Rivera, J., Domingo, S., & Republic, D. (2015). *Defining Purpose and Scope for Environmental Analysis Life Cycle Cement in Ecuador*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.185>

Sayem, A. S. M., & Haider, J. (2020). An Overview on the Development of Natural Renewable Materials for Textile Applications. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (pp. 822–838). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10983-X>

Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resources, Conservation & Recycling*, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.06.014>

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. In *Handbook of Natural Fibres* (pp. 197–218). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00008-6>

Snoeck, D., Smetryns, P. A., & De Belie, N. (2015). Improved multiple cracking

and autogenous healing in cementitious materials by means of chemically-treated natural fibres. *Biosystems Engineering*, 139(1998), 87–99. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.08.007>

Townsend, T. (2020). World natural fibre production and employment. In *Handbook of Natural Fibres* (Second, Vol. 1, pp. 15–36). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00002-5>

Valdez, V. (2014). Aplicaciones del agua en Ingeniería Civil. *Tecnología de Los Materiales de Construcción*. https://www.academia.edu/8929938/EL_AGUA_PARA_CONSTRUCCION

Vallero, D. A. (2019). *Chapter 8 - Air pollution biogeochemistry* (D. A. B. T.-A. P. C. Vallero (ed.); pp. 175–206). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814934-8.00008-9>

Varley, D., Yousaf, S., Youseffi, M., Mozafari, M., Khurshid, Z., & Sefat, F. (2019). Fiber-reinforced composites. *Advanced Dental Biomaterials*, 301–315. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102476-8.00013-X>

WBCSD. (2012). *Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento*.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Tobar Vergara Ingrid Belén y Cobeña Zambrano Stalin Fernando**, con C.C: # 0954520615 y # 1312856485 autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL MORTERO CON ADICIONES DE FIBRA DE ABACÁ TRATADA CON HIDRÓXIDO DE SODIO”** 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, 11 de septiembre de 2020

EL AUTOR

LA AUTORA

f. _____

f. _____

Cobeña Zambrano Stalin Fernando
C.C: 1312856485

Tobar Vergara Ingrid Belén
C.C: 0954520615



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Análisis del ciclo de vida del mortero con adiciones de fibra de abacá tratada con hidróxido de sodio		
AUTOR(ES)	Tobar Vergara, Ingrid Belén; Cobeña Zambrano, Stalin Fernando		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Stefany Alcívar Bastidas		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	DE 11 de septiembre de 2020	No. PÁGINAS:	DE 89
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería sustentable, Construcción y materiales, Materiales Naturales		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Mortero, abacá, sisal, PET, ACV, GWP, costos		

RESUMEN/ABSTRACT:

El presente trabajo tiene como propósito demostrar el desempeño ambiental que tienen los morteros convencionales o con fibras añadidas, ya sean estas vegetales (abacá y sisal) o sintéticas (PET), en el ámbito de la construcción mediante el correcto ACV (análisis de ciclo de vida). Es importante mencionar que las fibras vegetales deberán estar previamente tratadas con hidróxido de sodio NaOH al 3% para realizar dicho análisis. Por otra parte, se realiza un análisis de costo para cada uno de los morteros en mención y así poder realizar un comparativo entre ellos, según su costo y cantidad de kgCO₂ eq por cada m³ de producción. Dicho análisis comparativo presenta los valores esperados, siendo que el mortero con fibra de abacá tratada con NaOH al 3% está por debajo de los otros tres morteros analizados, teniendo un menor resultado en cuanto al impacto ambiental que genera en la categoría de GWP (Global Warming Potential) y al menor costo que presenta realizar su producción.

The purpose of this investigation is to demonstrate the environmental performance of conventional mortars or mortars with added fibers, whether these are vegetable (abaca and sisal) or synthetic (PET), in the construction field through the correct LCA (life cycle analysis). It is important to mention that vegetable fibers had been previously treated with a 3% of sodium hydroxide NaOH. Also, cost analysis has been performed in all mortars previously mentioned, considering the kgCO₂ eq per m³ of production. The comparative analysis shows the expected results, meaning that the reinforced mortar with abaca fibers treated with 3% sodium hydroxide NaOH has the lowest environmental impact compared to the others in terms of the environmental impact generated by the GWP category (Global Warming Potential) and at the lowest cost of production.



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTORES:	Teléfono: +593-980721798 Teléfono: +593-986437881	E-mail: ingridtobar@hotmail.com E-mail: stalin1997@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos	
	Teléfono: +593-4-2206956	
	E-mail: clara.glas@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):		