



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA LA ELABORACIÓN DE PISOS
UTILIZANDO ESTOPA DE COCO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COMO
AGLUTINANTE**

Vera Lucia Tatuaca Rosales

Asesorado por el Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA LA ELABORACIÓN DE PISOS
UTILIZANDO ESTOPA DE COCO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COMO
AGLUTINANTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VERA LUCIA TATUACA ROSALES
ASESORADO POR EL ING. JORGE EMILIO GODÍNEZ LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Juan Pablo Argueta Elías
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA LA ELABORACIÓN DE PISOS
UTILIZANDO ESTOPA DE COCO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COMO
AGLUTINANTE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de mayo de 2016.



Vera Lucia Tatuaca Rosales

Guatemala, 17 de octubre de 2018

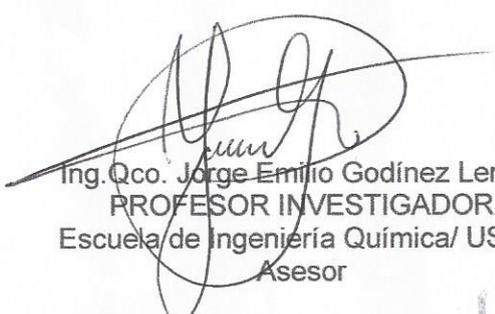
Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente doy mi aprobación al Informe Final del trabajo de graduación **“EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA LA ELABORACIÓN DE PISOS UTILIZANDO ESTOPA DE COCO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COMO AGLUTINANTE.”**, de la estudiante de Ingeniería Química Vera Lucia Tatuaca Rosales quien se identifica con CUI No. 21684753240117 y registro académico número 2011-14098.

Sin otro particular y agradeciéndole de antemano su colaboración, me suscribo de usted.

Atentamente:



Ing. Qco. Jorge Emilio Godínez Lemus
PROFESOR INVESTIGADOR
Escuela de Ingeniería Química/ USAC
Asesor

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
INGENIERO QUÍMICO
Colegiado 874



Guatemala, 23 de enero de 2019.
Ref. EIQ.TG-IF.004.2019.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **031-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Vera Lucia Tatuaca Rosales**.
Identificada con número de carné: **2168 47524 0117**.
Identificada con registro académico: **2011-14098**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA LA
ELABORACIÓN DE PISOS UTILIZANDO ESTOPA DE COCO Y POLIETILENO
DE BAJA DENSIDAD COMO AGLUTINANTE

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Emilio Godínez Lemus**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Adela María Marroquín González
Inga. Adela María Marroquín González
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.021.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **VERA LUCIA TATUACA ROSALES** titulado: **"EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA LA ELABORACIÓN DE PISOS UTILIZANDO ESTOPA DE COCO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COMO AGLUTINANTE"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, marzo 2019

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

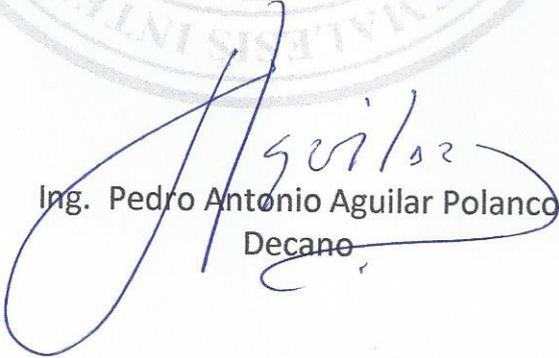


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG.124.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS PARA LA ELABORACIÓN DE PISOS UTILIZANDO ESTOPA DE COCO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD COMO AGLUTINANTE**, presentado por la estudiante universitaria: **Vera Lucía Tatuaca Rosales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, marzo de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** A ti dedico primeramente este éxito; tú siempre has estado a mi lado; me has brindado sabiduría para poder seguir adelante y me has enseñado a perseverar en toda mi carrera y trayecto de vida.
- Mis padres** Por el amor que me han brindado, en especial a mi madre por sus sabios consejos y por su enorme amor. Gracias por confiar en mí.
- Mis sobrinos** Anderson y Sofía Tatuaca, por ser mi felicidad, mi deseo de superación, y por permitirme ser un ejemplo para ellos.
- Mi familia** María Concepción Rosales, por ser una mamá para mí y Marco Aurelio Rosales, por haber sido un padre para mí. Mi cariño para ustedes.
- Mi hermano** Por su amor, apoyo y confianza.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme fuerza y sabiduría para llegar a culminar este sueño.
Mis padres	Por haber realizado el mayor esfuerzo, y sacarme adelante en esta etapa de mi vida
Mis amigos	Por brindarme su amistad, solidaridad y por apoyarme en todo momento y compartir cada éxito conmigo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de estudiar dentro de sus puertas.
Área de Operaciones Unitarias, EIQ	Por darme la oportunidad de desarrollarme académicamente y laboralmente.
Sección de Tecnología de la Madera	Por darme la oportunidad de realizar la parte experimental de mi trabajo de graduación.
Ingeniero Jorge Godínez	Por ser mi asesor para la elaboración de mi informe final y un gran amigo.
Ingeniero Mauricio Rivera	Por su apoyo y disponibilidad en la elaboración de este trabajo de graduación.

**Ingeniera Adela
Marroquín**

Por su colaboración y disponibilidad en la
elaboración de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Justificación	3
1.2. Determinación del problema.....	3
1.2.1. Definición.....	3
1.2.2. Delimitación	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Madera	5
2.1.1. Propiedades comunes y específicas de la madera	5
2.1.1.1. Propiedades mecánicas de la madera	6
2.1.1.2. Propiedades físicas	7
2.2. Polietileno de baja densidad (PEBD).....	10
2.2.1. Aplicaciones.....	13
2.3. Termoplástico	13
2.4. <i>Wood plastic composite (WPC)</i>	14

2.4.1.	Características del WPC	15
2.4.2.	Ventajas del WPC	16
2.4.3.	Características de los compuestos reforzados con fibras.....	16
2.4.3.1.	Relación de aspecto	17
2.4.3.2.	Fracción volumétrica de fibras.....	17
2.4.3.3.	Orientación de las fibras.....	17
2.4.4.	Propiedades mecánicas	17
2.5.	Compuestos de madera y plástico	19
2.5.1.	Materiales celulósicos	20
2.6.	Fibras naturales	21
2.6.1.	Fibra de coco.....	21
2.6.1.1.	Características	22
2.6.2.	Estopa de coco.....	23
2.7.	Producción de coco en Guatemala	25
2.7.1.	Fuentes de producción.....	25
2.8.	Norma de planificación y construcción, FHA.....	26
2.8.1.	Materiales y productos	27
3.	METODOLOGÍA	29
3.1.	Variables	29
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	29
3.3.	Recursos humanos disponibles	30
3.4.	Recursos materiales.....	30
3.5.	Recolección y ordenamiento de la información.....	30
3.6.	Análisis estadístico.....	38
4.	RESULTADOS.....	39

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	63
APÉNDICES	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cadena del polietileno de baja densidad	12
2.	Estopa de coco	24
3.	Densidad de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco	40
4.	Porcentaje de contracción volumétrica de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco	41
5.	Porcentaje de absorción de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco	42
6.	Porcentaje de humedad de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco	43
7.	Valor medio de dureza de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco	44
8.	Valor medio de esfuerzo a la flexión de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco	45
9.	Valor medio de esfuerzo a la tensión de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco	46
10.	Densidad de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones	48
11.	Porcentaje de contracción volumétrica de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones	48
12.	Porcentaje de absorción de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones.....	49
13.	Porcentaje de humedad de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones.....	49

14.	Dureza de Janka de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones	50
15.	Esfuerzo a la flexión de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones	50
16.	Esfuerzo a la tensión de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones	51

TABLAS

I.	Propiedades térmicas del polietileno de baja densidad	11
II.	Propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad.....	12
III.	Variables de operación	29
IV.	Valor medio y desviación de valores de densidad en probetas de estopa de coco	39
V.	Valor medio y desviación de valores de contracción volumétrica en probetas de estopa de coco.....	40
VI.	Valor medio y desviación de valores de porcentaje de absorción en probetas de estopa de coco.....	41
VII.	Valor medio y desviación de valores de porcentaje de humedad en probetas de estopa de coco.....	42
VIII.	Valor medio y desviación de valores de dureza en probetas de estopa de coco	43
IX.	Valor medio y desviación de valores de esfuerzo a la flexión en probetas de estopa de coco.....	44
X.	Valor medio y desviación de valores de esfuerzo a la tensión en probetas de estopa de coco.....	45
XI.	Norma de planificación y construcción, ensayos y materiales seleccionados	47

XII.	Cumplimiento de los pisos fabricados y los pisos de control a la norma de la FHA	47
------	--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
a	Altura de la probeta
b	Base de la probeta
P	Carga o esfuerzo de ruptura
cm	Centímetro
Cv	Contracción volumétrica
ρ	Densidad
d	Espesor de la probeta
L	Distancia entre apoyos
g	Gramo
kg	Kilogramo
psi	Libra fuerza por pulgada cuadrada
R	Módulo de ruptura
m	Masa
Po	Peso inicial
Pf	Peso final
%Abs	Porcentaje de absorción
%H	Porcentaje de humedad
V	Volumen

GLOSARIO

Absorción	Cantidad máxima de agua capaz de ser absorbida por algún material en función de su peso inicial.
ASTM	En inglés, American Society for Testing Materials, Asociación Americana para Prueba de Materiales.
Dureza de Janka	Máxima presión requerida para introducir la mitad del diámetro de un balín de 11,4 mm dentro de una probeta de aglomerado.
Estopa de coco	Es un sustrato obtenido a partir de los residuos que genera el coco, es un producto ecológico y tiene una enorme capacidad de retención de agua.
FHA	Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas, es una institución estatal descentralizada; su objetivo principal es facilitar la adquisición de vivienda a las familias guatemaltecas a través de asegurar la inversión en financiamiento.
Probeta	Prueba de madera plástica con determinadas dimensiones de diámetro y grosor y con propiedades fisicoquímicas y mecánicas específicas.

Tablero aglomerado

Es un material que está compuesto por partículas de madera de diferentes tamaños, unidas entre sí por algún tipo de resina u otro material y posteriormente prensada a presión y temperatura controlada formando el tablero.

Termoformado

Es un proceso que consiste en calentar una plancha o lámina, de forma que al reblandecerse puede adaptarse a la forma de un molde por la acción de presión, vacío o mediante un contramolde.

RESUMEN

El objetivo del informe final de graduación fue evaluar los parámetros adecuados para la elaboración de pisos, utilizando estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante.

La materia prima que se utilizó fue polietileno de baja densidad y estopa de coco; esta última se obtuvo fresca y se sometió a secado en un horno de convección forzada hasta cumplir con el rango de humedad para la conformación óptima del aglomerado.

Para la fabricación de pisos de material formulado se prepararon mezclas a partir de estopa de coco y polímero a dos diferentes formulaciones (80 % y 90 %), utilizando el método de termoformado a una presión y temperatura constantes de 10 toneladas y 250 grados Celsius, respectivamente.

Las probetas obtenidas se sometieron a pruebas fisicomecánicas: fuerza de tensión, fuerza de flexión y dureza Janka; se determinaron las propiedades físicas: densidad, porcentaje de humedad, contracción volumétrica y capacidad de absorción. Para la evaluación de estos parámetros se tomaron como base los procedimientos de evaluación de propiedades detallados en la Norma ASTM D1037 para tableros aglomerados.

Se realizó un análisis comparativo de los resultados de los parámetros de absorción, esfuerzo a la tensión y resistencia mínima de flexión con los valores requeridos de la FHA.

Por otra parte, también, se realizó la comparación de los resultados de los parámetros de densidad, fuerza de tensión, fuerza de flexión, dureza Janka, porcentaje de humedad, contracción volumétrica y capacidad de absorción con los valores establecidos en el proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín* ejecutado en conjunto por la Dirección General de Investigación (DIGI) y la Escuela de Ingeniería Química en 2015.

OBJETIVOS

General

Evaluar los parámetros adecuados para la elaboración de pisos utilizando estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante.

Específicos

1. Determinar el efecto de la formulación sobre las características físicas y fisicomecánicas de los pisos elaborados con estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante.
2. Determinar las propiedades físicas y físico-mecánicas: densidad, contracción volumétrica, absorción, porcentaje de humedad, dureza, flexión y tensión de los pisos elaborados.
3. Comparar los resultados de las propiedades: absorción, flexión y tensión de los pisos de material formulado con los valores requeridos de la FHA.
4. Comparar los resultados de las propiedades de los pisos fabricados con estopa de coco con los valores del proyecto de investigación DIGI 6.66. *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín.*

Hipótesis

- Hipótesis de trabajo

Es posible utilizar el polietileno de baja densidad como un agente aglutinante para la elaboración de pisos de material formulado utilizando como fibra natural la estopa de coco; determinar el porcentaje adecuado de la mezcla y los parámetros adecuados para elaborarlos.

- Hipótesis de investigación

Hi₁: existen diferencias significativas en las propiedades de los pisos elaborados con estopa de coco y polietileno de baja densidad al variar la composición de la mezcla.

Hi₂: existe diferencias significativas en los resultados de las propiedades físicas: densidad, porcentaje de humedad, contracción volumétrica y capacidad de absorción de los pisos fabricados en comparación con los valores establecidos del proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*.

Hi₃: existe diferencias significativas en los resultados de las propiedades fisicomecánicas: fuerza de tensión, fuerza de flexión, dureza Janka de los pisos fabricados en comparación con los valores establecidos del proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*.

- Hipótesis nulas

Ho₁: no existen diferencias significativas en las propiedades de los pisos elaborados con estopa de coco y polietileno de baja densidad al variar la composición de la mezcla.

Ho₂: no existe diferencias significativas en los resultados de las propiedades físicas: densidad, porcentaje de humedad, contracción volumétrica y capacidad de absorción de los pisos fabricados en comparación con los valores establecidos del proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*.

Ho₃: no existe diferencias significativas en los resultados de las propiedades fisicomecánicas: fuerza de tensión, fuerza de flexión y dureza Janka de los pisos fabricados en comparación con los valores establecidos del proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*.

INTRODUCCIÓN

Existe una serie de vías para el aprovechamiento de residuos forestales tales como el aserrín; una de las opciones es la madera plástica que es un material elaborado a partir de mezclas de polímero termoformable y residuos del proceso de madera, que se caracteriza por su homogeneidad y alta resistencia mecánica y su resistencia a las condiciones climatológicas.

La palabra plástico significa 'capaz de ser moldeado'; sin embargo, existe una gran variedad de materiales que así se denominan. Gracias a sus características, los plásticos pueden ser moldeados mediante procesos de transformación aplicando calor y presión.

Para la elaboración de madera plástica pueden utilizarse métodos como la extrusión, inyección, soplado, inmersión, rotomoldeo, compresión y termoformado. La madera tratada y los polímeros hacen que el producto tenga mayor resistencia y flexibilidad.

El termoformado es un proceso de transformación de plástico que involucra una lámina de plástico que es calentada y que toma la forma del molde sobre el que se coloca. El termoformado puede llevarse a cabo por medio de vacío, presión y temperatura.

En el presente estudio se evaluarán los parámetros adecuados para la elaboración de pisos utilizando estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante.

1. ANTECEDENTES

Entre los trabajos de investigación sobre el tema de elaboración de madera plástica realizados en la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encuentran:

En el 2014 se publicó la tesis titulada *Determinación de los parámetros adecuados para la elaboración de madera plástica por compresión en caliente de mezclas de desechos de madera teca (Tectonagrandis) reducidos a aserrín y polipropileno*; realizada por el estudiante Mauricio Valentino Rivera Telloy asesorado por el ingeniero químico Jorge Emilio Godínez Lemus. Se utilizaron tres proporciones de formulación de 40 %, 50 % y 60 % en peso de polipropileno variando tres tiempos de residencia en horno de calentamiento 35, 45 y 55 minutos a 140 °C, 160 °C y 180 °C de temperatura en el horno variando la presión de compresión 2, 4 y 6 toneladas; para, posteriormente, realizarle pruebas fisicomecánicas, densidad, temperatura de inflamación, dureza en escala de Mohs y módulo de ruptura.

En el 2015 se publicó la tesis titulada *Formulación de un material fibroreforzado a base de la mezcla de cáscara de coco y polímero reciclado*; realizada por la estudiante Ana Gabriela Coyoy Paz y asesorado por el Ingeniero Químico Jorge Emilio Godínez Lemus. El objetivo del trabajo de investigación fue formular una alternativa para la elaboración de los aglomerados de madera, a partir de una mezcla controlada de fibra de coco de distintos tamaños de partícula o fibra y polipropileno reciclado, ambos considerados desecho; se determinaron tres porcentajes distintos de composición en función del polímero: 40 %, 60 % y 80 %. Posteriormente, se

realizaron las pruebas de densidad, esfuerzo máximo de flexión, capacidad de absorción, porcentaje de humedad, temperatura de inflamación y dureza por medio del método de Janka.

Después, se realizó un análisis químico al agua utilizada para la prueba de capacidad de absorción, para observar si el coco tratado disuelve fácilmente algunos componentes. Con dichos resultados se determinó la mejor formulación del material fibroreforzado, así como su comportamiento en función del porcentaje de polipropileno y del tiempo sometido a la temperatura mencionada, comparándola a su vez con Durpanel (material actualmente en el mercado).

En el 2016 se publicó la tesis titulada *Evaluación de los parámetros adecuados para la elaboración de madera plástica por compresión en caliente, a base de aserrín y polímero de reciclado primario, polietileno de alta densidad (HDPE)*, realizada por el estudiante Julio Cesar Arriola Sayas y asesorado por el Ingeniero Químico Jorge Emilio Godínez Lemus. Se realizaron tres distintas proporciones de formulación para evaluar los efectos del mismo; se elaboraron por medio de compresión en caliente, manteniendo una presión constante de 10 toneladas y temperatura de 190 °C, constantes. Esto mientras que se varió la temperatura de residencia en el horno. Posteriormente a la fabricación de las probetas, se realizaron pruebas fisicomecánicas. Esto para determinar los parámetros de densidad, fuerza de ruptura, dureza Janka, temperatura de inflamación y contenido de humedad.

Según en los estudios realizados anteriormente, dichos resultados son positivos para el aprovechamiento de desechos. Esto como el mejoramiento de las propiedades fisicomecánicas del material compuesto.

1.1. Justificación

El presente trabajo de investigación será un complemento del proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*, partida presupuestaria 4.8.63.6.66.

El proyecto fue ejecutado en el año 2015, coordinado por el ingeniero químico Jorge Emilio Godínez Lemus y financiado por la Dirección General de investigación (DIGI); su contrapartida fue la Facultad de Ingeniería por medio de la Escuela de Ingeniería Química.

Con los resultados y las recomendaciones del proyecto antes mencionado surge la necesidad de ampliar la línea de investigación, explorando nuevos materiales agroindustriales como la estopa de coco.

1.2. Determinación del problema

A continuación, se muestra el problema.

1.2.1. Definición

Se desconocen los parámetros adecuados para la elaboración de pisos utilizando estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante.

1.2.2. Delimitación

Se usará estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante. Se fabricarán pisos con el método de compresión en caliente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Madera

La madera es un material ortótropo, con distinta elasticidad según la dirección de deformación, encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año, formando anillos, y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas. Una vez cortada y seca, la madera se utiliza para distintos fines en distintas áreas:

- Fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel.
- Alimentar el fuego, en este caso se denomina leña y es una de las formas más simples de biomasa.
- Menaje: vajillas, cuberterías, entre otros.
- Ingeniería, construcción y carpintería.
- Medios de transporte: barcos, carruajes.

2.1.1. Propiedades comunes y específicas de la madera

- Resistencia: especialmente cuando los esfuerzos son paralelos a la dirección de la fibra.
- Flexibilidad: sobre todo en maderas blandas lo que permite darle curvatura.

- Esto es una ventaja cuando se trabaja con madera laminada.
- Aislante térmico, eléctrico y acústico.
- Baja relación peso/resistencia.
- Facilidad para ser trabajada (corte, cepillado, unión con tornillos, clavos, adhesivos).
- Mayor resistencia para colapsar ante el fuego que una estructura de metal.

Al hacer un corte transversal de un tronco de madera, se aprecia en la parte más externa, en la periferia, la zona que se llama albura. Aquí los anillos de crecimiento son más separados, el color es más claro que en el centro, la madera en esta zona es menos dura, es la parte más reciente del árbol.

2.1.1.1. Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades de las maderas dependen de muchos factores: tipo y edad del árbol, condiciones de crecimiento como el terreno y el clima, entre otros. Como en todo material, varias son las propiedades a tener en cuenta a la hora de emplearlo, y que dependerán del fin que se quiera darle.

Desde tiempos remotos, la madera se ha usado en la construcción, como un material eficiente, debido a las ventajosas características y propiedades que posee; entre otras principales se enuncian las siguientes.

2.1.1.2. Propiedades físicas

Las propiedades físicas que se definen para las maderas son: humedad, peso específico o densidad, contracción e hinchamiento.

- La humedad

Es la cantidad de agua que tiene la madera en su estructura.

Esta agua puede aparecer formando parte de las células de la constitución leñosa, impregnando la materia leñosa o el sistema vascular del árbol. El agua del sistema vascular desaparece con el tiempo; el agua de constitución leñosa solo desaparece por combustión, mientras que el agua de impregnación variará según la higroscopia de la madera. La humedad de la madera está directamente relacionada con el peso y afecta a otras propiedades físicas y mecánicas. Por eso, es importante conocer el contenido de humedad de una madera para las condiciones en la que va a emplearse, y cómo reaccionará ante la pérdida o ganancia de agua.

Cuando la madera húmeda comienza a secarse va perdiendo peso y se contrae hasta un límite en el que no puede disminuir más su grado de humedad, para la temperatura a la que se encuentre. Si se desea eliminar todo el contenido posible de agua, es necesario llevar a cabo un secado en el laboratorio, que se basa en someter la madera a una temperatura de 105 °C hasta que esta alcance un peso constante. En ese momento, la madera está totalmente seca o anhidra; si se desea disminuir su contenido en agua es necesario combustionarla.

- Elasticidad–deformabilidad

Bajo cargas pequeñas, la madera se deforma de acuerdo con la Ley de Hooke, o sea, que las deformaciones son proporcionales a las tensiones. Cuando se sobrepasa el límite de proporcionalidad, la madera se comporta como un cuerpo plástico y se produce una deformación permanente. Al seguir aumentando la carga, se produce la rotura. Este módulo dependerá de la clase de madera, del contenido de humedad, del tipo y la naturaleza de las acciones, de la dirección de la aplicación de los esfuerzos y de su duración. El valor del módulo de elasticidad en el sentido transversal a las fibras será de 4 000 a 5 000 kg / cm². El valor del módulo de elasticidad E en el sentido de las fibras será de 80 000 a 180 000 kg / cm².

- Flexibilidad

Es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse. Si son elásticas recuperan su forma primitiva cuando cesa la fuerza que las ha deformado. La madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata; esta es una propiedad que la hace útil para la curvatura (muebles, ruedas, cerchas, instrumentos musicales, entre otros).

La madera verde, joven, húmeda o calentada, es más flexible que la seca o vieja y tiene mayor límite de deformación. La flexibilidad se facilita calentando la cara interna de la pieza (produciéndose contracción de las fibras interiores) y, humedeciendo con agua la cara externa (produciéndose un alargamiento de las fibras exteriores) La operación debe realizarse lentamente. Actualmente, esta propiedad se incrementa, sometiéndola a tratamientos de vapor.

- Maderas flexibles: fresno, olmo, abeto, pino
- Maderas no flexibles: encina, arce, maderas duras en general

- Dureza

Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura. Se manifiesta en la dificultad que pone la madera de ser penetrada por otros cuerpos (clavos, tornillos, entre otros) o a ser trabajada (cepillo, sierra, gubia, formón). La dureza depende de la especie, de la zona del tronco, de la edad. En general, suele coincidir que las más duras son las más pesadas. El duramen es más duro que la albura. Las maderas verdes son más blandas que las secas. Las maderas fibrosas son más duras. Las maderas más ricas en vasos son más blandas. Las maderas más duras se pulen mejor.

- Cortadura

Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes, cuando la dirección del esfuerzo es perpendicular a la dirección de las fibras. Si la fuerza es máxima en sentido perpendicular a las fibras será cortadura y si es mínima en sentido paralelo a las mismas será desgarramiento.

- Hendibilidad

Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección de los esfuerzos es paralela a la dirección de las fibras.

- Resistencia al choque

Indica el comportamiento de la madera al ser sometida a un impacto. La resistencia es mayor, en el sentido axial de las fibras y menor en el transversal, o radial. En la resistencia al choque influyen: el tipo de madera, el tamaño de la pieza, la dirección del impacto con relación a la dirección de las fibras, la densidad y la humedad de la madera, entre otros.

- Resistencia a la compresión

La madera, en la dirección de las fibras, resiste menos a compresión que a tracción, siendo la relación del orden de 0,50, aunque varía de una especie a otra de 0,25 a 0,7. La alta resistencia a la compresión es necesaria para cimientos y soportes en construcción. La resistencia a la flexión es fundamental en la utilización de madera en estructuras, como viguetas, travesaños y vigas de todo tipo. Muchos tipos de madera que se emplean por su alta resistencia a la flexión presentan alta resistencia a la compresión y viceversa; pero la madera de roble, por ejemplo, es muy resistente a la flexión, pero más bien débil a la compresión, mientras que la de secuoya es resistente a la compresión y débil a la flexión.

2.2. Polietileno de baja densidad (PEBD)

El polietileno de baja densidad o PEBD (LDPE, en inglés) es un polímero de cadena ramificada, por lo que su densidad es más baja.

Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior.

El polietileno de baja densidad es un termoplástico comercial, semicristalino (un 50 % típicamente), transparente y más bien blanquecino, flexible, liviano, impermeable, inerte (al contenido), no tóxico, tenaz (incluso a temperaturas bajas), con poca estabilidad dimensional, pero fácil procesamiento y de bajo coste. Además, posee excelentes propiedades eléctricas (buen aislante eléctrico) pero una débil resistencia a las temperaturas. Su resistencia química también es muy buena, pero es propenso al agrietamiento bajo carga ambiental. Su resistencia a los rayos UV es mediocre y tiene propiedades de protección débiles, salvo con el agua. Buena dureza y resistente al impacto en bajas temperaturas. Aunque se pueden resumir todas las principales propiedades en una serie de tablas que se muestran a continuación.

Tabla I. **Propiedades térmicas del polietileno de baja densidad**

PROPIEDADES TÉRMICAS	
Calor específico ($\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$)	1 900-2 300
Coefficiente de expansión ($\times 10^6 \text{K}^{-1}$)	100-200
Conductividad térmica a 23 °C (W/m K)	0,33
Temperatura máxima de utilización (°C)	50-90
Temperatura de reblandecimiento (°C)	110
Temperatura de cristalización (°C)	105-110
Temperatura mínima de utilización (°C)	-60

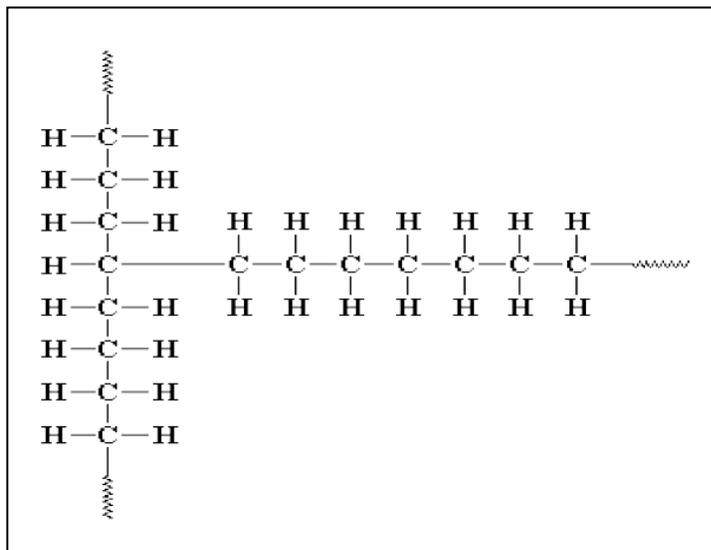
Fuente: KIRK, Raymond E. *Enciclopedia de tecnología química*. p. 301.

Tabla II. **Propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad**

Propiedades Mecánicas	
Alargamiento a la rotura (%)	400
Dureza - Rockwell	41 - 46
Módulo de tracción (GPa)	0,1 - 0,3
Resistencia a la Tracción (MPa)	may-25
Resistencia al impacto Izod (J m ⁻¹)	>1 000

Fuente: KIRK, Raymond E. *Enciclopedia de tecnología química*. p. 302.

Figura 1. **Cadena del polietileno de baja densidad**



Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Aplicaciones

Los polímeros de polietileno de baja densidad (LDPE) utilizados en la industria presentan buenas propiedades mecánicas. Se trata de polímeros con buena procesabilidad y resistencia al impacto, al rasgado y al punzonado. Sus aplicaciones más importantes son:

- Bolsas y elementos para publicidad: se pueden encontrar varios tipos de bolsas fabricadas a partir de polietileno de baja densidad.

2.3. Termoplástico

Un termoplástico es un plástico que a temperaturas relativamente altas se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de fuerzas de Van der Waals débiles (polietileno); fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables o termofijos en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos.

Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces (historial térmico), generalmente disminuyendo estas propiedades al debilitar los enlaces. Los más usados son: el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el polibutileno (PB), el poliestireno (PS), el polimetilmetacrilato (PMMA), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etileno (PET), el teflón (politetrafluoretileno, PTFE) y el nailon (un tipo de poliamida).

Se diferencian de los termoestables o termofijos (baquelita, goma vulcanizada) en que estos últimos no funden al elevarlos a altas temperaturas, sino que se queman, siendo imposible volver a moldearlos. Muchos de los termoplásticos conocidos pueden ser resultado de la suma de varios polímeros, como es el caso del vinilo, que es una mezcla de polietileno y polipropileno.

2.4. *Wood plastic composite (WPC)*

El *wood plastic composite* también conocido por su abreviatura WPC, es un material ecológico, compuesto por la mezcla de: materiales celulósicos y materiales termoplásticos.

Estos compuestos mejoran la resistencia, la carga de rotura, la rigidez, la relación resistencia/peso, por la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite los esfuerzos a las fibras y proporciona tenacidad y ductilidad al compuesto, mientras las fibras soportan la mayor parte de la fuerza o tensión aplicada.

Una característica de estos compuestos respecto a los endurecidos por dispersión es que la resistencia del compuesto aumenta tanto a temperatura ambiente como a elevadas temperaturas.

Se suelen emplear una gran cantidad de materiales reforzados. Desde la antigüedad se conoce el refuerzo de la paja en el adobe y hoy está extendido el refuerzo de acero en estructuras, así como el refuerzo de fibras de vidrio sobre polímeros, fibras de boro o carbono, de propiedades excepcionales de resistencia o diminutos mono cristales cerámicos denominados *whiskers* desarrollados para este objetivo.

Los materiales de refuerzo presentan morfologías muy variadas con orientaciones características. Las fibras cortas suelen tener una orientación aleatoria, para fibras continuas se produce la orientación anisotrópica deliberada. Las fibras pueden disponerse como telas o tejidos o ser producidas en forma de fibras largas. También, se puede cambiar la orientación en las capas alternadas de fibras largas.

Materiales celulósicos 60 %. Principalmente, pino y bambú. En este caso, la procedencia de estas materias celulósicas en forma de aserrín proviene de la recuperación y reciclaje de empresas transformadoras de madera o dedicadas al mantenimiento de bosques, entre las cuales se pueden destacar (fabricantes de muebles y puertas de madera, entre otros.). Materiales termoplásticos 40 %: (polipropileno y polietileno) principalmente. La procedencia de estos materiales está en la recuperación y reciclaje de estos polímeros y de sus productos transformados como son: botellas de plástico, bolsas de supermercado, entre otros.

2.4.1. Características del WPC

El WPC está considerado actualmente como un buen sustituto de las maderas tropicales tradicionales y más aún, cuando la sociedad está cada día más sensibilizada en el aprovechamiento de los recursos naturales y la sostenibilidad del ecosistema.

Por su composición, características y propiedades, son las zonas de exterior, el lugar idóneo para la instalación del WPC, principalmente en zonas expuestas al sol y la lluvia.

- Tarimas de exterior
- Suelos para terrazas
- Jardines
- Alrededores de piscinas
- Vallas para jardín

Es en estas aplicaciones donde el WPC demuestra todas y cada una de sus ventajas.

2.4.2. Ventajas del WPC

El WPC posee unas características únicas frente a otros tipos de materiales:

- Fácil instalación
- Resistente para exteriores (lluvia, nieve, frío, calor)
- Resistente a la humedad, no crea mohos
- No necesita mantenimiento ni conservación tipo: aceites, barnices, ceras
- No produce astillas ni grietas
- Resistente contra los insectos, carcoma, termitas
- Además, el WPC es totalmente reciclable

2.4.3. Características de los compuestos reforzados con fibras

Existe una gran cantidad de factores que deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar y diseñar con materiales compuestos reforzados con fibras.

2.4.3.1. Relación de aspecto

Las fibras continuas, que proporcionan mayores resistencias, son a menudo difíciles de introducir en el material y producir el mismo; mientras que las discontinuas son más fáciles, mayor relación de aspecto, produciendo también alta resistencia.

2.4.3.2. Fracción volumétrica de fibras

Una mayor fracción volumétrica de fibras aumenta la resistencia, situándose el límite superior en el 80 %, por la posibilidad de rodear las fibras con el material que hace de matriz.

2.4.3.3. Orientación de las fibras

Las fibras unidireccionales presentan resistencia máxima cuando la carga aplicada es paralela a las fibras; sin embargo, las propiedades son muy anisotrópicas. Por ello, se suelen usar fibras dispuestas en forma de tejido, capas cruzadas, sacrificando la máxima resistencia con propiedades uniformes en el compuesto.

2.4.4. Propiedades mecánicas

- Flexibilidad

El módulo elástico en pruebas de flexión incrementa en el orden de mil MPa, la tensión incrementa en varios MPa, mientras que la flexibilidad disminuye drásticamente; por lo que el material es más frágil y menos elástico, sin embargo, es más fuerte que el polímero base.

- Impacto

Con una carga de más de 50 % de madera en el compuesto, para LDPE, HDPE y PP, las pruebas de impacto presentan absorción de energía en el orden de LDPE < HDPE < PP; sin embargo, prácticamente todas las muestras presentan ruptura total en pruebas realizadas. Los compuestos de madera y plástico no son aptos para aplicaciones que requieren alto desempeño en impacto. La respuesta a la propagación de una ruptura se puede estudiar por medio de la inclusión de una muesca en una probeta de ensayo; sin embargo, los resultados reportados no son de mucho mejor desempeño que la prueba tradicional. Ha sido reportado que algunas fibras, con partículas más bien alargadas que redondas, como las fibras de jute, ofrecen una resistencia ligeramente mayor a la propagación de la ruptura.

- Extrusión

La extrusión de estos compuestos es la técnica más utilizada para fabricar perfiles de este material, pero también es utilizada para realizar el compuesto; esto sucede por medio de una mezcla física, que en combinación con agentes de acoplamiento puede formar algunos enlaces químicos o formar emulsiones de forma que el material sea estable y posteriormente pueda ser inyectado o moldeado por compresión. La extrusión de los compuestos de madera y plástico presenta algunos desafíos tecnológicos respecto de la extrusión tradicional. El primer problema presente es la alimentación del material en la tolva, el polvo y gránulos de material son alimentados en la tolva, sin embargo, el polvo fino de madera tiende a conglomerarse en la boca de la tolva; que por acción del calor y de la humedad se pega y no entra al cañón y no tiene contacto con el husillo.

La extrusión puede ocurrir en un equipo de:

- Doble husillo
 - Husillo sencillo
-
- Moldeo por compresión

El moldeo por compresión es el método más difundido para la producción de compuestos de madera y plástico; múltiples piezas automotrices internas (piezas que no están expuestas a la vista tanto en interiores como exteriores del automóvil) son hechas de este compuesto y moldeadas por compresión; en esta técnica son utilizadas comúnmente fibras naturales (como jute o henequén) además de la harina de madera.

2.5. Compuestos de madera y plástico

Los materiales compuestos de madera y plástico son materiales formados básicamente de dos fases: una plástica continua denominada matriz (incluye PE, PP, PVC, etc.) y otra de refuerzo o relleno constituida de fibra o polvo de madera. Además de fibras de madera y plástico, el WPC también puede contener otros materiales de relleno (ligno-celulósico y/o inorgánico). Los WPC son un subconjunto de una categoría más amplia de materiales llamados compuestos plásticos de fibras naturales (NFPC: *natural fiberplasticcomposite*), que pueden contener también rellenos a base de fibras, tales como fibras de celulosa, cáscara de maní, bambú, paja, etc.

- **Materiales plásticos**

Se pueden utilizar los termoplásticos (que se reblandecen cuando se les aplica calor) o los termoendurecibles.

Dentro del grupo de los termoplásticos se encuentran los polietilenos y polipropilenos que se utilizan en multitud de aplicaciones no estructurales, como botellas o contenedores; y en el grupo de los termoendurecibles las resinas estructurales de poliéster y epoxi. Los residuos plásticos se pueden reforzar o aumentar de tamaño con fibras naturales, fibras de vidrio y otros materiales como el caucho.

2.5.1. Materiales celulósicos

Los polímeros celulósicos son producidos principalmente a partir de madera, pero algunas veces la celulosa a partir de fibras de algodón también es usada (puede contener hasta un 95 % de celulosa pura, mientras que la madera contiene alrededor de un 50 %). Actualmente, existen dos tipos de procesos para separar la celulosa del resto de los componentes de la madera (lignina y hemicelulosa), a partir de los cuales se llega a obtener celulosa de una pureza cercana al 97 %-, un proceso de tipo químico (también denominado fraft) y uno de tipo mecánico.

Las celulosas regeneradas y los derivados de celulosa pueden sustituir a las fibras de celulosa natural y otras fibras de índole sintética. Algunas fibras pueden reemplazar parcialmente al poliéster, nylon y polipropileno. El acetato de celulosa puede ser combinado con termoplásticos derivados del almidón (TPS) y reemplazar termoplásticos sintéticos. Otra posible sustitución,

especialmente para la celulosa a partir de bacterias, puede ser en el campo de las aplicaciones para alta tecnología.

Los polímeros celulósicos pueden también ser usados para procesos de moldeo y extrusión. Los derivados más comunes para estas aplicaciones son el acetato de celulosa, el acetato butirato de celulosa y el acetato propionato de celulosa.

2.6. Fibras naturales

Se llama fibra natural a los filamentos, hebras o pelo, cuyo origen está en la naturaleza, y que pueden hilarse para dar lugar a otros filamentos, hilos o cuerdas. Las fibras que no provienen de la naturaleza se denominan fibras químicas, ya sean artificiales o sintéticas.

Los hilos obtenidos con las fibras, a su vez, pueden tejerse para producir un tejido textil o apelmazarse para producir un no tejido. La única fibra natural que es capaz de formar un hilo es la seda; el resto de las fibras se deben teñir e hilar para ser utilizadas posteriormente en la fabricación de textiles.

2.6.1. Fibra de coco

La fibra de coco es un excelente sustrato para el desarrollo radicular; de hecho, es posible plantar directamente en ella sin necesidad de emplear tratamientos o agentes especiales para la plantación. A diferencia de otros tipos de medio de cultivo, la fibra de coco mantiene una elevada capacidad de aireación incluso cuando está completamente saturada.

La fibra de coco dispone de una capacidad de amortiguación (efecto *buffer* o tampón) que permite a las plantas superar sin consecuencias cortos períodos de deficiencias nutricionales y/o hídricas. La posibilidad de elegir una granulometría u otra de fibra de coco Pelemix, permite al productor diseñar el medio de cultivo más adecuado a sus necesidades concretas de cultivo, hecho que redundará en unos mejores resultados en las cosechas.

2.6.1.1. Características

Buen equilibrio entre retención de agua y capacidad de aireación.

Evita las enfermedades fungosas en las raíces como consecuencia del exceso de humedad.

- El pH de este producto es un pH estable y controlado, oscila entre 5,5 y 6,5, rango que resulta apropiado para la mayoría de las plantas.
- Capacidad de retención del agua. En el cultivo intensivo este valor resulta de interés frente a sustratos como la perlita o la lana de roca, cuya escasa retención hídrica puede comprometer seriamente el cultivo en caso de fallo del sistema de riego.
- Buena mojabilidad. El sustrato de coco al contrario que las turbas absorbe muy rápidamente el agua cuando está seco.
- Capacidad de intercambio catiónico. Es capaz de retener nutrientes y liberarlos progresivamente, evitando las pérdidas por lixiviación. Ejerce un poder amortiguador contra los errores de abonado.

- Producto ecológico y renovable. Su extracción y posterior eliminación no representa ningún tipo de impacto medioambiental.

2.6.2. Estopa de coco

El coco está constituido por una parte blanda interior y un líquido, a los cuales se les realizan procesos industriales para la obtención de grasas, aceites comestibles, confites y copra; sin embargo, también está constituido por la estopa o mesocarpio, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura, que encierra la semilla; el valor de ésta estriba en su contenido de fibra (fibra bonote), de la cual se pueden distinguir tres tipos principales: una larga y fina, una tosca y una más corta, material que se puede convertir en una alternativa de utilización de materia prima fibrosa.

Los parámetros que describen una fibra son su longitud, su diámetro y su aspecto o esbeltez, que es la relación existente entre la longitud y el diámetro. Según su origen, las fibras pueden ser clasificadas en sintéticas y naturales. Las fibras vegetales están constituidas por ligamentos fibrosos, que a su vez se componen de microfibrillas dispuestas en capas de diferentes espesores y ángulos de orientación, las cuales son ricas en celulosa.

La región central de la fibra también puede presentar una cavidad denominada lacuna. Las lacunas y los lúmenes son responsables de la gran incidencia de poros permeables en las fibras, ya que absorben una elevada cantidad de agua.

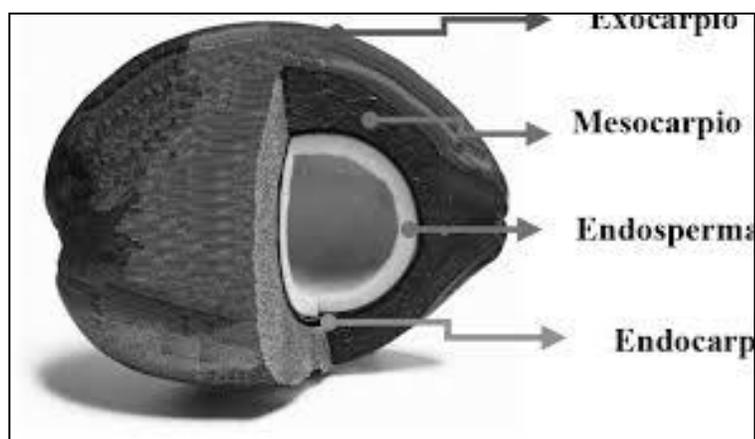
La fibra de estopa de coco, también llamada fibra bonote, se puede clasificar en 3 tipos principales: una más larga y fina que se conoce con el

nombre de fibra de esteras o hilo; una más tosca, que se conoce con el nombre de fibra de cerda; y una fibra más corta, conocida con el nombre de fibra para colchones

La fibra de bonote tiene una capacidad de estiramiento de 29,04 %, con un módulo de rigidez de 1,8924 dinas/cm². Es importante la facultad que tiene el bonote de estirarse más allá de su límite elástico sin romperse, así como su capacidad de absorber un estiramiento permanente cuando soporta esta carga; aunque la resistencia a la tracción de la fibra de bonote seca es baja en comparación con la de sisal o abacá, disminuye mucho menos por inmersión en agua.

Su composición química está formada por cuatro principales elementos y están representados en porcentajes: lignina 42,5 %, celulosa 32,3 %, pentosanos 14,7 % y cenizas 3,5 %.

Figura 2. **Estopa de coco**



Fuente: Fuente: KIRK, Raymond E. *Enciclopedia de tecnología química*. p. 302.

2.7. Producción de coco en Guatemala

El coco está cubierto de fibras, de 20 a 30 centímetros de longitud y un peso aproximado de 2,5 kilogramos. Los cocos están formados por una cáscara externa amarillenta, correosa y fibrosa de 4 o 5 centímetros de espesor con forma de pelos fuertemente adheridos a la nuez, llamada comúnmente (mesocarpio), y otra más dura (endocarpio) que dispone de tres orificios próximos en disposición triangular, situados en el apéndice: dos cerrados y el otro frente del embrión.

La pulpa blanca es comestible, contiene en su cavidad central un líquido azucarado conocido como 'agua de coco' y que en cantidad aproximada de 300 gramos se encuentra encerrada en el interior del fruto. La pulpa del coco, lavada, pasteurizada, blanqueada y desmenuzada, se utiliza en panadería, pastelería y elaboración de chocolate.

2.7.1. Fuentes de producción

Los cocos por tratarse de frutas tropicales se obtienen en gran cantidad en las áreas costeras de Guatemala; la producción no está tecnificada y en su mayoría las familias los siembran para ser utilizados como sombra o como cercos de potreros, llegando a tener entre 10 y 20 cocoteros. La mayor concentración de venta de este fruto se da en el mercado La Terminal de la zona 4 de la ciudad capital; su utilidad principal es para la elaboración de helados y un bajo porcentaje se vende como bebida, generalmente en época de calor.

Existen intermediarios que se dedican a recolectar el fruto llegando a cada región en donde compran el coco por bultos, de familia en familia; las regiones donde normalmente realizan las compras son las siguientes:

- La Gomera, La Nueva Concepción, Tecojate, El Chontal, Puerto de San José, El Semillero, Tiquisate, todos ubicados en Escuintla.
- San Antonio, Suchitepéquez
- Chiquimulilla, Santa Rosa

2.8. Norma de planificación y construcción, FHA

En el transcurso de los últimos años la actividad de la construcción de viviendas se ha visto significativamente disminuidas debido, en parte, a los altos costos de construcción, lo que ha causado que gran número de familias guatemaltecas se vean imposibilitadas de adquirir vivienda propia, por medio de los sistemas convencionales de financiamiento.

Tal situación ha obligado a los promotores y constructores de viviendas a adoptar medidas tendientes a reducir costos a base de disminuir las áreas de los solares y de construcción, así como la utilización de sistemas constructivos más económicos.

El FHA consciente de tal situación, se ha preocupado por buscar soluciones que tiendan a minimizar el impacto del alza de los costos, sin que con ello se perjudique sustancialmente la calidad de vida del usuario.

En tal virtud, el FHA con el concurso de algunos promotores, ha aprobado varios proyectos experimentales con características de diseño tales, que permite ofrecer al público viviendas mínimas de costo reducido.

No obstante, los esfuerzos e iniciativas del sector privado para la racionalización de los procesos de producción de viviendas, no se ha logrado disminuir significativamente el impacto de los factores encarecedores de costos en los proyectos habitacionales desarrollados a través del FHA; a estos factores habrá que adicionar el alto costo del financiamiento a largo plazo, el cual contribuye a hacer más difícil los intentos de brindar soluciones habitacionales a los sectores de población de más bajos ingresos, para los cuales se requiere de alternativas específicas que estén acordes con las características socioeconómicas de los grupos afectados, dentro del contexto de las condiciones económicas del país.

La elaboración de normas para urbanización y vivienda mínima, tiene como objetivo primordial satisfacer las necesidades de amplios sectores de la población mediante la reducción significativa de los costos de proyectos.

2.8.1. Materiales y productos

Los materiales y productos utilizados en cualquier obra deben ser de clase y calidad aceptable, de manera que llenen los requisitos mínimos para tener:

- Adecuada resistencia estructural, establecida por las normas respectivas
- Adecuada resistencia al uso y los elementos (intemperie)
- Razonable durabilidad y economía de mantenimiento

La Subgerencia de Proyectos y Viviendas está facultada para requerir pruebas selectivas de laboratorio, para comprobar las características anteriores, debiendo efectuarse por cuenta del constructor en un laboratorio aceptado por el FHA.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Tabla III. Variables de operación

Dependientes	Independientes
<ul style="list-style-type: none">• Densidad (g/mL)• Humedad relativa (%)• Dureza (lb_f/pulg²)• Absorción (%)• Contracción Volumétrica (%)• Flexión y tensión (lb_f/cm²)	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura (°C)• Tiempo (min)• Presión de prensado (Ton)• Tamaño de partícula (Mesh)• Contenido de humedad de la estopa de coco (%)

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Materia prima: estopa de coco, polietileno de baja densidad y estearato de zinc.
- Lugar de obtención: mercado de San Miguel Petapa, Guatemala, Guatemala.
- Lugar de experimentación: laboratorio multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Vera Lucia Tatuaca Rosales
- Asesor: Jorge Emilio Godínez Lemus

3.4. Recursos materiales

- Equipo
 - Molino de cuchillas
 - Horno de convección forzada
 - Plancha de calentamiento
 - Balanza analítica
 - Balanza de humedad
 - Molde de metal de 1 *pie*²
 - Prensa hidráulica
- Cristalería
 - Probetas
 - Pipetas
 - *Beacker*

3.5. Recolección y ordenamiento de la información

Las variables fueron recolectadas y documentadas en las etapas de caracterización de la materia prima, elaboración de pisos de material formulado y evaluación de las propiedades físico-mecánicas. A continuación, se detalla la metodología experimental.

- Método para la recolección de materia prima
 - La estopa de coco se redujo de tamaño para su posterior secado.
 - Se utilizó la balanza de humedad para determinar el contenido de humedad.

- Procedimiento para crear los pisos.
 - Se pesaran las muestras mezclando en proporciones en peso de estopa de coco con el polietileno de baja densidad.
 - Se colocará la mezcla en el molde.
 - Se encenderá el horno y se ajustará la temperatura del horno a los valores establecidos, 250 °C.
 - Se introducirá el molde al horno ya calentado a las temperaturas de operación.
 - Se sacarán los pisos de material formulado al tiempo establecido, 50 minutos.
 - Se colocará el molde caliente en la prensa hidráulica y se comprimirá.
 - Desmoldar las piezas.

- Análisis físico-mecánico

A continuación, se detallan las pruebas que se realizaron a las probetas formuladas con estopa de coco y polietileno de baja densidad, tomando como base los procedimientos de evaluación de propiedades detallados en la norma ASTM D1037 para tableros aglomerados, adecuados a un tamaño específico de muestra de acuerdo al molde utilizado.

- Procedimiento para determinar la densidad de los pisos

La densidad se determinó tomando como base la sección 126 y 127 de la norma descrita anteriormente, midiendo adecuadamente cada probeta y determinando su peso, como se describe a continuación:

- Eliminar residuos o material que no pertenezca directamente a la probeta.
- Utilizar el Vernier digital para especificar las medidas de la probeta en cuatro puntos distintos.
- Determinar el volumen con la media aritmética de las cuatro medidas realizadas, para cada sección de la probeta.
- Limpiar adecuadamente la balanza y posteriormente se tara.
- Se pesa la probeta de madera plástica formulada.
- Calcular la densidad de acuerdo a las mediciones realizadas.

- Procedimiento para determinar la dureza
 - Ubicar la mesa de soporte en un lugar adecuado y con suficiente espacio. Para manipular el equipo y las probetas.
 - Armar adecuadamente el equipo colocando el marco, las placas y la probeta para poder aplicar la presión con un gato hidráulico, cuidando que este último esté lo más vertical posible.
 - Colocar el balín de Janka donde corresponda.
 - Aplicar presión gradualmente según el comportamiento de la probeta.
 - Determinar la distancia introducida del balín de Janka dentro de la probeta.
 - Dejar de aplicar presión cuando la probeta falle o cuando el balín haya.
 - Ingresado con una distancia igual o mayor a la mitad de su diámetro.
 - Reportar la presión utilizada, en el momento que suceda lo descrito en el paso anterior.

- Procedimiento para determinar la capacidad máxima de flexión

Para determinar la resistencia máxima a la ruptura que tiene el material formulado, se tomó como base de la sección 11 a la 20 de la norma mencionada, tal y como se describe a continuación:

- Cortar adecuadamente las piezas a ensayar con 3 pulgadas de ancho por 12 pulgadas de largo.
 - Ajustar las piezas a una distancia equidistante de los apoyos.
 - Verificar que la carga a aplicar sea en el punto medio.
 - Aplicar la carga de manera constante a velocidad moderada, hasta que dicha carga provoque ruptura.
 - Observar la fuerza aplicada en dicho momento y reportar.
- Procedimiento para determinación de capacidad máxima de absorción del material formulado

Para determinar la capacidad de absorción de agua, característica de los paneles aglomerados, se utilizó la norma ASTM citada, de acuerdo a las secciones 100 a 106; se utilizó para ello un tonel fraccionado por la mitad y una base encargada de detener las probetas de cada porcentaje de formulación, según se describe a continuación:

- Pesar las probetas formuladas de 4X4 pulgadas en una balanza analítica.

- Con ayuda del Vernier determinar sus medidas exactas (largo y ancho).
- Colocar las probetas dentro de la base de manera segura para evitar perder la identificación de cada una durante el proceso.
- Sumergirlas por un mínimo de 24 horas.
- Suspender las probetas con ayuda de la base, al menos 10 minutos, para remover de manera adecuada el agua en exceso.
- Determinar rápidamente el peso ganado por cada probeta con base en la absorción de agua.
- Como referencia, determinar sus medidas después de la sumersión, para observar la hinchazón producto del agua absorbida.
- Procedimiento para determinación del porcentaje de humedad del material formulado
 - Cortar piezas de la probeta que pesen aproximadamente 1 gramo.
 - Colocar de manera individual cada pieza dentro de la balanza de humedad.
 - Reportar el contenido de humedad indicado por la balanza en un tiempo específico.

- Procedimiento para determinación del porcentaje de contracción volumétrica del material formulado
 - Pesar las probetas formuladas de 4X4 pulgadas en una balanza analítica.
 - Con ayuda del Vernier determinar sus medidas exactas (largo y ancho).
 - Colocar las probetas dentro de un *beacker*.
 - Sumergirlas por un mínimo de 24 horas.
- Recolección, ordenamiento y procesamiento de la información
 - Determinación de densidad

La densidad es utilizada para determinar la cantidad de masa en una unidad de volumen de todo objeto o sustancia que ocupe un espacio específico; por lo que se midieron las dimensiones de las probetas formuladas y las cortadas únicamente del material de comparación; además, se determinó el peso de cada una de ellas, siendo el resultado, la media aritmética de las medidas con las cuales se utilizó la siguiente relación matemática:

$$\rho = m/v$$

Donde:

- ρ = densidad [g/cm³]
- m = masa [g]
- v = volumen [cm³]

- Capacidad de absorción

La absorción máxima de agua de la matriz formulada y del material de comparación, es presentada como resultado de la relación entre pesos finales e iniciales de cada probeta a analizar, sumergiéndolas en agua durante un mínimo de 24 horas; el resultado es la media aritmética de los datos obtenidos y manejados según la siguiente ecuación:

$$\% Abs = (pf - po) / po * 100$$

Donde:

- % Abs = porcentaje de absorción
- pf = peso final [g]
- po = peso inicial [g]

- Determinación del esfuerzo máximo de flexión

Dicha prueba también es conocida como módulo de ruptura, el cual según la norma se calcula a partir de la carga máxima soportada por el material de 36 análisis, la distancia entre los apoyos colocados en ambos extremos de la pieza, el espesor y su ancho efectivo. Se tomó como resultado la media aritmética de los datos calculados, según:

$$R = 3PL / 2bd^2$$

Donde:

- R = módulo de ruptura [Kg/cm²]
- P = carga o esfuerzo de ruptura [Kg]
- L = distancia entre apoyos [cm]
- b = ancho efectivo del espécimen [cm]
- d = espesor efectivo del espécimen [cm]

3.6. Análisis estadístico

Se realizaron repeticiones de cada evaluación para corroborar los datos, observando la precisión entre ellos, dando como resultado a cada prueba la media aritmética de los mismos. Además, se analizó la variación entre cada grupo de datos para determinar si existiera un efecto significativo. Por lo que, se realizó a su vez, el análisis de varianza.

4. RESULTADOS

Resultados promedio y desviación estándar de las pruebas físicas y mecánicas realizadas a los pisos fabricados de polietileno con fibra natural de estopa de coco.

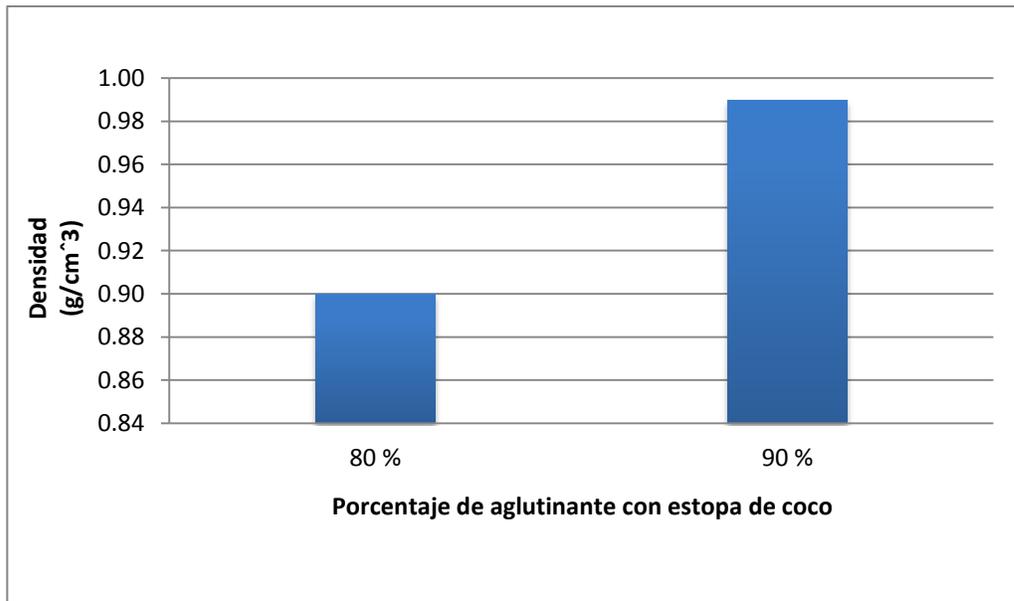
- Propiedades físicas
 - Densidad

Tabla IV. **Valor medio y desviación de valores de densidad en probetas de estopa de coco**

Formulación: porcentaje de aglutinante con estopa de coco	Densidad (g/cm ³)	
	Promedio	Desviación
80 %	0,90	0,06
90 %	0,99	0,07

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Densidad de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco**



Fuente: elaboración propia

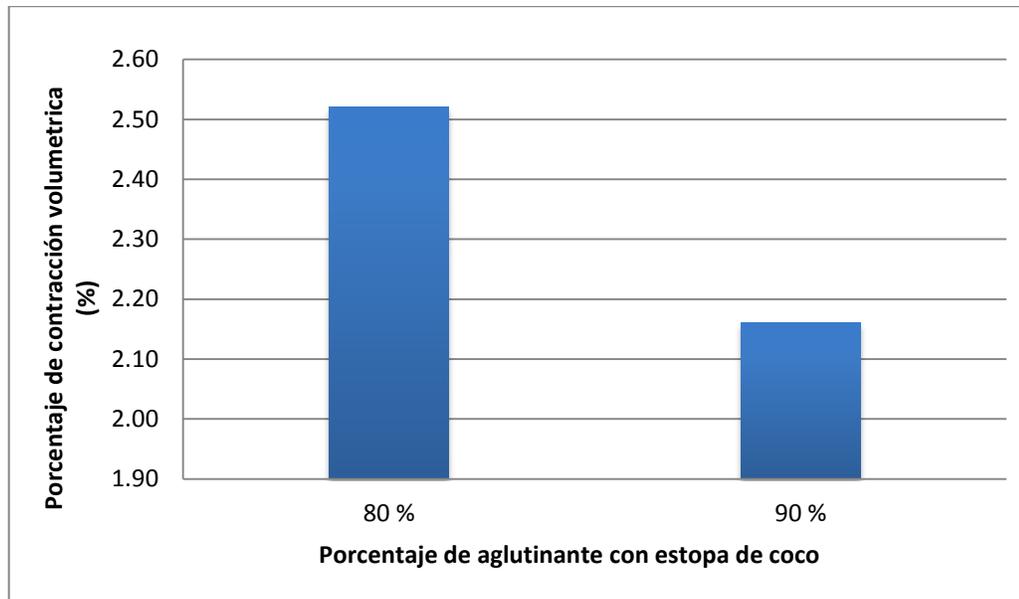
- **Contracción volumétrica**

Tabla V. **Valor medio y desviación de valores de contracción volumétrica en probetas de estopa de coco**

Formulación: porcentaje de aglutinante con estopa de coco	Contracción volumétrica	
	Promedio	Desviación
80 %	2,52	1,73
90 %	2,16	1,21

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Porcentaje de contracción volumétrica de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco**



Fuente: elaboración propia

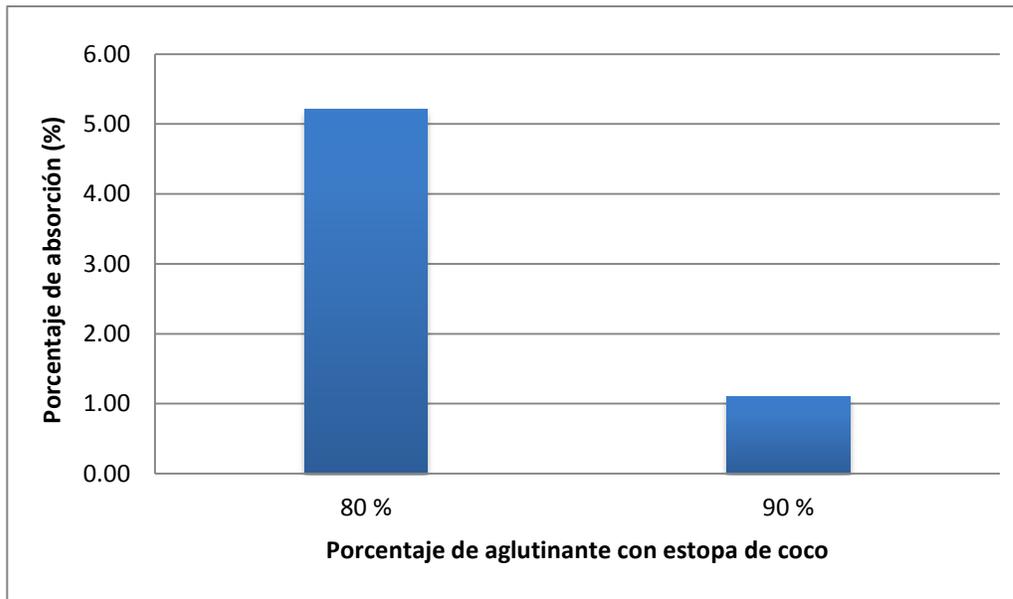
- Porcentaje de absorción

Tabla VI. **Valor medio y desviación de valores de porcentaje de absorción en probetas de estopa de coco**

Formulación: porcentaje de aglutinante con estopa de coco	Porcentaje de Absorción	
	Promedio	Desviación
80 %	5,22	0,85
90 %	1,10	0,21

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Porcentaje de absorción de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco**



Fuente: elaboración propia

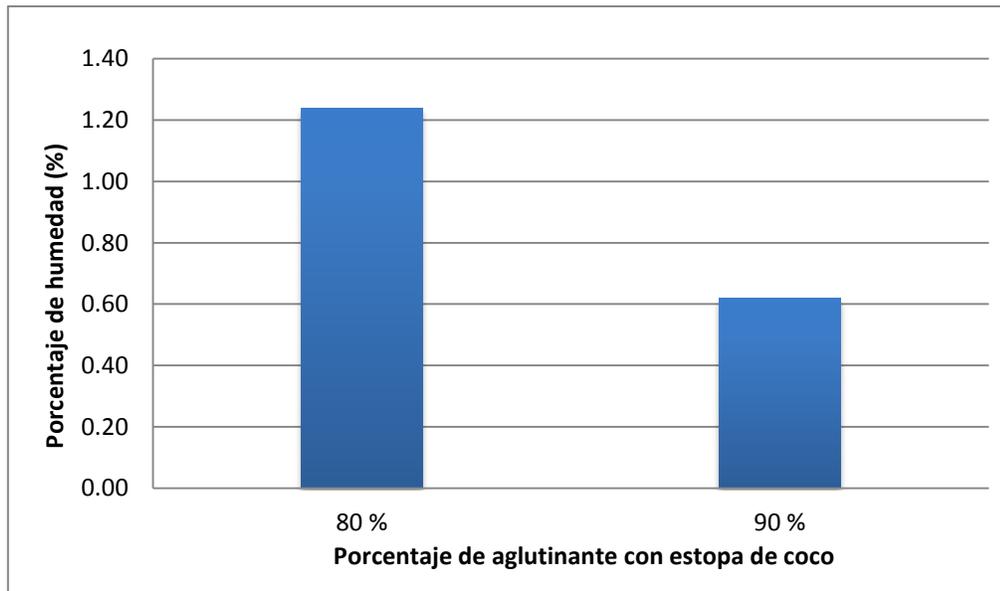
- **Porcentaje de humedad**

Tabla VII. **Valor medio y desviación de valores de porcentaje de humedad en probetas de estopa de coco**

Formulación: porcentaje de aglutinante con estopa de coco	Porcentaje de Humedad	
	Promedio	Desviación
80 %	1,24	0,44
90 %	0,62	0,12

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Porcentaje de humedad de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco**



Fuente: elaboración propia

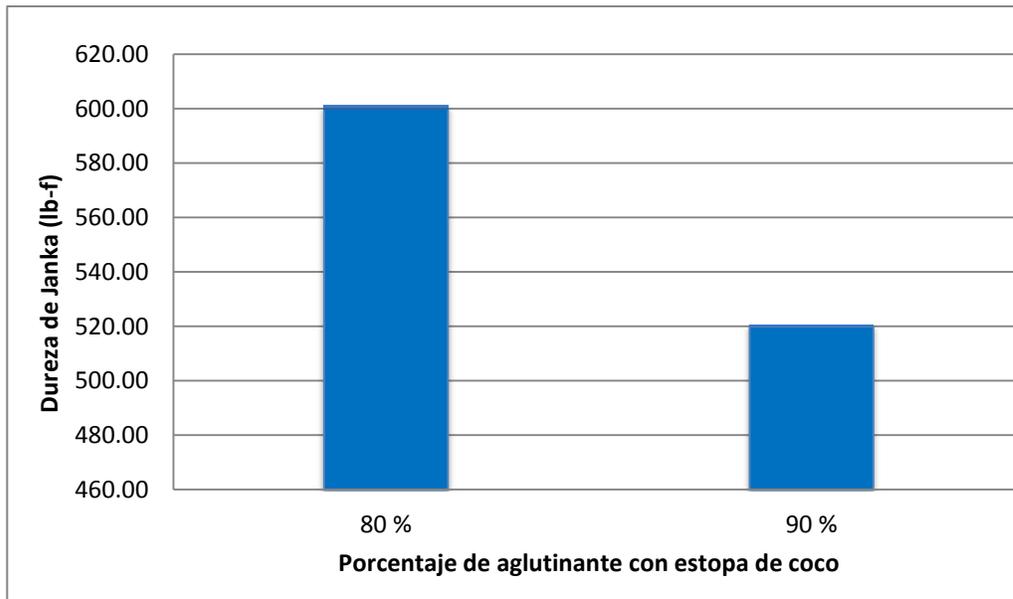
- Propiedades mecánicas
 - Dureza

Tabla VIII. **Valor medio y desviación de valores de dureza en probetas de estopa de coco**

Formulación: porcentaje de aglutinante con estopa de coco	Dureza (lb-f)	
	Promedio	Desviación
80 %	600,00	00,00
90 %	520,00	44,72

Fuente: elaboración propia

Figura 7. **Valor medio de dureza de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco**



Fuente: elaboración propia

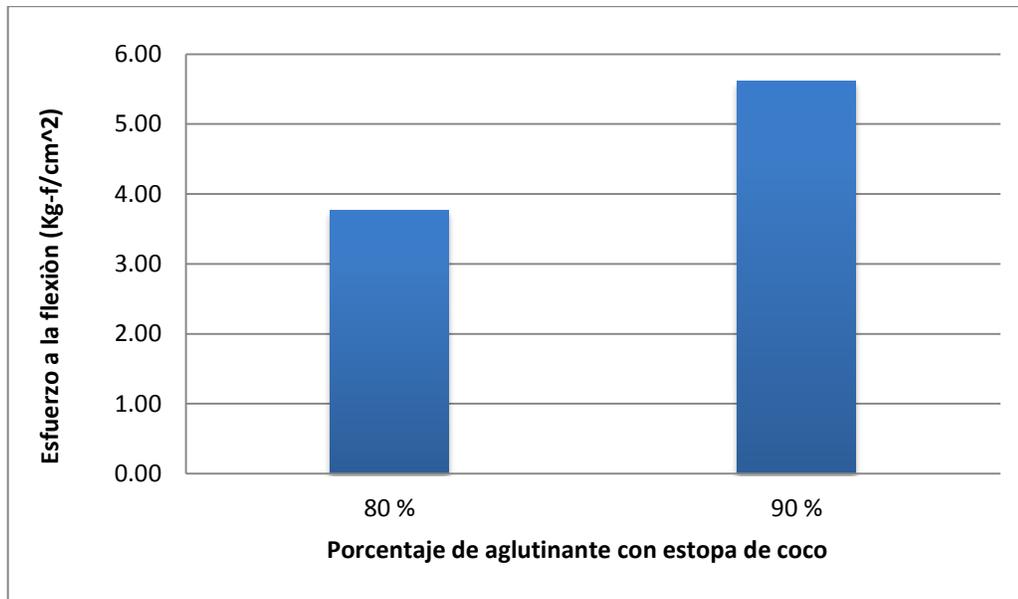
- Flexión

Tabla IX. **Valor medio y desviación de valores de esfuerzo a la flexión en probetas de estopa de coco**

Formulación Porcentaje de aglutinante con estopa de coco	Flexión (Kg-f/cm ²)	
	Promedio	Desviación
80 %	3,77	0,67
90 %	5,61	0,83

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Valor medio de esfuerzo a la flexión de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco**



Fuente: elaboración propia

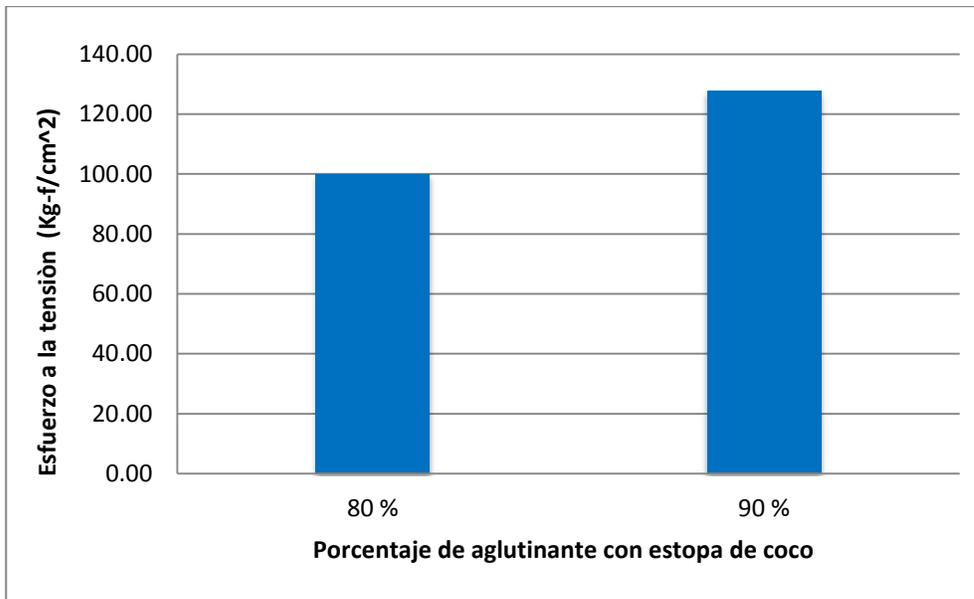
- Tensión

Tabla X. **Valor medio y desviación de valores de esfuerzo a la tensión en probetas de estopa de coco**

Formulación: porcentaje de aglutinante con estopa de coco	Tensión (kg-f/cm ²)	
	Promedio	Desviación
80 %	100,04	17,67
90 %	127,85	00,83

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Valor medio de esfuerzo a la tensión de probetas fabricadas con polietileno de baja densidad y fibra natural de estopa de coco**



Fuente: elaboración propia.

- Comparación de los materiales fabricados con la norma de planificación y construcción de la FHA

Tabla XI. **Norma de planificación y construcción, ensayos y materiales seleccionados**

Ensayo	Referencia	Valor de la norma
Absorción agua en 24 horas (%)	Tabla 8-VII Especificaciones para ladrillo de piso de cemento líquido.	25
Esfuerzo a la tensión (kg/cm ²)	Tabla 8-IV Esfuerzos de trabajo permisibles para cargas estáticas permanentes en maderas de Guatemala (Cedro)	45
Resistencia mínima flexión (kg/cm ²)	Tabla 8-VII Especificaciones para ladrillo de piso de cemento líquido	15

Fuente: elaboración propia.

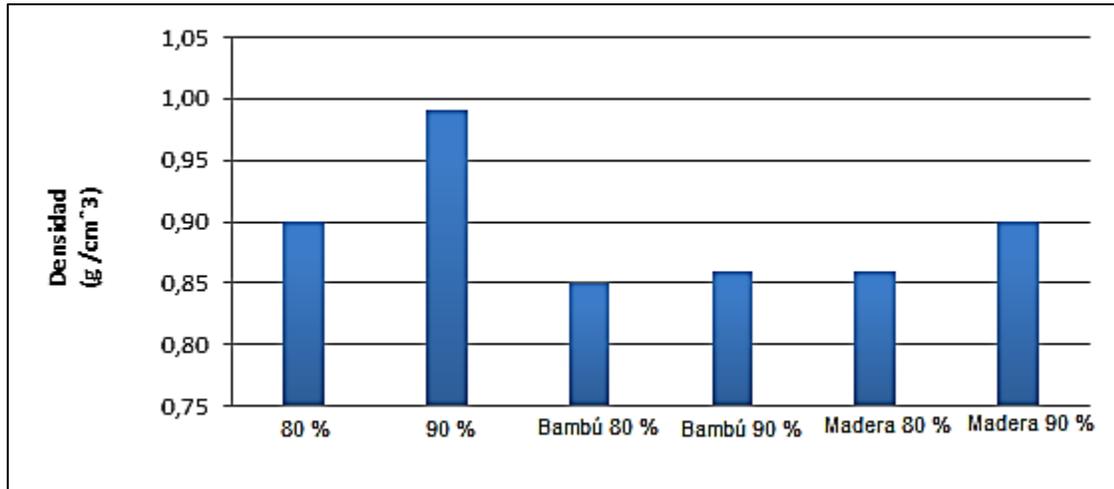
Tabla XII. **Cumplimiento de los pisos fabricados y los pisos de control a la norma de la FHA**

Formulación: Porcentaje de aglutinante con estopa de coco	Absorción	Tensión	Flexión
80 %	Sí	Sí	No
90 %	Sí	Sí	No

Fuente: elaboración propia.

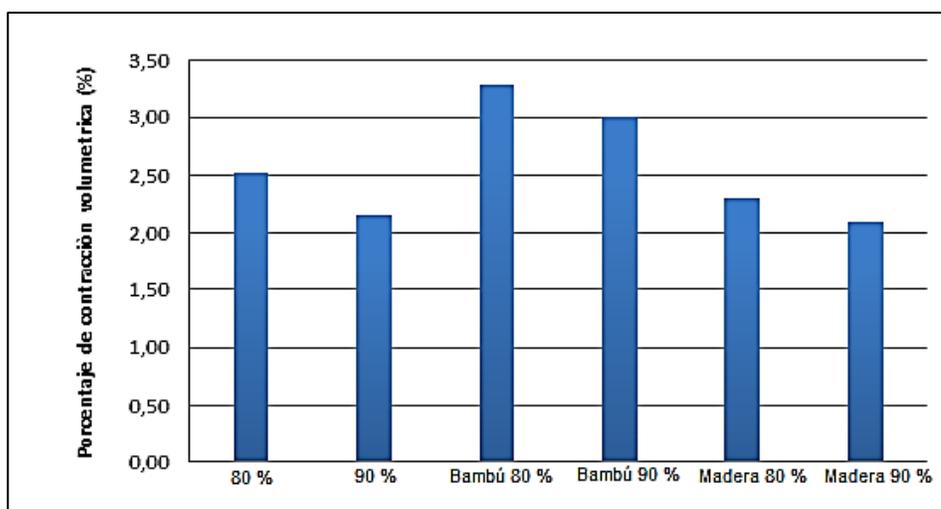
- Comparación de los materiales fabricados con los valores del proyecto DIGI 6.66

Figura 10. **Densidad de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones**



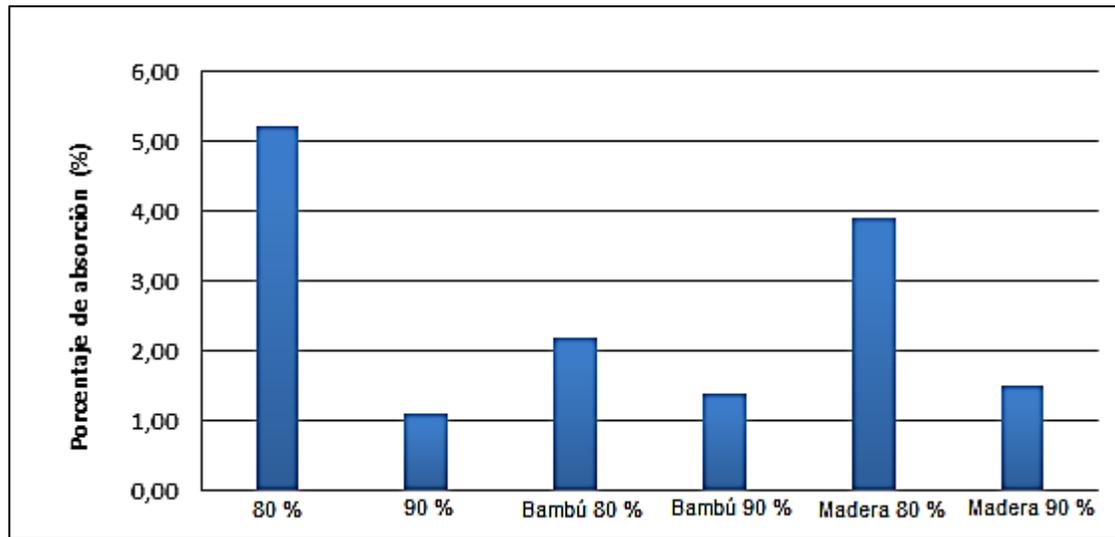
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Porcentaje de contracción volumétrica de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones**



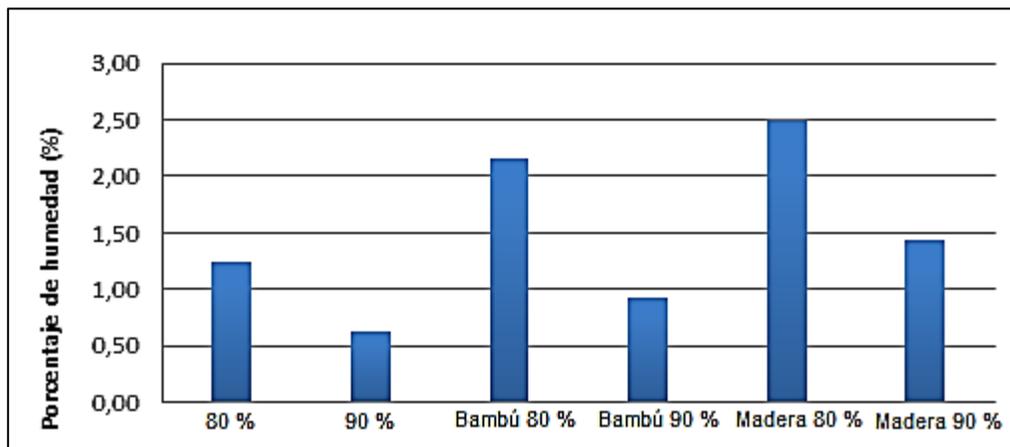
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Porcentaje de absorción de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones**



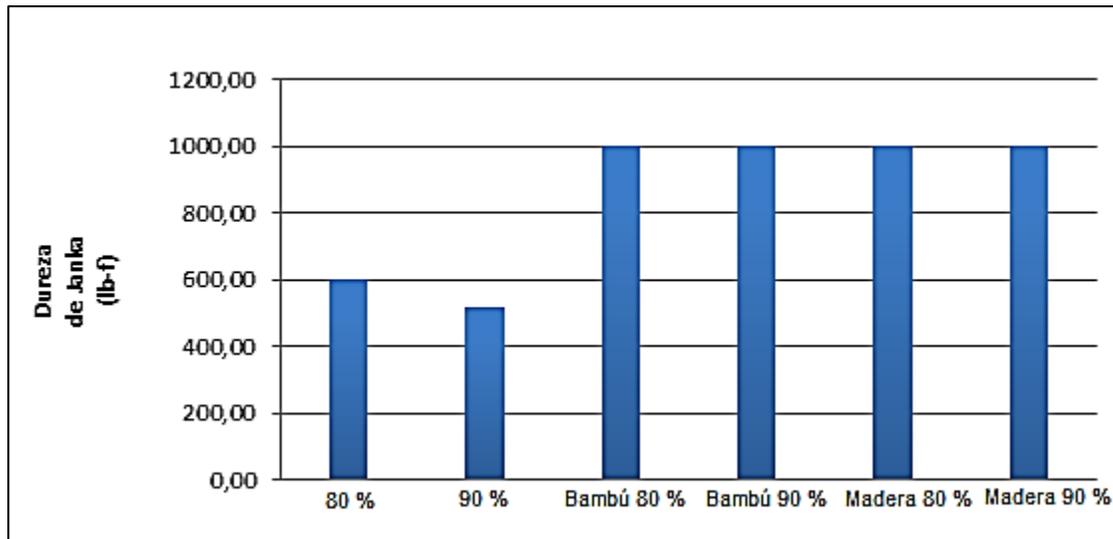
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Porcentaje de humedad de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones**



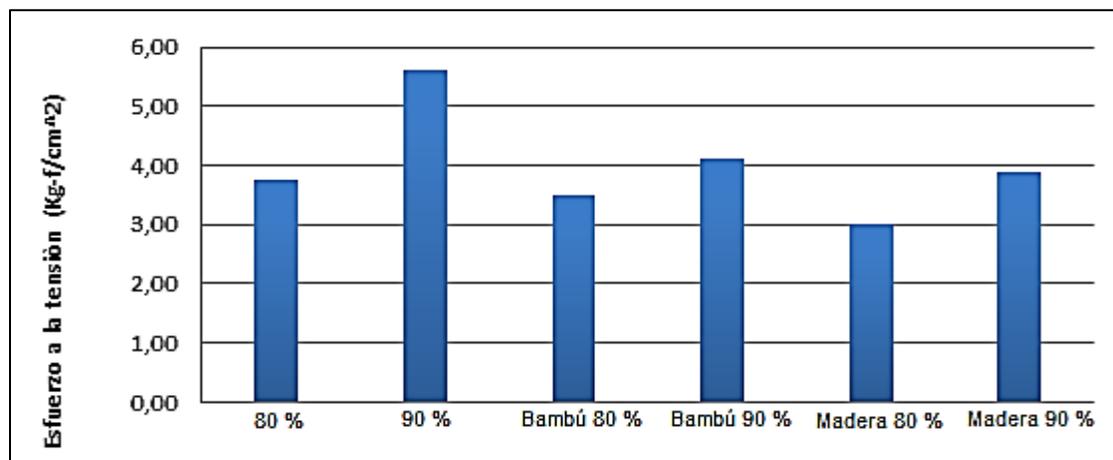
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Dureza de Janka de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones**



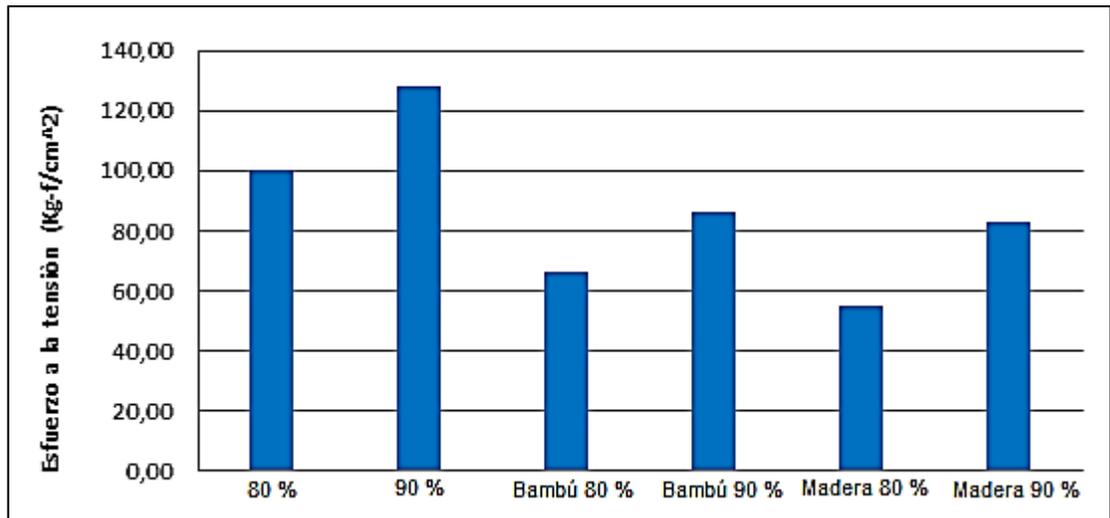
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Esfuerzo a la flexión de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Esfuerzo a la tensión de probetas fabricadas con dos diferentes formulaciones**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las probetas de pisos experimentales necesarios para llevar a cabo el presente trabajo de graduación, fueron fabricadas en el Laboratorio Multipropósito de Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería. El material utilizado para la fabricación consistió en una serie de mezclas de desecho de estopa de coco y polietileno de baja densidad de reciclado primario. En total se elaboraron 10 pisos de madera plástica, utilizando formulaciones de 80 % y 90 % en peso de residuos de estopa de coco mezclado con polietileno de baja densidad. Cada piso fue sometido a tratamiento térmico en un horno de convección forzada a una temperatura constante de 250 grados Celsius.

Las probetas obtenidas se sometieron a pruebas fisicomecánicas: fuerza de tensión, fuerza de flexión, dureza Janka y se determinaron las propiedades físicas: densidad, % de humedad, contracción volumétrica y capacidad de absorción, siguiendo las normas ASTM respectivas para cada prueba.

En la figura 3 se presentan los resultados de la evaluación de la prueba de densidad del material formulado, se visualiza que al aumentar la cantidad de polímero aumenta la densidad del material formulado. Durante el proceso de secado de la fibra natural de coco se obtiene un peso menor; por lo tanto, al aumentar la cantidad de estopa de coco disminuye la densidad del material. De acuerdo al análisis de varianza no existe influencia significativa al variar la composición de la mezcla en la prueba de densidad.

Los resultados de la evaluación del porcentaje de contracción volumétrica se presentan en la tabla V; se observa que para la formulación de 80 % el porcentaje de contracción fue de 2,52 % y un 2,16 % para la formulación de 90 %. Al analizar las dos formulaciones se observa que a mayor porcentaje de polímero el porcentaje de contracción volumétrica es menor; dicho comportamiento se debe a las diferencias en la resistencia a la contracción conferidas por la mayor cantidad de polímero como material aglutinante. A pesar del comportamiento del porcentaje de contracción volumétrica para las dos formulaciones, el análisis estadístico no registra variación significativa respecto a la composición de la mezcla.

En la figura 5 se observa que la capacidad de absorción mínima se obtuvo para la formulación de 90 % de polietileno, debido a que contiene la menor cantidad de fibra de coco. Esto concuerda con la teoría, ya que una de las características importantes de la fibra natural de coco es su capacidad de absorción. Por lo que se determinó que variaciones en la composición de la mezcla si tienen efecto significativo en la prueba de absorción.

En la figura 6 se visualiza el valor promedio obtenido en la prueba de humedad para las dos diferentes formulaciones estudiadas. Se puede observar que el porcentaje de humedad es mayor para la formulación de 80 %, esto se debe a la característica principal de la estopa de coco, su alto contenido de humedad, lo cual se ve evidenciado en los resultados obtenidos. Al incrementar la cantidad de fibra natural en la mezcla se obtiene mayor porcentaje de humedad.

Se evaluó la dureza del material formulado bajo los parámetros establecidos por la prueba de Janka para determinar la resistencia a la deformación al aplicarle presión a las probetas en un solo punto; se presentan

los resultados en la figura 7; al aumentar la cantidad de fibra natural de estopa de coco a la mezcla ocasiona que tenga mayor rigidez y, por lo tanto, se incrementa la resistencia a la deformación. La mejor formulación se obtuvo utilizando 80 % de polietileno de baja densidad, resistiendo una carga de 600 psi.

En la figura 9, el comportamiento del esfuerzo a la tensión se aprecia para cada una de las formulaciones. Al hacer un análisis comparativo entre estas dos formulaciones se observa que la formulación de 90 % presentó el mayor esfuerzo a la tensión con un valor de 127,85 kg-f/cm²; mientras que la formulación de 80 % presentó un valor de 110,04 kg-f/cm², este comportamiento evidencia que si existe variación significativa respecto a la composición de la mezcla.

Se puede visualizar en la figura 8 el comportamiento del esfuerzo de flexión en función de la formulación. El mayor esfuerzo a la flexión lo presenta la formulación de 90 % con un valor de 5,61 Kg-f/cm². Esto indica una gran flexibilidad debido a la presencia del polímero; la formulación con mayor contenido de plástico es la que presentó mayor esfuerzo a la flexión. De acuerdo al análisis de varianza si existe influencia significativa al variar la composición de la mezcla en la prueba del esfuerzo a la flexión.

Los resultados obtenidos se compararon con los valores del proyecto de investigación DIGI 6.66. *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*, en el cual se evaluaron las propiedades fisicomecánicas y fisicoquímicas de pisos elaborados con mezclas de fibras naturales tales como: bambú, madera y estopa de coco.

En la figura 10 se observa el valor promedio obtenido en la prueba de densidad, seis formulaciones que combinan 3 tipos de fibra natural y dos proporciones de polímero. La densidad se comportó de forma similar en todas las muestras de pisos plásticos, al aumentar la cantidad de polímero aumentó la densidad del material formulado. El mayor valor de densidad se obtuvo para la formulación de 90 % con un valor de $0,99 \text{ g/cm}^3$. Según el análisis estadístico, si existe variación significativa en las formulaciones de 90 % en peso de residuos de bambú y madera.

En la figura 11 se muestra el comportamiento del porcentaje de contracción volumétrica del material formulado clasificado según la fibra utilizada y el porcentaje de polímero. Se observa que los porcentajes de contracción volumétrica de los pisos de la formulación de 90 % registran un menor porcentaje de contracción comparados con la formulación de 80 %; al analizar cada fibra se observa un comportamiento similar en el cual al incrementar el porcentaje de polímero disminuye el porcentaje de contracción, esto es debido a la resistencia a la contracción por la mayor cantidad de polímero. De acuerdo al análisis de varianza no existe influencia significativa al variar la composición y el tipo de fibra en la prueba de contracción volumétrica.

Se puede visualizar en la figura 12 el comportamiento del porcentaje de absorción en función de la formulación y del tipo de fibra. En la figura se observa que el material formulado con fibra natural de estopa de coco (80 %) muestra mayor porcentaje de absorción comparado con los pisos elaborados con fibras de bambú y madera, respectivamente; esto se debe a una de las características más importantes de la fibra natural de estopa de coco, su capacidad de absorción.

En la figura 13 se puede observar valores de porcentaje de humedad entre 0,62 % y 2,5 % de humedad. Al comparar los valores entre los tipos de fibras se visualiza que el material con fibra de bambú presenta un valor más elevado de porcentaje de humedad y el material con estopa de coco presenta un valor menor. Según el análisis estadístico existe influencia significativa en la formulación de bambú al 80 %.

La figura 14 muestra los resultados obtenidos para la prueba de dureza de Janka, se puede visualizar que el comportamiento de la dureza fue similar para todas las muestras del material formulado; al realizar el análisis de varianza dichos resultados no se vieron afectados por el tipo de fibra ni por la variación de la composición.

En la figura 16 se aprecia el comportamiento del esfuerzo a la tensión para cada una de las formulaciones con fibras naturales: estopa de coco, bambú y madera. Al realizar un análisis comparativo se observa que la formulación 90 % con fibra natural de estopa de coco presentó el mayor esfuerzo a la tensión con un valor de 127,85 Kg-f/cm². Este comportamiento evidencia la gran influencia que tiene la fibra natural de coco confiriéndole gran tenacidad y dureza al material formulado.

La figura 15 muestra los resultados obtenidos para la prueba de esfuerzo a la flexión; se visualiza que el comportamiento de la flexión fue similar para todas las muestras del material formulado y al realizar los análisis estadísticos dichos resultados se vieron afectados por el tipo de fibra y por la variación de la composición.

CONCLUSIONES

1. Los pisos con las mejores propiedades físicas fueron los que se fabricaron con la formulación de 90 % de polietileno de baja densidad y 10 % de fibra natural de estopa de coco, con variaciones no significativas sobre la densidad y contracción volumétrica, presentaron menor capacidad de absorción y porcentaje de humedad por la cantidad de la fibra empleada.
2. El material formulado que presentó las mejores propiedades fisicomecánicas fue la formulación de 90 % de polietileno de baja densidad y 10 % de fibra natural de estopa de coco, que presentó mayor esfuerzo a la flexión y tensión.
3. No existe diferencia significativa en el efecto de la formulación sobre la densidad de los pisos elaborados con estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante.
4. No existe diferencia significativa en el efecto de la formulación sobre el porcentaje de contracción volumétrica de los pisos elaborados con estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante.
5. De acuerdo al análisis estadístico, no existe diferencias significativas en los resultados del porcentaje de contracción volumétrica de los pisos fabricados en comparación con los valores establecidos del proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*.

6. De acuerdo al análisis estadístico existe diferencia significativa en las propiedades fisicomecánicas de los pisos fabricados en comparación con los valores establecidos del proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*.
7. Si existe diferencia significativa en los resultados de la prueba de densidad, porcentaje de absorción y porcentaje de humedad de los pisos fabricados en comparación con los valores establecidos del proyecto titulado *Desarrollo de un material para pisos fabricados a base de plástico reciclado y residuos agroindustriales de bambú y aserrín*.
8. Los resultados de la prueba de porcentaje de absorción y esfuerzo a la tensión de los pisos elaborados sí cumplen con los valores requeridos de la FHA.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar los pisos elaborados con 80 % de polietileno de baja densidad y 20 % de fibra natural de estopa de coco, se utilicen para tráfico moderado.
2. Debido a que los valores de densidad de los pisos fabricados son bastante bajos se puede utilizar los pisos como paneles para cielo falso.
3. Utilizar los pisos fabricados con fibras naturales de estopa de coco para aplicaciones en las cuales el material deba estar sujeto a la humedad extrema.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. Standards methods of evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Designation D 1037-89. Annual book of ASTM standards. Philadelphia, Pennsylvania: ASTM, 1989. 30 p.
2. ARRIOLA S., Julio Cesar. Evaluación de los parámetros adecuados para la elaboración de madera plástica por compresión en caliente, a base de aserrín y polímero de reciclado primario, polietileno de alta densidad. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2016. 108 p.
3. COYOY P., Ana Gabriela. Formulación de un material fibroreforzado a base de una mezcla de cáscara de coco y polímero reciclado. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 166 p.
4. GÓMEZ. José Enríquez. Obtención a nivel laboratorio del tinte natural del exocarpo del coco (*Cocusnucifera L.*) mediante lixiviación por maceración dinámica utilizando muestra seca y fresca. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 113 p.

5. INFOAGRO Guatemala. Coco, cocos, cocotero, palma de coco. [En línea]. <<http://articulos.infojardin.com/Frutales/fichas/coco-cocoscocotero-cocotereros.html>> [Consulta: 20 de abril de 2016].
6. KIRK, E. Raymond; OTHMER, Donald F. Enciclopedia de tecnología química. Tomo 13. México: Unión Tipografía Hispanoamericana, 1963. 973 p
7. PÉREZ MÉNDEZ, Emerson Víctor Manuel. Análisis de las propiedades físico mecánicas para un sustituto de madera. natural elaborado a base de plásticos reciclados. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 95 p.
8. RIVERA T., Mauricio Valentino. Determinación de los parámetros adecuados para la elaboración de madera plástica por compresión en caliente de mezclas de desechos de madera teca (*Tectonagrandis*) reducidos a aserrín y polipropileno. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 152 p.
9. SOLDER BURILLO, Manuel. Mil maderas II. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2004. 578 p.

APÉNDICES

En el presente apéndice se muestran los respectivos cálculos, los cuales están detallados en esta sección.

Apéndice 1. Datos calculados para evaluar la densidad del material formulado

PP	masa (g)	b (cm)	a (cm)	d (cm)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	$\bar{\rho}$ (g/cm ³)	Desviación estándar
80 %	518,38	30,00	29,40	0,66	583,88	0,89	0,90	0,06
	543,30	32,00	30,00	0,66	634,80	0,86		
	511,32	31,00	29,50	0,55	505,49	1,01		
	551,91	32,00	29,90	0,65	621,68	0,89		
	541,63	32,00	29,00	0,67	622,69	0,87		
90 %	497,16	29,10	29,50	0,56	482,66	1,03	0,99	0,07
	508,11	31,00	29,40	0,62	563,93	0,90		
	460,50	28,00	29,70	0,52	434,72	1,06		
	476,71	29,50	28,80	0,55	463,03	1,03		
	452,70	29,20	30,00	0,54	474,79	0,95		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Capacidad máxima de absorción del material formulado**

Formulación	Po (g)	Pf (g)	% Abs	$\overline{\% \text{ Abs}}$	Desviación estándar
80 %	60,04	63,25	5,35	5,22	0,85
	63,75	67,77	6,31		
	58,87	61,23	4,01		
	56,46	59,23	4,91		
	60,58	63,95	5,56		
90 %	53,76	54,51	1,40	1,10	0,21
	61,57	62,21	1,04		
	52,82	53,46	1,21		
	58,85	59,46	1,04		
	49,90	50,31	0,82		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Porcentaje de humedad del material formulado**

Formulación	masa (g)	% H	$\overline{\% H}$	Desviación estándar
80 %	1,03	0,87	1,24	0,44
	0,87	1,60		
	0,90	0,67		
	1,05	1,43		
	1,00	1,60		
90 %	1,06	0,66	0,62	0,12
	1,04	0,48		
	0,97	0,51		
	0,93	0,65		
	0,90	0,78		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos para la determinación de dureza de Janka del material formulado**

Presión (psi)	0	250	500	600
d (mm)	d1	d2	d3	d4
Probeta				
801	9	1	2	
802	10	2	4	8
803	10	2	5	8
804	10	2	5	8
805	10	3	5	9
901	11	3	9	
902	11	3	9	
903	11	3	5	8
904	11	3	9	
905	10	2	9	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Determinación de dureza de Janka del material formulado**

Formulación	Dureza (psi)	<i>Dureza</i> (psi)	Desviación estándar
80 %	600	600	0
	600		
	600		
	600		
	600		
90 %	500	520	44,72
	500		
	600		
	500		
	500		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Datos para la determinación de contracción volumétrica del material formulado**

Formulación	masa (g)	a (cm)	b (cm)	d (cm)	V Equilibrio (cm ³)
80 %	5,30	22,05	41,07	7,63	6 909,68
	5,08	21,59	39,84	7,04	6 055,43
	4,70	21,79	40,51	6,14	5 419,86
	5,82	21,73	40,38	7,71	6 765,20
	5,46	22,03	40,48	7,54	6 723,98
90 %	4,82	21,78	40,78	6,34	5 631,11
	3,97	21,86	40,22	5,15	4 527,93
	4,62	21,68	40,43	5,78	5 066,30
	4,75	21,76	40,89	5,82	5 178,44
	4,30	21,68	40,65	5,76	5 076,24

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Datos para la determinación del porcentaje de contracción volumétrica del material formulado**

PP	masa (g)	a (cm)	B (cm)	d (cm)	V saturado (cm ³)	masa (g)	a (cm)	b (cm)	d (cm)	V anhidro (cm ³)
80%	6,05	22,16	41,32	7,70	7 050,51	5,28	21,93	40,86	7,59	6 801,09
	5,40	21,61	39,90	7,23	6 233,99	5,16	21,59	39,69	7,22	6 186,87
	4,78	21,82	40,59	6,35	5 624,03	4,70	21,74	40,55	6,21	5 474,47
	6,06	21,78	40,55	7,74	6 835,81	5,88	21,77	40,38	7,71	6 777,65
	5,80	22,07	40,53	7,55	6 753,45	5,49	21,94	40,32	7,27	6 431,19
90%	4,93	21,91	40,79	6,40	5 719,74	4,86	21,89	40,69	6,34	5 647,06
	4,03	22,00	40,34	5,15	4 570,52	4,03	21,75	40,14	5,15	4 496,18
	4,65	21,68	40,52	5,98	5 253,27	4,67	21,63	40,38	5,84	5 100,77
	4,77	21,80	40,90	6,01	5 358,64	4,79	21,69	40,79	5,82	5 149,16
	4,38	21,68	40,90	5,77	5 116,33	4,39	21,60	40,74	5,75	5 059,91

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Determinación del porcentaje de contracción volumétrica del material formulado**

Formulación	V saturado (cm ³)	V anhidro (cm ³)	Cv	Cv Promedio	Desviación estándar
80 %	7 050,51	6 801,09	3,54	2,52	1,73
	6 233,99	6 186,87	0,76		
	5 624,03	5 474,47	2,66		
	6 835,81	6 777,65	0,85		
	6 753,45	6 431,19	4,77		
90 %	5 719,74	5 647,06	1,27	2,16	1,21
	4 570,52	4 496,18	1,63		
	5 253,27	5 100,77	2,90		
	5 358,64	5 149,16	3,91		
	5 116,33	5 059,91	1,10		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Determinación del esfuerzo de tensión del material formulado**

Número de probeta	a (cm)	b (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg-f)	Esfuerzo (Kg-f/cm ²)	Esfuerzo promedio (Kg-f/cm ²)	Desviación estándar
801	1,03	0,63	0,65	68,00	104,79	100,04	17,12
802	1,01	0,89	0,90	84,00	93,45		
803	1,06	0,66	0,70	88,00	125,79		
804	1,14	0,72	0,82	65,00	79,19		
805	0,90	0,63	0,57	55,00	97,00		
901	1,16	0,55	0,64	65,00	101,88	127,85	19,63
902	1,01	0,55	0,56	85,00	153,02		
903	1,05	0,51	0,54	63,00	117,65		
904	1,00	0,51	0,51	65,00	127,45		
505	1,14	0,63	0,72	100,00	139,24		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Determinación del esfuerzo de flexión del material formulado**

Número de probeta	b (cm)	a (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (Kg/cm ²)	Desviación estándar
801	7,50	0,63	4,73	20,00	4,23	3,77	0,67
802	7,49	0,89	6,67	18,00	2,70		
803	7,40	0,66	4,88	20,00	4,10		
804	7,50	0,72	5,40	19,00	3,52		
805	7,40	0,63	4,66	20,00	4,29		
901	7,55	0,55	4,15	24,00	5,78	5,61	0,83
902	7,46	0,55	4,10	21,00	5,12		
903	7,58	0,51	3,87	25,00	6,47		
904	7,55	0,51	3,85	24,00	6,23		
505	7,50	0,63	4,73	21,00	4,44		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Análisis de varianza del efecto de la variación de la composición de la mezcla sobre la prueba de densidad**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Porcentaje de la mezcla	1	0,02	0,02	4,99	5,32	Aceptada
	8	0,03	0,00			
Total	9	0,05				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Análisis de varianza del efecto de la variación de la composición de la mezcla sobre el porcentaje de contracción volumétrica**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Porcentaje de la mezcla	1	0,31	0,31	0,14	5,32	Aceptada
	8	17,82	2,23			
Total	9	18,13				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Análisis de varianza del efecto de la variación de la composición de la mezcla sobre el porcentaje de absorción**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Porcentaje de la mezcla	1	42,56	42,56	110,97	5,32	Rechazada
	8	3,09	0,38			
Total	9	45,63				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Análisis de varianza del efecto de la variación de la composición de la mezcla sobre el porcentaje de humedad**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Porcentaje de la mezcla	1	0,95	0,95	9,45	5,32	Rechazada
	8	0,81	0,10			
Total	9	1,76				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Análisis de varianza del efecto de la variación de la composición de la mezcla sobre la dureza de Janka**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Porcentaje de la mezcla	1	16 000,00	16 000,00	16,00	5,32	Rechazada
	8	8 000,00	1 000,00			
Total	9	24 000,00				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Análisis de varianza del efecto de la variación de la composición de la mezcla sobre el esfuerzo a la flexión**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Porcentaje de la mezcla	1	1 932,66	1 932,66	5,69	5,32	Rechazada
	8	2 714,92	339,36			
Total	9	4 647,58				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Análisis de varianza del efecto de la variación de la composición de la mezcla sobre el esfuerzo a la tensión**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Porcentaje de la mezcla	1	1 932,66	1 932,66	5,69	5,32	Rechazada
	8	2 714,92	339,36			
Total	9	4 647,58				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Análisis de varianza del efecto del material formulado sobre la densidad**

Propiedad física	Material formulado	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Densidad	Bambú 80 %	4,07	5,32	Aceptada
	Bambú 90 %	16,85	5,32	Rechazada
	Madera 80 %	1,52	5,32	Aceptada
	Madera 90 %	9,33	5,32	Rechazada

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Análisis de varianza del efecto del material formulado sobre la contracción volumétrica**

Propiedad física	Material formulado	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Contracción volumétrica	Bambú 80 %	0,94	5,32	Aceptada
	Bambú 90 %	1,20	5,32	Aceptada
	Madera 80 %	0,07	5,32	Aceptada
	Madera 90 %	0,00	5,32	Aceptada

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Análisis de varianza del efecto del material formulado sobre el porcentaje de absorción**

Propiedad física	Material formulado	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Absorción	Bambú 80 %	34,35	5,32	Rechazada
	Bambú 90 %	0,27	5,32	Aceptada
	Madera 80 %	1,63	5,32	Aceptada
	Madera 90 %	3,23	5,32	Aceptada

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Análisis de varianza del efecto del material formulado sobre el porcentaje de humedad**

Propiedad física	Material formulado	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Humedad	Bambú 80 %	4,98	5,32	Aceptada
	Bambú 90 %	7,04	5,32	Rechazada
	Madera 80 %	37,21	5,32	Rechazada
	Madera 90 %	121,73	5,32	Rechazada

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Análisis de varianza del efecto del material formulado sobre la dureza de Janka**

Propiedad mecánica	Material formulado	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Dureza	Bambú 80 %	65 535,00	5,32	Rechazada
	Bambú 90 %	576,00	5,32	Rechazada
	Madera 80 %	65 535,00	5,32	Rechazada
	Madera 90 %	576,00	5,32	Rechazada

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. **Análisis de varianza del efecto del material formulado sobre el esfuerzo a la flexión**

Propiedad mecánica	Material formulado	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Flexión	Bambú 80 %	17,48	5,32	Rechazada
	Bambú 90 %	20,95	5,32	Rechazada
	Madera 80 %	04,80	5,32	Aceptada
	Madera 90 %	25,69	5,32	Rechazada

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. **Análisis de varianza del efecto del material formulado sobre el esfuerzo a la tensión**

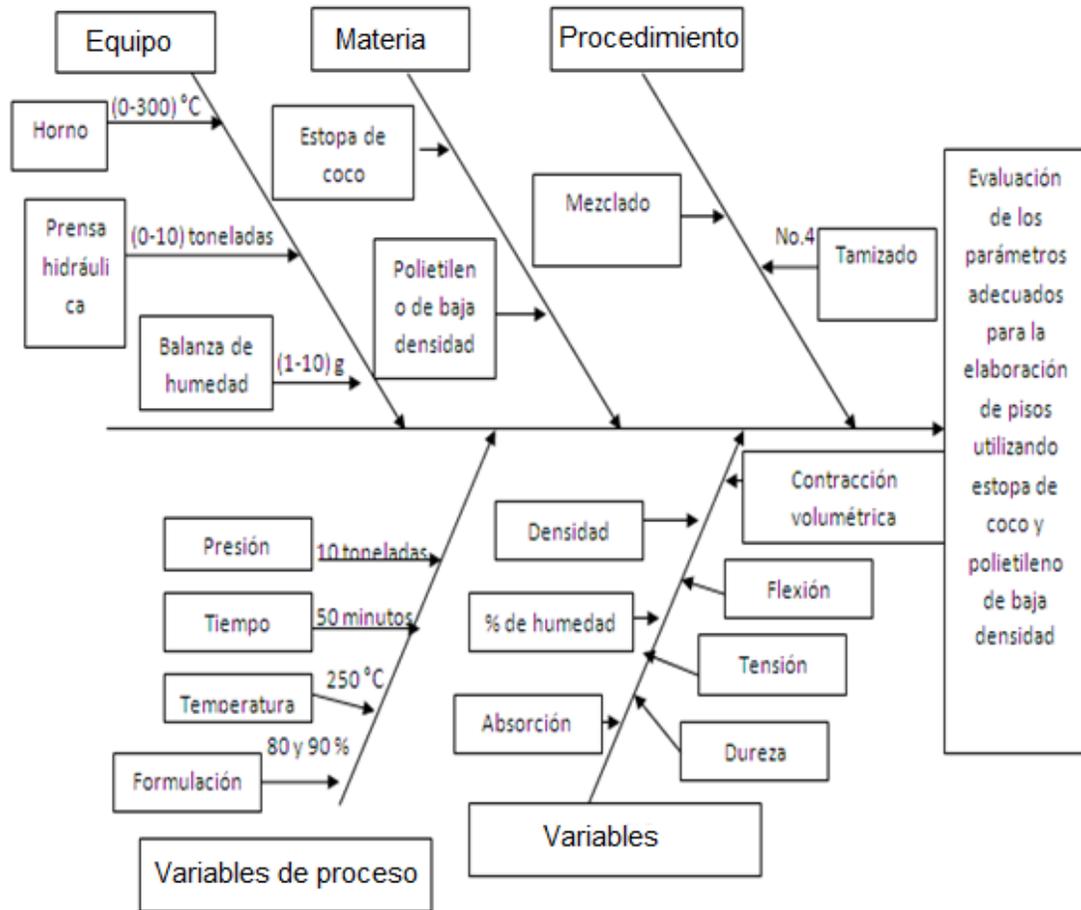
Propiedad mecánica	Material formulado	F calculado	F crítico	Hipótesis nula
Tensión	Bambú 80 %	17,48	5,32	Rechazada
	Bambú 90 %	20,95	5,32	Rechazada
	Madera 80 %	04,80	5,32	Aceptada
	Madera 90 %	04,80	5,32	Aceptada

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. **Tabla de requisitos académicos**

Problema	Hipótesis	Tema
<p>El diagrama de flujo muestra la siguiente estructura de requisitos académicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Lic. En Ingeniería Química <ul style="list-style-type: none"> Área de Química <ul style="list-style-type: none"> Química 3/4 → Propiedades de la materia → Propiedades extensivas e intensivas Química 3/4 → Titulaciones → Concentración de una sustancia en solución Química orgánica → Polímeros → Propiedades y tipos Análisis Instrumental → Equipos y analitos → Muestreo, manejo y procedimientos Química ambiental → Manejo de desechos sólidos → Reutilización y biomasa Área operaciones unitarias <ul style="list-style-type: none"> Transferencia de calor → Tipos de transferencia de calor → Conducción Transferencia de masa en unidades continuas → Secado → Proceso, materia, equipo y humedad Op. Unitarias complementaria → Manejo de sólidos → Disminución partículas, separación, equipos Área especialización <ul style="list-style-type: none"> Ciencia de los materiales <ul style="list-style-type: none"> Materiales de Ingeniería → Clasificación y propiedades Polímeros → Termoplásticos Materiales compuestos → Por fibras Área fisicoquímica <ul style="list-style-type: none"> Idioma Técnico → Lenguaje técnico → Norma ASTM Fisicoquímica → Determinación de propiedades → Densidad, temp. inflamación y % humedad Área ciencias básicas <ul style="list-style-type: none"> Física → Elasticidad → Propiedades Estadística → Manejo de datos → Varianza 	<p>Es posible utilizar el polietileno de baja densidad como un agente aglutinante para la elaboración de pisos de estopa de coco y polietileno de baja densidad como material formulado utilizando como fibra natural la estopa de coco, determinar el porcentaje adecuado de la mezcla y los parámetros adecuados para elaborarlo.</p>	<p>Evaluación de los parámetros adecuados para la elaboración de pisos utilizando estopa de coco y polietileno de baja densidad como aglutinante.</p>

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. **Secado de la estopa de coco a una temperatura de 200 grados Celsius en un horno de convección forzada**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. **Molienda de la estopa de coco, pasando por un tamiz número 4**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Elaboración de los pisos de estopa de coco y polietileno de baja densidad utilizando un molde de metal**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30. **Compactación de los pisos en una prensa hidráulica a una presión de 10 toneladas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. **Material formulado de 80 % y 90 % de polietileno de baja densidad con fibra natural de estopa de coco**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 32. **Prueba de capacidad de absorción de las probetas fabricadas, sumergidas en agua durante 24 horas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 33. **Prueba de contracción volumétrica de las probetas, sumergidas en un *beacker* con agua**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 34. **Determinación del porcentaje de humedad en una balanza electrónica**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 35. **Determinación de la dureza por medio de un balón de Janka**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 36. **Prueba de capacidad máxima de tensión en una máquina universal**



Fuente: elaboración propia.