



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

APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA DERIVADA DE LOS TALLOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*, L.) Y PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*, Jacq) EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANCHAS DE USO MÚLTIPLE

Astrid Liseth Veliz Pérez

Asesorado por el Ing. Mauricio Valentino Rivera Tello
Co-asesorado por la Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco

Guatemala, abril de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA DERIVADA DE LOS TALLOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*, L.) Y PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*, Jacq) EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANCHAS DE USO MÚLTIPLE

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ASTRID LISETH VELIZ PÉREZ

ASESORADO POR EL ING. MAURICIO VALENTINO RIVERA TELLO
CO-ASESORADO POR LA LICDA. INGRID LORENA BENITEZ PACHECO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA DERIVADA DE LOS TALLOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*, L.) Y PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*, Jacq) EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANCHAS DE USO MÚLTIPLE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 12 de agosto de 2019.

Astrid Liseth Veliz Pérez

Guatemala 5 de marzo de 2020

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: **"APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA DERIVADA DE LOS TALLOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*, L.) Y PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*, Jacq) EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANCHAS DE USO MÚLTIPLE"**, elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Astrid Liseth Veliz Pérez, quien se identifica con el registro académico 2013-14221 y con el CUI 2068 21018 0101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Mauricio Valentino Rivera Tello
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 2,089



Mauricio Valentino
Rivera Tello
INGENIERO QUIMICO
Colegiado. No. 2089

Guatemala 5 de marzo de 2020


Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA DERIVADA DE LOS TALLOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*, L.) Y PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*, Jacq) EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANCHAS DE USO MÚLTIPLE", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Astrid Liseth Veliz Pérez, quien se identifica con el registro académico 2013-14221 y con el CUI 2068 21018 0101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ingrid Lorena Benítez Pacheco
CO-ASESORA
Licenciada en Química
Colegiado activo no. 1,974

Licda. Ingrid Lorena Benítez P.
Química
Maestría Ciencia y Tecnología
del Medio Ambiente
Colegiado No. 1974



Guatemala, 22 de octubre de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.038.2020.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **071-2017**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Astrid Liseth Veliz Pérez.**

Identificado con número de carné: **2068210180101.**

Identificado con registro académico: **201314221.**

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química.**

En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación.**

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:

APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA DERIVADA DE LOS TALLOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*, L.) Y PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*, Jacq) EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANCHAS DE USO MÚLTIPLE

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Mauricio Valentino Rivera Tello, profesional de la Ingeniería Química
Ingrid Lorena Benítez Pacheco, profesional de la Química

Habiendo encontrado el referido 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”

Jorge Emilio Godínez Lemus
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 9 de abril de 2021.
Ref. EIQ.051.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA DERIVADA DE LOS TALLOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca*, L.) Y PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*, Jacq) EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANCHAS DE USO MÚLTIPLE** del(la) estudiante Astrid Liseth Veliz Pérez, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”


DIRECCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
051

Ing. William G. Alvarez Mena, M.Sc., M.U.I.E.
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo
WGAM/mpea



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**

DTG. 184.2021.

La Decana 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: **APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA DERIVADA DE LOS TALLOS DEL BANANO (*Musa paradisiaca, L.*) Y PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis, Jacq*) EN LA ELABORACIÓN DE AGLOMERADOS PARA PRODUCCIÓN DE PLANCHAS DE USO MÚLTIPLE**, presentado por la estudiante universitaria: **Astrid Liseth Veliz Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, abril de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por brindarme bendiciones, protección y guía durante mi vida.
- Mis padres** Duglio Véliz y Silvia Pérez. Por su amor, su apoyo, sus cuidados, la guía y motivación que me han dado a lo largo de mi vida.
- Mi hermano** Por su apoyo sus palabras de aliento, compañía, consejos, amor y experiencias vividas y sonrisas.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida.
Mis padres	Duglio Véliz y Silvia Pérez. Por esta oportunidad, la guía, consejos y amor que me brindan a lo largo de mi vida.
Mi hermano	Allan G. Veliz. Por su apoyo, amor, consejos y experiencias vividas.
Mis primos	Por las experiencias y palabras de aliento. Edgar, Jorge, Alex, Mario, Katy, Inés.
Mis amigos	Por recorrer juntos esta etapa de nuestras vidas, por las experiencias buenas y malas, por su apoyo y amistad.
Universidad San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que permitió mi formación profesional.
Mi asesor y Jesiel Enríquez	Por brindarme y compartir sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XIV
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. El banano	5
2.1.1. Cultivo del banano en Guatemala.....	5
2.1.2. Variedades importantes.....	7
2.1.3. Condiciones agroecológicas para el cultivo del banano.....	7
2.2. Palma africana.....	8
2.2.1. Características.....	8
2.2.2. Condiciones agroecológicas para el cultivo de palma africana	9
2.2.3. Cultivo de palma africana en Guatemala.....	9
2.2.4. Desecho de la palma africana	11
2.2.5. Impactos ecológicos y sociales de las plantaciones de la palma africana en Guatemala ...	11
2.3. Biomasa lignocelulósica	12

2.3.1.	Componentes de material lignocelulósico	13
2.3.1.1.	Celulosa	15
2.3.1.2.	Hemicelulosa.....	16
2.3.1.3.	Lignina.....	17
2.4.	Aglomerados	18
2.4.1.	Tipos de aglomerados.....	19
2.4.2.	Proceso de fabricación de aglomerados de madera	20
2.5.	Parámetros físicos evaluados en los aglomerados	21
2.5.1.	Densidad	21
2.5.2.	Hinchazón y absorción por agua	21
2.6.	Parámetros mecánicos evaluados en los aglomerados	22
2.6.1.	Tensión paralela a la superficie.....	22
2.6.2.	Esfuerzo máximo en flexión	22
2.7.	Aglomerantes o resinas.....	22
2.7.1.	Cola blanca (Resistol 850)/ ficha técnica	23
2.7.2.	Cola exteriores (Grip Bond 3)/ ficha técnica	24
2.7.3.	Almidón	25
2.7.3.1.	Tipos de almidones	25
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.1.	Variables	27
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	28
3.2.1.	Recursos físicos disponibles	28
3.3.	Recursos humanos disponibles	28
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	28
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	29
3.5.1.	Método de ensayo para lignina insoluble en ácido en la madera (ASTM D 1106-96).....	30

3.5.2.	Densidad del tablero (ASTM D 1037-91).....	31
3.5.3.	Absorción de humedad (ASTM S 1037-91)	32
3.5.4.	Hinchamiento en espesor (ASTM D 1037-91)	32
3.5.5.	Tensión paralela a la superficie (ASTM D 1037-91)	33
3.5.6.	Ensayo de flexión estática (ASTM D 1037-91)	33
3.6.	Análisis estadístico	35
3.6.1.	Media aritmética	35
3.6.2.	Desviación estándar	36
3.6.3.	Análisis de varianza (ANOVA) por un factor	36
3.7.	Plan de análisis de los resultados	37
3.7.1.	Programas por utilizar para análisis de datos	38
4.	RESULTADOS	39
4.1.	La composición química de la materia prima.....	39
4.2.	Propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados ...	40
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	47
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA	61
	APÉNDICES	65
	ANEXOS	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de la producción de banano.....	6
2.	Mapa de plantación de palma africana	10
3.	Esquema general de componentes químicos del material lignocelulósico.....	14
4.	Estructura de la cadena celulosa	15
5.	Estructura de la cadena de hemicelulosa.....	16
6.	Estructura de la cadena de lignina	18
7.	Diagrama del proceso para la elaboración del tablero aglomerado de tallo de banano y tallo de palma africana	30
8.	Esquema del ensayo de flexión estática	34
9.	Densidad de los tableros aglomerados de tallo de banano en función de la proporción de aglomerante	40
10.	Densidad de los tableros aglomerados de tallo de palma africana en función de proporción de la aglomerante	41
11.	Absorción de agua de los tableros aglomerados de tallo de banano en función de la proporción de aglomerante	41
12.	Absorción de agua de los tableros aglomerados de tallo de palma africana en función de las proporciones de aglomerante	42
13.	Hinchamiento en espesor de los tableros aglomerados de tallo de banano en función de las proporciones de aglomerante.....	42
14.	Hinchamiento en espesor de los tableros aglomerados de tallo de palma africana en función de las proporciones de aglomerante	43

15.	Tensión paralela a la superficie de los tableros de tallo de banano en función de la proporción de aglomerante	43
16.	Tensión paralela a la superficie de los tableros de tallo de palma africana en función de la proporción de aglomerante	44
17.	Esfuerzo máximo en flexión de los tableros de tallo de banano en función de la proporción de aglomerante	44
18.	Esfuerzo máximo en flexión de los tableros de tallo de palma africana en función de la proporción de aglomerante	45
19.	Tableros aglomerados elaborados a partir del tallo de banano y palma africana con distintas proporciones de aglomerante	47
20.	Moho en tableros de almidón.....	48
21.	Probeta deshecha después de inmersión de 24 horas.....	51

TABLAS

I.	Composición nutricional de un banano de 100g.....	5
II.	Descripción de variedades importantes de banano en Guatemala.....	7
III.	Variables independientes del estudio	27
IV.	Variables dependientes del estudio	27
V.	Cálculo de análisis de varianza de un factor con igualdad de observaciones.....	37
VI.	Composición química del tallo del banano.....	39
VII.	Composición química del tallo de palma africana.....	39
VIII.	Análisis de variación de las propiedades físico-mecánicas sobre los aglomerantes	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Absorción de humedad
a	Ancho efectivo de una probeta
P_{max}	Carga máxima
cm	Centímetros
cm²	Centímetros cuadrados
cm³	Centímetros cúbicos
D_h	Densidad
\bar{S}	Desviación estándar
L_d	Distancia entre soportes
e	Espesor de una probeta
E_f	Espesor final
E_i	Espesor inicial
g	Gramos
α	Hinchazón en espesor
kg	Kilogramos
m_h	Masa
\bar{X}	Media aritmética
MOR	Módulo de ruptura
P_f	Peso final
P_i	Peso inicial
%	Porcentaje
ET	Tensión paralela a la superficie
V_h	Volumen de una probeta

GLOSARIO

Aglomerante	Material capaz de unir dos o más sustancias y dar cohesión.
Almidón	Macromolécula que está compuesta de dos polisacáridos, la amilosa y la amilopectina. Es el glúcido de reserva de la mayoría de los vegetales.
Carga de compactación	Presión aplicada a un cuerpo para ser compactado.
Celulosa	Es un biopolímero compuesto de moléculas β glucosa. Es responsable de la base estructural de las plantas.
Densidad	Relación entre la masa y volumen de un espécimen.
Especimen	Muestra, modelo o ejemplar que tiene las cualidades o características representativas.
Hidrófilo	Sustancia que tiene afinidad con el agua.
Lignina	Es un polímero aromático que forma una matriz amorfa y es asociado con las propiedades de aglomeración de las fibras.

Módulo de ruptura	Esfuerzo máximo que puede soportar una muestra en el ensayo de flexión.
Raquis	Estructura que forma el eje principal para las hojas o frutos de una planta.
Resina	Material orgánica sólido, semisólido o líquido de consistencia viscosa y pegajosa. Pegamento.
Resistencia a tensión	Carga máxima paralela a la superficie resistida por espécimen, antes que se produzca la falla.
Tablero aglomerado	Compuesto elaborado a base de partículas pequeñas que contienen lignocelulosa son encoladas y se aplica presión.

RESUMEN

Esta investigación consistió en el aprovechamiento de la biomasa del tallo del banano (*Musa paradisiaca, L.*) y tallo de la palma africana (*Elaeis guineensis, Jacq*) como materia prima para la elaboración de tableros de aglomerado, variando en tres proporciones la resina.

Se estableció el contenido de humedad de las materias primas en verde, para el tallo del banano, raquis, fue de 93 % mientras que, para el tallo de palma africana de 81 %, este se redujo hasta un porcentaje menor a 10 para trabajar con las dos fibras. También se determinó el contenido de lignina y celulosa para ambas materias.

Los tableros se fabricaron triturando el tallo del banano y/o tallo de palma africana, se procedió a secar la materia prima hasta un porcentaje de 10 %, se mezcló el aglomerante en proporciones de 60, 50 y 40 % con cada una de las dos fibras. Se introdujo dentro de un molde para posteriormente ser comprimido a presión constante de 10 toneladas en una prensa hidráulica y se dejaron secar al ambiente durante un mes.

Se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerados bajo la Norma ASTM D 1037-91, en la que indica el procedimiento para realizar cada uno de los ensayos como el porcentaje de absorción de humedad, porcentaje de hinchazón en espesor, densidad, tensión paralela a la superficie y esfuerzo máximo de flexión. Además, se realizó una caracterización de lignina y celulosa para cada una de las fibras.

OBJETIVOS

General

Aprovechar la biomasa derivada de los tallos del banano y palma africana para elaborar aglomerados para producir planchas de uso múltiple, variando el porcentaje de resina y materia prima.

Específicos

1. Determinar la composición química del material lignoceluloso presente en el tallo del banano y tallo de la palma africana.
2. Evaluar el efecto del porcentaje de aglomerante; en función de la cola blanca, cola de exterior y almidón sobre las propiedades físico-mecánicas de densidad normal, hinchazón en espesor, absorción de humedad, esfuerzo máximo de flexión y tensión paralela a la superficie de los tableros aglomerados de tallo de banano.
3. Evaluar el efecto del porcentaje de aglomerante; en función de la cola blanca, cola de exterior y almidón sobre las propiedades físico-mecánicas de densidad normal, hinchazón en espesor, absorción de humedad, esfuerzo máximo de flexión y tensión paralela a la superficie de los tableros aglomerados de tallo de palma africana.

HIPÓTESIS

Tallo de banano en función del porcentaje de cola blanca.

Hipótesis nula (H_0):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de banano no poseen diferencia significativa al variar la proporción de cola blanca.

Hipótesis alterna (H_1)

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de banano sí poseen diferencia significativa al variar la proporción de cola blanca.

- Tallo de banano en función del porcentaje de cola para exterior

Hipótesis nula (H_0):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de banano no poseen diferencia significativa al variar la proporción de cola para exterior.

Hipótesis alterna (H_1):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de banano sí poseen diferencia significativa al variar la proporción de cola para exterior.

- Tallo de banano en función del porcentaje de almidón

Hipótesis nula (H_0):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de banano no poseen diferencia significativa al variar la proporción de almidón.

Hipótesis alterna (H_1):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de banano sí poseen diferencia significativa al variar la proporción de almidón.

- Tallo de palma africana en función del porcentaje de cola blanca

Hipótesis nula (H_0)

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de palma africana no poseen diferencia significativa al variar la proporción de cola blanca.

Hipótesis alterna (H_1):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de palma africana sí poseen diferencia significativa al variar la proporción de cola para exterior.

- Tallo de palma africana en función del porcentaje de cola para exterior

Hipótesis nula (H_0):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de palma africana sí poseen diferencia significativa al variar la proporción de cola para exterior.

Hipótesis alterna (H_1):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de palma africana no poseen diferencia significativa al variar la proporción de cola para exterior.

- Tallo de palma africana en función del porcentaje de almidón

Hipótesis nula (H_0):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de palma africana no poseen diferencia significativa al variar la proporción de almidón.

Hipótesis alterna (H₁):

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerado de tallo de palma africana sí poseen diferencia significativa al variar la proporción de almidón.

INTRODUCCIÓN

La inmensa producción de residuos que supone la normal actividad del hombre sobre nuestro planeta es uno de los principales problemas con los que nos encontramos en la actualidad. Estos residuos provocan una progresiva degradación de nuestro entorno que puede llegar a ser, en algunos casos, irreversible. Por ello se hace necesario buscar alternativas que permitan reducir la cantidad de desechos agroindustriales.

La producción agrícola es uno de los sectores de mayor importancia en Guatemala, por lo que gran parte del territorio del país se encuentra cultivado; Se estima que la producción anual de banano asciende a unos 2 millones de toneladas aportando US\$ 411,5 millones dato registrado en 2010, y la producción de palma africana se estima en 350 mil toneladas de aceite crudo según GREPALMA,¹ y con esto se genera gran contaminación ambiental con los residuos orgánicos.

Los tableros de aglomerados convencionales en el país se fabrican generalmente de residuos de la industria maderera, virutas, aserrín, y otros, provocando una deforestación de árboles debido a la cantidad de demanda en la fabricación de muebles para la población.

La industria de los aglomerados en Guatemala, según estudio previos, es una alternativa viable para la producción de un subproducto que reduzca la contaminación que crean las plantaciones de banano, palma africana, así como

¹ GREPALMA. *Anuario estadístico 2016-2017*. grepalma.org. Consulta: 29 de mayo de 2019.

ayuda a la reducción de la tala de árboles proporcionando al mismo tiempo un producto que reporte ganancias económicas.

En las plantaciones de banano y palma africana la mayoría no tiene un método de desechos de sólidos; se propone la utilización del tallo del banano y palma africana como alternativa a los residuos de madera necesarios como materia prima en la elaboración del tablero de aglomerado, así mismo evaluar las propiedades físico-mecánicas que definen a los tableros.

1. ANTECEDENTES

Se han realizado diversos estudios sobre la elaboración de aglomerados, proponiendo la reutilización de desechos agroindustriales como materia prima, esto con el fin de disminuir la cantidad de tala de árboles y la disminución de residuos agroindustriales construyendo materiales para la construcción.

En la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín Colombia en 2014, Manuel Domínguez Ortiz, en una tesis de grado titulada *Elaboración de tableros aglomerados empleando diferentes formulaciones adhesivas a partir de proteína de soya*, propone la utilización de un adhesivo natural en sustitución del sintético con el objetivo de reducir el impacto ambiental que genera la industria de fabricación de tableros aglomerados empleando resinas sintéticas y concluyó que al utilizar proteína de soya y un modificante es posible obtener tableros aglomerados con propiedades semejantes a la de los tableros comerciales.

En 2014 en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en Ecuador, Jorge Benigno Eras desarrolló una tesis titulada: *Evaluación del proceso de elaboración de un aglomerado para cielo raso, a partir del raquis de la palma aceitera en combinación con la cascarilla de arroz* con el propósito de brindar una alternativa rentable al desarrollo agroindustria y contribuir a la descontaminación ambiental.

En la Universidad Piloto de Colombia, en Bogotá Colombia en 2013, una tesis de grado titulada *Desarrollo de aglomerado a base de residuos orgánicos de cascarilla de cacao y bolsas plásticas recicladas*, desarrollada por Andrea

Chacón Romero plantea la utilización de bolsas plásticas para reducir la gran contaminación que estas provocan, combinando las bolsas y residuo orgánico como la cascarilla de cacao y generar un aglomerado que puede ser utilizado en el área de construcción. Y determinó que el material fabricado puede ser utilizado como teja o piso.

En la Universidad San Carlos de Guatemala en 2013 Brenda Monterroso, en su tesis de grado titulada *Evaluación de propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerados elaborados con cascarilla de café (coffea arabica) y colofonia, por el efecto de la carga de compactación y tiempo de prensado*, propone como materia prima la cascara de café. Concluye que está compuesta de bajos porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que se ven afectadas las propiedades mecánicas de los tableros de aglomerados.

En 2012 en la Universidad San Carlos de Guatemala, Tania Santa Cruz en su trabajo de graduación *Evaluación de la utilización de epicarpio de maní (Arachis Hypogaea, C. Linneo) con un ligante polimérico, en la aplicación de especímenes de prueba-Paneles menores-*, se presenta como alternativa de la materia prima la cascara de maní y acetato de polivinilo como ligante, concluyendo que dieron como resultado especímenes con propiedades físicas aceptables.

En 2009, se llevó a cabo una investigación científica titulada *Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano* por: Catalina Álvarez, Ewellyn Capanema, Orlando Rojas y Piedad Gañán; con el objetivo principal de evaluar la influencia que las variables de presión, tiempo y temperatura de procesado y la humedad de la fibra tienen sobre las propiedades mecánicas de los tableros de aglomerados desarrollados

a partir de la biomasa de la vena central de la hoja de plátano, concluyendo que existen mejoras de las propiedades mecánicas a altas temperaturas.

En Guayaquil-Ecuador en 2007, se realizó una tesis de grado presentada por Clotario Tapia, titulado *Elaboración de tableros de partícula fina a partir de residuos lignocelulósicos y resinas termoestables*. La investigación se llevó a cabo con biomasa del bagazo de caña y cascarilla de arroz, centrándose, principalmente, en el método experimental para el desarrollo de los aglomerados y a su vez el aprovechamiento de los desechos agroindustriales para reducir la contaminación, concluyendo la factibilidad técnica de la utilización de los residuos lignocelulósicos estudiados.

En Guatemala en 2005 en la Universidad San Carlos de Guatemala, se presentó la tesis de grado de Sergio Estuardo Sazo, titulado *Implementación del uso de aglomerados de madera, como alternativa en la industria de muebles*. El autor concluyó que utilizando aglomerados de madera podemos contribuir a la preservación de los bosques, pues, la madera que se utiliza para fabricarlos no desperdicia nada de los árboles. Además, el uso de aglomerados de madera aumenta la eficiencia y eficacia en la industria de los muebles.

En la Universidad Austral de Chile en 2003 el doctor en ciencias forestales Miguel Perado Lopez redactó un artículo científico titulado *Inclusión de biomasa forestal en la fabricación de tableros de partículas* en el cual se analizó la factibilidad técnica de utilizar biomasa forestal como materia prima para la fabricación de tableros de partículas para uso en construcción. En la investigación se utilizaron variedades de resinas como, por ejemplo: urea-formaldehído, mezcla condensada de melanina, urea-fenolformaldehído elsocyanato.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El banano

El banano es una de las frutas más conocidas a nivel mundial, no es un árbol sino una hierba alta que puede llegar a crecer aproximadamente hasta 15 metros.

Es una fruta altamente nutritiva de textura blanda, color y olor atractivos, así como, también es rico en minerales como el calcio, magnesio, potasio y contiene bajos niveles de sodio, también ayuda a proveer vitaminas esenciales como la vitamina C, B6, B1, B2.

Tabla I. **Composición nutricional de un banano de 100g.**

Agua	75.1 g
Proteínas	1.2 g
Grasa	0.3 g
Carbohidratos	23.2 g
Energía 95 kcal	403 g

Fuente: Anacafé. *Composición nutricional de un banano.* www.Anacafe.org. Consulta: 22 de mayo de 2019.

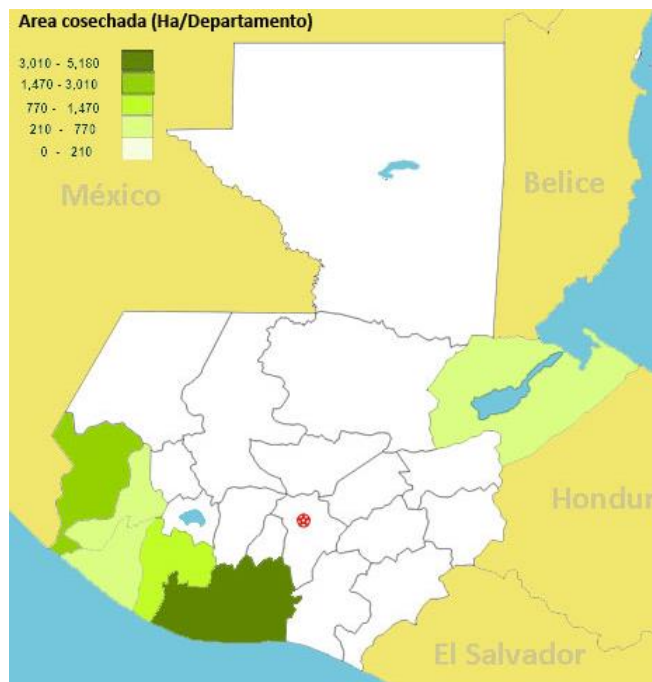
2.1.1. Cultivo del banano en Guatemala

En la actividad de exportación agrícola en Guatemala, el banano constituye el tercer producto de mayor importancia en su contribución a la economía nacional.

La producción bananera en Guatemala desde sus inicios se realizó en la zona norte del país, en el departamento de Izabal, pero debido a la necesidad de la diversificación del producto en la región sur, se ha intensificado el cultivo en los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu, la parte baja de Quetzaltenango y San Marcos y hacia el oriente en la parte baja de Santa Rosa y Jutiapa.

En la figura 1 se observa el mapa de Guatemala ubicando actualmente el área de cosecha se encuentra concentrada en 4 departamentos: Escuintla con un 43,5 %, San Marcos con 24,5 %, Suchitepéquez con 12,4 % e Izabal con un 6,3 %.

Figura 1. **Mapa de la producción de banano en Guatemala**



Fuente: GARCÍA, Ronaldo. *Chicas en departamentos de Guatemala se cultiva el banano*. deguate.com/producción-de-platano-en-guatemala.shtml. Consulta: 26 de mayo de 2019.

2.1.2. Variedades importantes

Las principales variedades de banano se conforman de distintos colores (rojos, marrones, negros, verdes) y tamaños.

Tabla II. **Descripción de variedades importantes de banano en Guatemala**

Variedad	Descripción
Valery	Las plantas de esta variedad alcanzan alturas que oscilan entre 2 y 4.5 metros. Su inflorescencia ya al haber desarrollado sus frutos alcanza una longitud que va de 50 a 150 centímetros.
Gran Nane	Esta variedad presenta un sistema radicular fibroso, grueso y succulento, alcanzando un largo de 50 a 150 centímetros. El pseudo tallo alcanza un grosor de 30 a 70 centímetros siendo de un color café oscuro. La altura de las plantas de esta variedad oscila entre 1.50 a 2.50 metros.
Williams´s	Presenta un sistema radicular similar al Gran Nane, siendo una variedad de porte pequeño; alcanzando una longitud de inflorescencia de 75 a 150 centímetros. El pseudotallo alcanza una altura que oscila entre los 1.50 a 2.00 metros. El diámetro es de 35 a 50 centímetros, siendo de un color verde.

Fuente: Anacafé. Composición nutricional de un banano. www.Anacafe.org. Consulta: 26 de mayo de 2019.

2.1.3. Condiciones agroecológicas para el cultivo del banano

Requerimientos climáticos y edáficos:

- Altitud: 0 a 1 000 metros sobre el nivel del mar.
- Temperatura: 21 – 30 grados centígrados, con una mínima absoluta de 15,6 grados centígrados y una máxima de 37,8 grados centígrados.
- Latitud: 15 grados latitud norte y 15 grados latitud sur.

- Pluviosidad: suministrar 100 a 180 milímetros de agua.
- Luminosidad: 1 500 horas de luz por año, con promedio de 4 horas de luz al día.
- Vientos: menores a los 20 a 30 kilómetros por hora.
- Suelo y topografía: el banano se desarrolla en un alto rango de suelos, siendo los óptimos los que presentan una textura que va de franca, franca arenosa y ligeramente arcillosa, con profundidades que van de 0 a 1,20 metros con un pH de 5,50 a 8,00 con una topografía plana y con pendientes no mayores al 2 %, que presenten un buen drenaje natural y un contenido de materia orgánica mayor del 2 %. Los rendimientos pueden deprimirse en suelos con alta concentración de arcilla o con una capa compacta o pedregosa de 40 a 80 centímetros de profundidad. El mal drenaje puede ser un problema en estas condiciones.

2.2. Palma africana

Elaeis guineensis, comúnmente llamada palma africana de aceite y palma aceitera, es una especie del género *Elaeis*.

2.2.1. Características

Es una planta perenne, que vive más de 100 años, pero para el cultivo solo se le permite llegar hasta los 25 años, que es cuando alcanza una altura promedio de 12 metros. En un estado natural podría llegar hasta una altura de 40 metros.

Poseer un tronco alto igual que todas las especies en su género. La inflorescencia se produce en las axilas de las hojas, estas son grandes y de tipo pinnado compuesto, con folíolos que parten desde el raquis sobre dos planos regulares. Los folíolos son lanceolados.

2.2.2. Condiciones agroecológicas para el cultivo de palma africana

Requerimientos climáticos y edáficos

- Altitud: por debajo de 500 metros sobre el nivel del mar
- Región: tropical calurosa (selva húmeda) o regiones pantanosas

2.2.3. Cultivo de palma africana en Guatemala

En Guatemala, la palma de aceite inició en la década de 1970 con el objetivo de buscar opciones alternas que sustituyeran al cultivo del café debido a la crisis que se vivía en el gremio en esa época. Se iniciaron pruebas piloto en el sur con plantaciones y una planta de beneficio; lo que sirvió para iniciar investigaciones sobre el cultivo de la palma de aceite en latitudes similares a la franja ecuatorial.

Posteriormente, en la década de 1980, dos empresas iniciaron plantaciones en Tecún Umán, Petén, y La Gomera, Escuintla, en suelos que originalmente eran dedicados a la ganadería y el cultivo de algodón y banano. Desde entonces, la palma de aceite se estableció en tres zonas principales: la sur (San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla), nororiente (Izabal y Alta Verapaz; específicamente en los valles de los ríos

Motagua y Polochic) y norte (sur de Petén, norte de Alta Verapaz y nororiente de Quiché).

El cultivo de palma de aceite en Guatemala representa el 4 % del total del área agrícola cultivable en el país, es decir, 150 000 hectáreas. El rendimiento nacional promedio es de alrededor 7 toneladas métricas por hectárea de aceite crudo de palma superando el promedio mundial que está en 4 toneladas métricas por hectárea, como resultado de las buenas prácticas agrícolas que permiten ser más eficiente por hectárea y están orientadas a la sostenibilidad del cultivo.

Figura 2. **Mapa de plantación de palma africana en Guatemala**



Fuente: GREPALMA. *I Anuario estadístico 2016-2017*. grepalma.org. Consulta : 29 de mayo de 2019.

2.2.4. Desecho de la palma africana

La fibra y el cuesco de la palma africana son materiales denominados como desechos, que actualmente son causales de contaminación ambiental debido a la falencia de alternativas que conlleven al aprovechamiento en procesamientos industriales.

Inicialmente estos residuos eran tirados en la margen de las fuentes hídricas cercanas generando focos de procreación de insectos además de aumentar la cantidad de sólidos disueltos que dificultan la fotosíntesis y la vida acuática en especies como los peces. Teniendo en cuenta la dureza del cuesco se utilizó como sub base granular en las vías de acceso a las plantaciones. De acuerdo con los estudios realizados con cascarilla de arroz, la fibra y el cuesco de palma han sido utilizados como combustible en las calderas para aprovechar su poder calorífico en la producción de vapor de agua.

Las cenizas resultantes son apiladas en montañas cerca de las calderas, como consecuencia la salud de trabajadores se ve alterada con enfermedades en la piel y molestias en los ojos, además de causar molestias respiratorias y malos olores como producto de la descomposición de los compuestos orgánicos. A nivel internacional esta ceniza ha sido analizada mecánicamente con resultados óptimos en la resistencia a la compresión con adiciones hasta del 10 % de ceniza.

2.2.5. Impactos ecológicos y sociales de las plantaciones de la palma africana en Guatemala

A pesar de violaciones a los derechos humanos y de los daños ecológicos ocasionados por las plantaciones de palma, en Guatemala aún no se ha

posicionado el tema en el espacio y debate público nacional. Los impactos actuales generados son: pérdida de tierras para la agricultura, compras forzadas de tierras, desplazamientos y migraciones forzadas las cuales llegan hacia las áreas protegidas, en algunos casos las comunidades son señaladas de invasoras y de destruir el patrimonio natural, pero nunca se mencionan las causas y el origen de estos hechos.

A esto se suma el uso abusivo de las fuentes de agua, la competencia por el agua entre las grandes extensiones de palma africana y caña de azúcar con las comunidades rurales.

Para la producción de aceites y azúcar, en muchos lugares ya se han destruido bosques y ecosistemas naturales transformándolos en monocultivos, lo que trae un fuerte impacto en la naturaleza, la conectividad de los ecosistemas y la gente.

2.3. Biomasa lignocelulósica

Se puede definir a la biomasa como un conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal o animal.

Existen tres grupos principales de biomasa que son:

- Biomasa natural: la que se produce en la naturaleza sin intervención humana, por ejemplo, bosques, árboles, matorrales.
- Biomasa procedente de cultivos energéticos: son campos de cultivo donde se produce un tipo de especie con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

- Biomasa residual: es aquella generada debido a la actividad humana, abarcando a los residuos agrícolas, forestales, los procedentes de industrias ya sean agrícolas o forestales y biodegradables.

2.3.1. Componentes de material lignocelulósico

La lignocelulosa se refiere a la materia seca vegetal (biomasa), denominada biomasa lignocelulósica. Es la materia prima más abundante en la tierra para la producción de biocombustibles. Está compuesto de polímeros de carbohidratos (celulosa, hemicelulosa) y un polímero aromático (lignina). Estos polímeros de carbohidratos contienen diferentes monómeros de azúcar (seis y cinco azúcares de carbono) y están estrechamente unidos a la lignina.

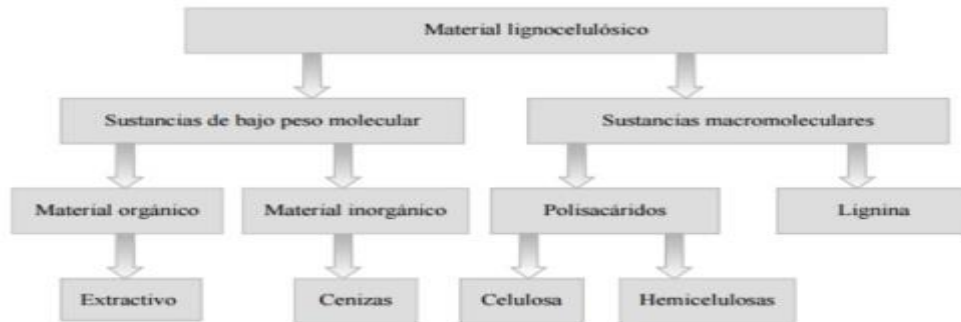
La biomasa lignocelulósica puede clasificarse ampliamente en biomasa virgen, biomasa residual y cultivos energéticos. La biomasa virgen incluye todas las plantas terrestres naturales tales como árboles, arbustos y hierba. La biomasa residual se produce como subproducto de bajo valor de diversos sectores industriales como la agricultura (hojarasca de maíz, bagazo de caña de azúcar, paja) y silvicultura (serrería y desechos de papelera).

La composición del material lignocelulósico y sus conceptos según Tim Rogalinski, Thomas Ingram y Gerd Brunner, es de la siguiente manera:

- Celulosa: 34-50 %
- Hemicelulosa: 19-34 %
- Lignina: 11-30 %

Por lo que la planta está compuesta por diferentes capas que se diferencian de acuerdo con su estructura y composición química.

Figura 3. **Esquema general de componentes químicos del material lignocelulósico**



Fuente: GELLERSTEDT, Göran. *Lignin depolymerization/repolymerization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion.*

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852406005724>. Consulta: 2 de abril de 2019.

Los tres constituyentes principales del material lignocelulósico son susceptibles de separación. Estos componentes por sí solos o mediante sus derivados permiten obtener productos de mayor valor añadido.

De la celulosa se pueden derivar polímeros celulósicos, que son de utilidad para la fabricación de papel y otros, además es susceptible de hidrolizarse hasta sus monómeros constituyentes para obtener medios fermentables que posteriormente se pueden utilizar para la elaboración de biocombustibles.

De las hemicelulosas y sus azúcares monoméricos derivados (pentosas) se pueden obtener también medios fermentables, pero en este caso existe mayor cantidad de monómeros y oligómeros, por lo que pueden obtenerse productos como el xilitol, el ácido acético y el furfural.

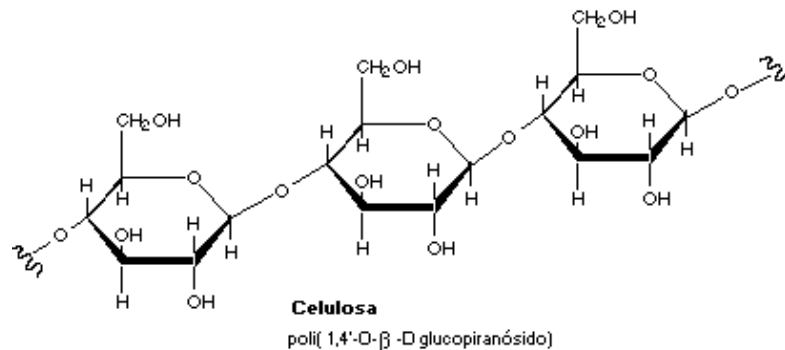
Para el caso de la lignina uno de sus usos es como combustible que se aplica en el sector de la pasta celulósica, el papel y que supone una valorización energética de la fracción residual.

2.3.1.1. Celulosa

La celulosa es el componente principal de los tejidos vegetales, constituyendo la base estructural de los mismos, y esta estructura se forma a partir de átomos de carbono C, hidrógeno H y oxígeno O.

Su fórmula química es $(C_6H_{10}O_5)_n$, siendo un homopolímero lineal constituido por unidades de β - glucosa, unidos mediante enlaces β - 1, 4- glucosídicos. La cadena de celulosa es alargada y las unidades de glucosa están dispuestas en un solo plano debido a la presencia del anillo glicosídico, unidas por puentes de hidrógeno y fuerzas de van der Waals intramoleculares.

Figura 4. Estructura de la cadena celulosa



Fuente: Carbohidratos. *Polisacáridos*.

<https://biologiamariuxia.wikispaces.com/Celulosa+y+Quitina>. Consulta: 2 de abril de 2019.

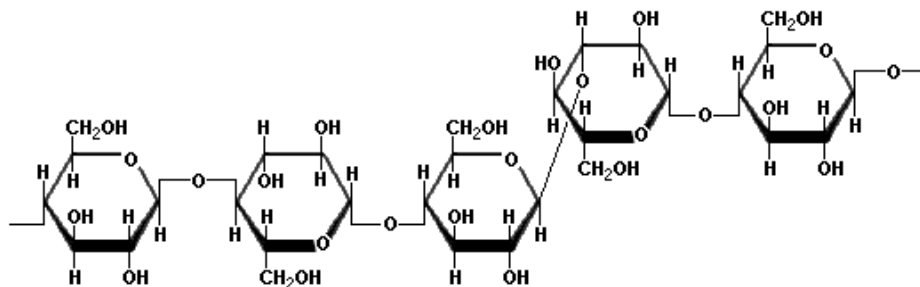
Los extremos del polímero son asimétricos, los que contienen el carbón anomérico (C1) libre de la molécula de glucosa pueden reducir a un gran número de oxidantes por lo que se conocen como extremos reductores, mientras que el C4 con un radical hidroxilo libre es el extremo no reductor.

La estructura tridimensional que forman las moléculas de glucosa forma una estructura conocida como protofibrilla, esta a su vez se asocia con otras protofibrillas para convertirse en la fibrilla de celulosa. Finalmente, las fibrillas se asocian entre ellas para formar las fibras de celulosa que se entrelazan mediante interacciones no covalentes con la hemicelulosa y lignina.

2.3.1.2. Hemicelulosa

La hemicelulosa es un heteropolisacárido que recubre las fibras de celulosa y permite el enlace de pectina, se diferencia de la celulosa en su estructura, ya que esta no es homogénea y los diferentes azúcares se encuentran formando cadenas más cortas y con ramificaciones. Su estructura está formada con átomos de carbono C, hidrógeno H y oxígeno O.

Figura 5. Estructura de la cadena de hemicelulosa



Fuente: Scientific Psychic. *Carbohidratos o Glúcidos - Estructura química.*

<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html>. Consulta: 2 de abril de 2019.

Está formada de pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, galactosa y manosa) y compuestos fenólicos (como el ácido ferúlico y p-cumárico).

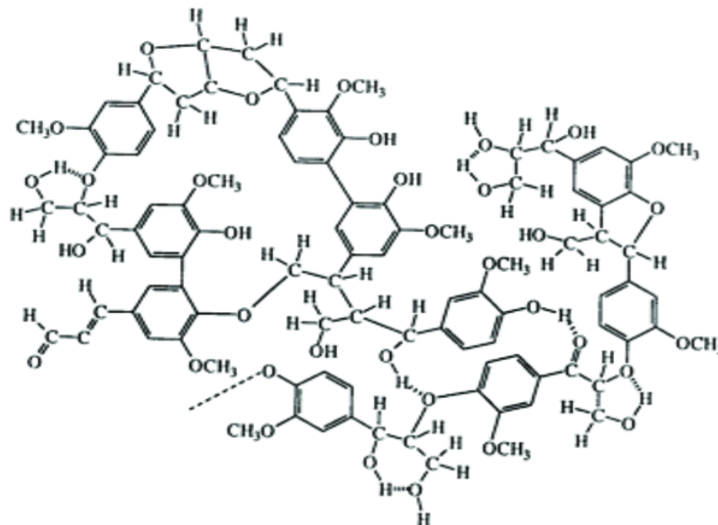
Las hemicelulosas son dispersas lo que significa que tienen un grado de polimerización variable, su estabilidad térmica y química es generalmente inferior a la de la celulosa, siendo soluble en álcalis y fácilmente hidrolizada por ácidos.

2.3.1.3. Lignina

Es el segundo polímero más abundante de la naturaleza después de la celulosa, su función en el ámbito estructural es mantener unidos la celulosa y las hemicelulosas entre sí. Además de brindar dureza a las paredes celulares, en conjunto sirven como soporte mecánico para construir el tallo y rama.

Su estructura es compleja, siendo un polímero amorfo ramificado y heterogéneo formado por átomos de carbono C, hidrógeno H y oxígeno O y unidades de fenilpropano (p-coumaril, coniferil and alcohol sinapílico) unidos por diferentes tipos de enlaces inter unitarios que incluyen varios enlaces éter (C-O-C) y de carbono-carbono (C-C) aleatoriamente distribuidos.

Figura 6. **Estructura de la cadena de lignina**



Fuente: ResearchGate. *Estructura molecular generalizada de la lignina.*

https://www.researchgate.net/figure/Figura-N26-Estructura-molecular-generalizada-de-la-lignina-33_fig6_317341876. Consulta: 2 de abril de 2019.

2.4. **Aglomerados**

Los aglomerados son los que están compuestos con partículas de diferentes tamaños, unidas entre sí por algún tipo de pegamento o resina a la que posteriormente se lo somete a una presión y temperatura controlada con el objetivo que todas las partículas se unan para formar una sola pieza o tabla.

Los aglomerados más comunes están hechos a base de viruta de restos de madera de aserrín y otros desperdicios, esto hace que el impacto en el ambiente se reduzca considerablemente, evitando más tala de árboles para cubrir las necesidades de las personas y eliminando los desperdicios descompuestos que producen CO₂.

2.4.1. Tipos de aglomerados

- Tablero aglomerado ubérico: obtenido de prensar partículas de madera impregnadas de resina adhesiva (urea-formaldehído). Consta de 3 capas; 2 delgadas exteriores con partículas finas y una central con partículas mayores.
- Tablero enchapado: es un tablero que se le adhiere en su cara (vista y trasvista) una chapa de madera natural. Esta chapa permite que se le dé un acabado de madera sólida.
- Tablero melamínico: son tableros aglomerados de partículas, recubiertos en ambas caras por papel melamínico. Laminado bajo temperatura y presión controladas.
- MDF: son realizados de fibras de madera aglutinadas con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media.
- Tablero aglomerado MUF: tablero fabricado con pequeñas virutas de madera encoladas a presión con resina (melamínica) resistente a la humedad y a exteriores.
- Cartón piedra: es un tablero de fibras lignocelulosas entrelazadas. Las fibras se procesan en una operación de pulpeo termo-mecánico, formación y compactación en caliente y alta presión.

2.4.2. Proceso de fabricación de aglomerados de madera

Se utiliza como materia prima madera, pero con el objetivo de reducir el impacto ambiental se empezó a utilizar los desperdicios de las tallas de árboles, desperdicios de carpinterías como por ejemplo aserrines y virutas, así como, también se utilizan pellets y restos de aglomerados desperdiciados.

El primer paso es la limpieza de la materia prima, ya sea de los troncos de la madera o los desperdicios de ella, cortando la corteza de los troncos en máquinas llamadas peladoras o descortezadoras, esto debido a que la corteza no es recomendable para los tableros ya que puede alterar la calidad del tablero.

Luego se procede el astillado, en el que una máquina convierte la materia prima en trozo muy con rapidez, posteriormente la materia se dirige a un sistema de limpieza que se compone en una serie de cribas, las cuales separan la madera, arena, metales.

Realizada la limpieza se procede al virutado, en donde los trozos de madera pasan por un molino (debidamente calibrado) para obtener el tamaño requerido en la fabricación del tablero. Luego la materia se dirige al proceso de secado en donde con una fuerte corriente de aire (generada por ventiladores), dentro de un tambor giratorio se le aplica una temperatura de 110 grados centígrados de salida, por medio de un quemador.

Proceso de encolado, una vez se termina el proceso de secado el material es impregnado y mezclado con el tipo de resina por utilizar para el aglomerado. Se pasa al proceso de la formación de la manta del tablero (enchaquetado), depositando un aserrín más fino en las caras frontal y posterior mientras que un

aserrín grueso para la parte media del tablero; la manta se dirige a una máquina de preprensado en frío, con presión inferior a la del prensado.

A continuación, la manta se dirige la sección de prensado, en donde se le aplica una presión progresiva hasta alcanzar el calibre que se requiere o necesita. Al mismo tiempo se le aplica calor un el que la resina o cola reacciona y endurece logrando una mayor compactación de la manta y se deja enfriar durante un tiempo. Por último, el manto se lleva al lugar en donde se recorta para obtener los tableros de las dimensiones requeridas.

2.5. Parámetros físicos evaluados en los aglomerados

Los parámetros y propiedades físicoquímicas evaluados implican la medición de la densidad, hinchazón y absorción por agua.

2.5.1. Densidad

La densidad está definida como la relación que existe entre la masa de un material y su volumen. Los sólidos poseen dos tipos de densidades.

La densidad real es un valor intrínseco en donde el sólido no tiene huecos y la densidad aparente, es cuando se toman en cuenta al sólido y a las cavidades que lo rodean al almacenarse. Esta última depende de la densidad real, la forma, tamaño, y de la compactación que tiene el sólido.

2.5.2. Hinchazón y absorción por agua

Es la propiedad que advierte un cambio de volumen debido al contenido de humedad. Esto se produce cuando se sumerge un sólido dentro de un

líquido y este se absorbe hasta saturar el material, el cual puede seguir absorbiendo agua sin embargo no aumentará más su volumen.

2.6. Parámetros mecánicos evaluados en los aglomerados

Los parámetros y propiedades mecánicas evaluados en los aglomerados consisten en la tensión paralela a la superficie y esfuerzo máximo en flexión.

2.6.1. Tensión paralela a la superficie

Es la tensión máxima que resiste un material al aplicar fuerza en ambos lados, con el ensayo se mide la deformación del material hasta que alcanza el límite de deformación elástica en donde se altera permanentemente o se fragmenta.

2.6.2. Esfuerzo máximo en flexión

Al aplicar fuerzas perpendiculares a lo largo del material en reposo este tiende a doblarse en el mismo sentido, por lo que se encuentra en flexión.

Con este ensayo se determina la resistencia del material al ser sometido a fuerzas perpendiculares que tiendan a doblarlo cuando se aplican.

2.7. Aglomerantes o resinas

El aglomerante es un material de fácil adherencia para alcanzar una resistencia mecánica considerable.

2.7.1. Cola blanca (Resistol 850)/ ficha técnica²

Pegamento líquido color blanco lechoso, polímero base agua de poliacetato de vinilo.

Beneficios:

- Gran fuerza de pegado
- Viscosidad ideal para penetrar diversos tipos de materiales
- Secado transparente
- No tóxico

Aplicaciones:

- Ensamblar maderas blandas como pino, duras como caoba, encino, roble o maple y sintéticas como MDF o Triplay.
- También se recomienda para realizar artesanías de papel, cartón, cerámica, tela, y otros.

Información técnica:

- Contenidos de sólidos: 54,5 – 55 %
- Viscosidad: 1 600 – 2 200 centipoise
- Temperatura de aplicación: 10-40 grados centígrados
- Pintable: número.

² LÓPEZ, F.; *et al.* *Biorrefinería de materiales lignocelulósicos.* <https://core.ac.uk/download/pdf/60645365.pdf>. Consulta: junio de 2019.

2.7.2. Cola exteriores (Grip Bond 3)/ ficha técnica³

Resina amarilla de acetato de polivinilo modificado con resinas alifáticas cuya adhesión es más fuerte que la madera misma, penetran y unen la madera en trabajos de carpintería. De secado rápido que reduce el tiempo de prensado.

- Beneficios
 - Lavable con agua
 - Secado rápido
 - No se engoma al ser lijado
 - No tóxico

- Aplicaciones
 - Pegamento especial para carpintería, lijable y pintable
 - Excelente para pegar laminados a cualquier superficie de madera
 - Adhiere superficies porosas y no porosas
 - Multiusos

- Información técnica
 - Contenidos de sólidos: 48– 49 %
 - Viscosidad: 4 000 – 5 000 centipoise
 - Tiempo de secado: 30 minutos
 - Pintable: Si

³ FENGEL, Dietrich y WEGENER, Gerd. *Wood:Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. p. 135.

2.7.3. Almidón

Un almidón es un polisacárido que se encuentra en las plantas en forma de reserva alimenticia, este se encuentra constituido por amilosa y amilopectina.

Los seres humanos al consumir dichas plantas adquieren las propiedades de estos, por lo tanto, los almidones como la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual, proporcionando así entre el 70 y 80 % de las calorías consumidas y necesarias por los seres humanos.

Los almidones no solo se originan en las plantas, también pueden ser elaborados de manera artificial y hay algunos alimentos que tienen estos como base.

2.7.3.1. Tipos de almidones

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente del maíz, el trigo, del arroz y de algunas raíces y tubérculos como de la papa o mandioca.

- Fécula de maíz

Uno de los almidones más conocidos es la fécula de maíz, esta proviene de los cereales, granos y harinas. La fécula de maíz es conocida como harina fina de maíz, almidón de maíz o maicena.

La fécula de maíz es un alimento rico en carbohidratos, se presenta en forma de pequeños gránulos, los cuales son relativamente densos e insolubles y sólo se hidratan de manera adecuada en agua muy fría.

La maicena puede ser dispersada en agua, dando lugar así a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, actuando como agentes espesante en salsas y en la elaboración de gomas comestibles.

- Características de la fécula de maíz
 - Gelatinización: durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, la gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan.
 - Retrogradación: se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos.
 - Gelificación: cuenta con excelente gelificación debido a que tiene una baja viscosidad y es opaca.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables, según los antecedentes de la investigación son:

Tabla III. **Variables independientes del estudio**

Variables	Descripción	Dimensionales
Materia prima	Proporción de la materia prima	(% masa)
Tipo de resina	Cola blanca, cola para exterior y almidón.	-----

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Variables dependientes del estudio**

Variables	Descripción	Dimensionales
Densidad normal	Masa del material en relación con su volumen	Densidad (g/cm ³)
Hinchazón en espesor	Modificación del volumen al sumergirse en agua	Hinchazón (%)
Absorción de humedad	Porcentaje de agua que absorbe el material	Absorción (%)
Tensión paralela a la superficie	Carga máxima que soporta la superficie al aplicar fuerza en ambos lados	Tensión paralela (Kg/cm ²)
Esfuerzo máximo de flexión	Esfuerzo máximo del material al ser sometido a flexión	Esfuerzo de flexión (Kg/cm ²)
Lignocelulosa	Proporción de lignocelulosa en tallo de banano y palma africana	Lignocelulosa (%)

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

Este estudio de investigación se centra en la reducción y aprovechamiento de los desechos agroindustriales, específicamente el tallo del banano y tallo de la palma africana con el objetivo de reducir la contaminación y fabricar productos con valor agregado.

3.2.1. Recursos físicos disponibles

- Sección de Tecnología de la Madera de Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, USAC.
- Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos LAFIQ. Sección Química industrial. Facultad de Ingeniería, USAC.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Astrid Liseth Veliz Pérez
- Asesor de la investigación: Ing. Qco. Mauricio Valentino Rivera Tello
- Co-asesora: Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos que se necesitan para llevar a cabo la investigación se clasifican en: materia prima, materiales y reactivos, cristalería e instrumentación y equipo.

- Materia prima

La materia prima que se necesita es el tallo del banano y el tallo de la palma africana proporcionados por el Ing. Gustavo Pineda.

- Materiales y reactivos

El reactivo necesario por utilizar es la resina por aplicar en la elaboración del aglomerado.

- Equipo

El equipo por utilizar para la fabricar de las planchas a base del aglomerado, así como, para evaluar las propiedades físico-mecánicas.

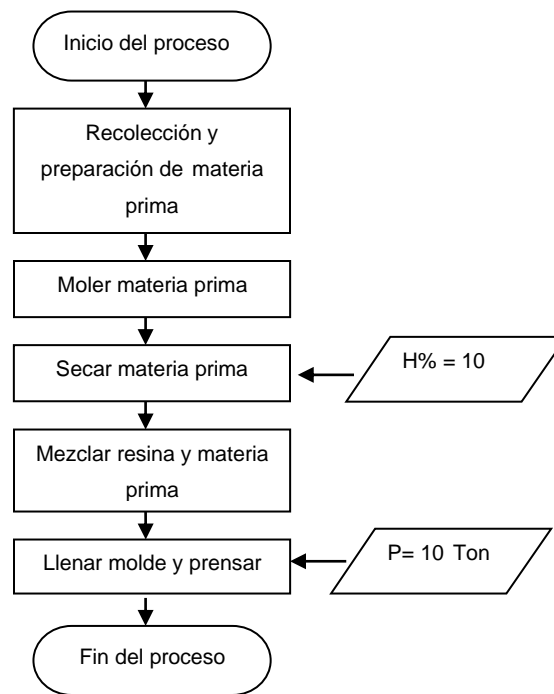
- Balanza analítica RADWANG, WLY 2/2D, d=0.01 g
- Balanza de humedad RADWAND, MAX 50/NH, d= 1mg
- Molde de metal de 31x31x4 cm
- Molino de martillo 220V
- Prensa hidráulica con capacidad de 50 toneladas Shop press.
- Horno de convección forzada THERMOLYNE OVEN, 220V

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

El estudio de investigación se basado en una técnica cuantitativa para la medición de las variables independientes y dependientes. Para determinar el contenido químico de lignocelulosa en la materia prima se utilizará el método descrito en la Norma ASTM D 1106-96.

Para evaluar las propiedades físico-mecánicas de los tableros de aglomerados se cuantificará las variables: densidad, hinchazón, absorción del agua, tensión paralela a la superficie y esfuerzo máximo de flexión y se utilizaran los métodos descrito en la Norma ASTM 1037-91.

Figura 7. **Diagrama del proceso para la elaboración del tablero aglomerado de tallo de banano y tallo de palma africana**



Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Método de ensayo para lignina insoluble en ácido en la madera (ASTM D 1106-96)

Como primer paso se seca la materia prima durante aproximada mente 2 horas en un horno a 100-105 grados centígrados hasta que el peso sea constante y medir el porcentaje de humedad. Realizar una extracción con

tolueno- alcohol al 95 % por 4 horas luego para remover el solvente (tolueno) lavar con 50 mililitros de etanol, remover el exceso de etanol con 400 mililitros de agua caliente transferida a un *beacker* aproximadamente durante 3 horas. Filtrar y lavar con 100 mililitros de agua caliente y secar al aire libre.

Posteriormente pasar la materia prima a un recipiente con tapadera y agregar lentamente H₂SO₄ (72 %) a una temperatura de (12-15) grados centígrados y agitar lentamente durante 1 minuto y dejar reposar durante 2 horas a una temperatura de (18-20) grados centígrados.

Puede que sea necesario un baño de agua fría para mantener esa temperatura, diluir la concentración hasta 3 % de H₂SO₄ agregando 560 mililitros de agua destilada y hervir durante 4 horas.

Después de dejar que el material insoluble se asiente, filtrar el contenido y pesar, lavar el residuo con agua caliente y secar en el horno por 2 horas, dejar enfriar y pesar hasta que sea constante el contenido (lignina).

3.5.2. Densidad del tablero (ASTM D 1037-91)

La densidad (Dh) es el coeficiente de la masa (mh) y el volumen de la probeta (vh) al contenido de humedad en equilibrio que se presenta al momento del ensayo. Se expresa en g/cm³.

$$Dh = mh/vh \quad \left(\frac{g}{cm^3}\right)$$

[Ecuación No. 1]

La masa se determina con una balanza, y el volumen por método estereométrico, con cinta métrica y vernier.

3.5.3. Absorción de humedad (ASTM S 1037-91)

La absorción de humedad se evalúa en periodos de 2 horas y 24 horas de inmersión en agua. Para ello, las probetas se pesan inicialmente a las condiciones normales de equilibrio (P_i), posteriormente, se introducen en agua durante los periodos indicados, al término de cada uno se vuelven a pesar para registrar su peso final (P_f), y aplicar la ecuación:

$$A = \left(\frac{(P_f - P_i)}{P_i} \right) * 100 \quad (\%)$$

[Ecuación No. 2]

Donde:

A = absorción de humedad, en % del peso inicial

P_f = peso final en gramos

P_i = peso inicial en gramos

3.5.4. Hinchamiento en espesor (ASTM D 1037-91)

El hinchamiento corresponde a la diferencia entre el espesor de la probeta húmeda (E_f) y el espesor de la probeta inicial (E_i). De expresa el porcentaje del espesor inicial aplicando la ecuación:

$$\alpha = \left(\frac{(E_f - E_i)}{E_i} \right) * 100 \quad (\%)$$

Ecuación No. 3]

Donde:

α = hinchamiento en espesor, en %

E_f = espesor final en mm

E_i = espesor inicial en mm

3.5.5. Tensión paralela a la superficie (ASTM D 1037-91)

La tracción paralela al plano (ET) del tablero es el cociente entre la carga máxima soportada (P_{max}) y la superficie de la probeta (A).

$$ET = \frac{P_{max}}{A} \quad \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

[Ecuación No. 4]

Donde:

ET = esfuerzo máximo a tracción paralela (kg/cm^2)

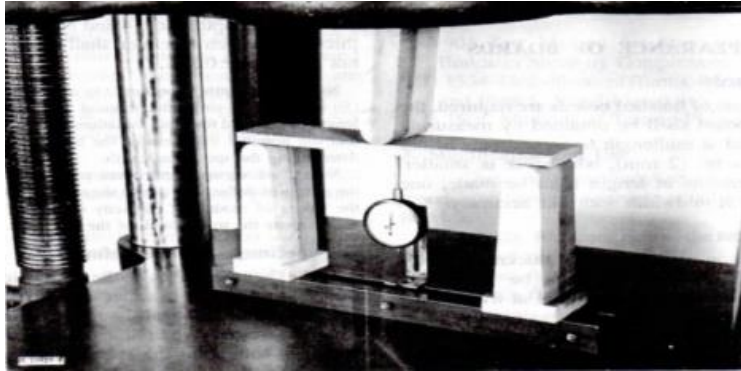
P_{max} = carga máxima soportada a tracción por la probeta (kg)

A = área de la probeta (cm^2)

3.5.6. Ensayo de flexión estática (ASTM D 1037-91)

El ensayo de esta propiedad consiste en la aplicación de una carga a un tablero que se ubica sobre dos apoyos, se orienta de tal forma que los planos del tablero, caras, quedan perpendiculares a la fuerza recibida. Como se observa en la figura siguiente.

Figura 8. Esquema del ensayo de flexión estática



Fuente: American Society of Testing Materials. Norma ASTM D 1037-99: *Ensayo de adherencia interna de placas de fibra y adhesivos para madera*. <https://www.instron.es/testing-solutions/by-material/wood/tension/astm-d1037>. Consulta: 2 de abril de 2019.

Y se determina con la siguiente ecuación:

$$MOR = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{P_{max} * Ld}{a * e^2}\right) \quad \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$$

[Ecuación No. 5]

Donde:

MOR = módulo de ruptura (kg/cm²)

a = ancho efectivo de la probeta (cm)

P_{max} = carga máxima al producirse la ruptura (Kg)

Ld = distancia entre soportes (cm)

e = espesor de la probeta (cm)

3.6. Análisis estadístico

Para analizar los resultados, se evaluarán estadísticamente las variaciones entre las corridas y entre cada tratamiento, para determinar si existe una variación significativa entre el grupo de datos. Dentro de los análisis realizados se encuentra la media aritmética, desviación estándar y el análisis de varianza (ANOVA).

Se realizará un diseño experimental factorial completamente al azar variando dos materias primas, tres proporciones de aglomerante y tres resinas diferentes, realizando dos repeticiones haciendo un total de 36 tableros aglomerados.

3.6.1. Media aritmética

Para evaluar las propiedades físico-mecánicas de los aglomerados de cada uno de los tratamientos y obtener un resultado promedio del número de corridas.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

[Ecuación No. 6]

Donde:

\bar{X} = media aritmética

X_i = valor de cada una de las corridas

N = número total de las corridas por tratamiento

3.6.2. Desviación estándar

Para evaluar las propiedades físico-mecánicas de los aglomerados de cada uno de los tratamientos y obtener un intervalo de confianza para el error en los resultados.

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

[Ecuación No. 7]

Donde:

\bar{S} = desviación estándar

\bar{X} = media aritmética

X_i = valor de cada una de las corridas

N = número total de las corridas por tratamiento

3.6.3. Análisis de varianza (ANOVA) por un factor

Para determinar si existe un efecto significativo en las propiedades físico-mecánicas al variar el porcentaje de aglomerante, carga de compactación y tiempo de prensado. Planteando las hipótesis nulas (H_0) y las hipótesis alternativas (H_1) con un 95 % de confianza y 5 % de significancia.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_i = \dots$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_i \neq \dots$$

Tabla V. **Cálculo de análisis de varianza de un factor con igualdad de observaciones**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada
Tratamientos	SSA	k-1	$S_1^2 = \frac{SSA}{(k-1)}$	$F = \frac{S_1^2}{S^2}$
Error	SSE	k(n-1)	$S^2 = \frac{SSE}{k(n-1)}$	
Total	SST	nk-1		

Fuente: elaboración propia.

Donde:

$$SST = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^n Y^2_{ij} - \frac{T^2}{nK}$$

$$SSA = \frac{\sum_{i=1}^K T_i^2}{n} - \frac{T^2}{nK}$$

$$SSE = SST - SSA$$

Donde:

T= total de valores al cuadrado

K= número de tratamientos

n= número de muestras

Si en Excel la probabilidad es mayor a 0,05 se acepta H₁.

3.7. Plan de análisis de los resultados

Para la organizaron y tabulación de datos, se requirió programa de computadora para una mejor comprensión de los resultados .

3.7.1. Programas por utilizar para análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizará el programa Microsoft Office Excel 2010, 64 bits. Parte de Microsoft Office Hogar y Estudiantes. © 2010 Microsoft Corporation. *All rights reserved.*

4. RESULTADOS

4.1. La composición química de la materia prima

Este apartado refiere a la caracterización del tallo del banano y tallo de palma africana cuantificando porcentaje de lignina, celulosa, agua, ceniza y porcentaje de extraíbles.

Tabla VI. **Composición química del tallo del banano**

Parámetro	Composición (%)
Humedad	93,05
Celulosa	47,89
Ceniza	0,59
Extraíbles	29,67
Lignina	22,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Composición química del tallo de palma africana**

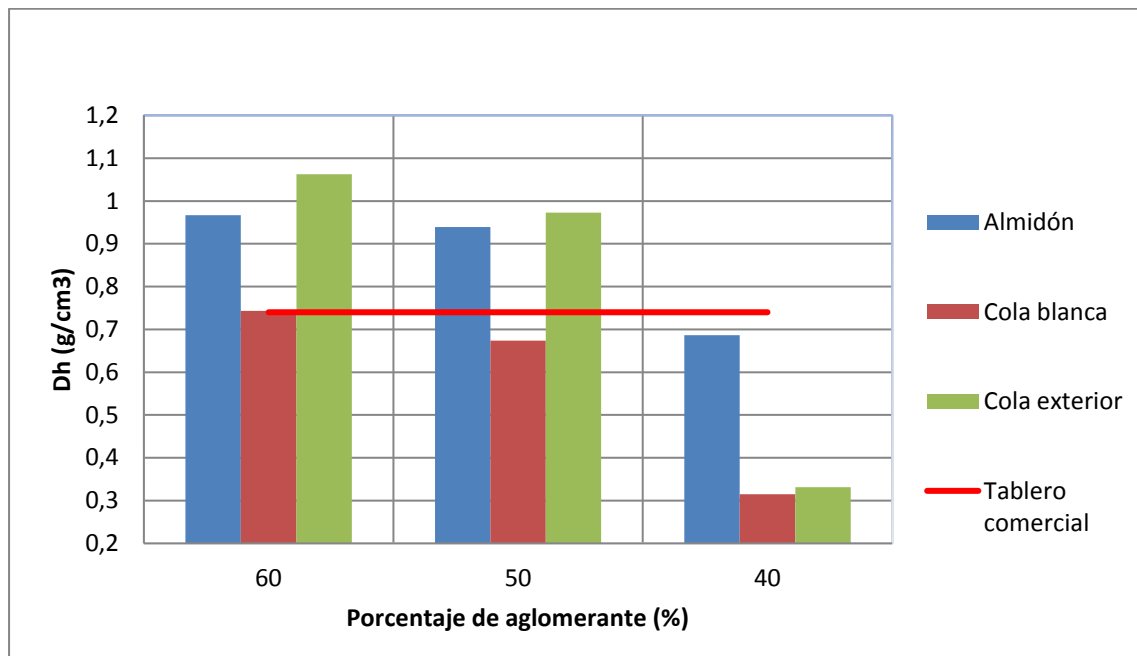
Parámetro	Composición (%)
Humedad	81,65
Celulosa	54,89
Ceniza	0,81
Extraíbles	11,99
Lignina	15,56

Fuente: elaboración propia.

4.2. Propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados

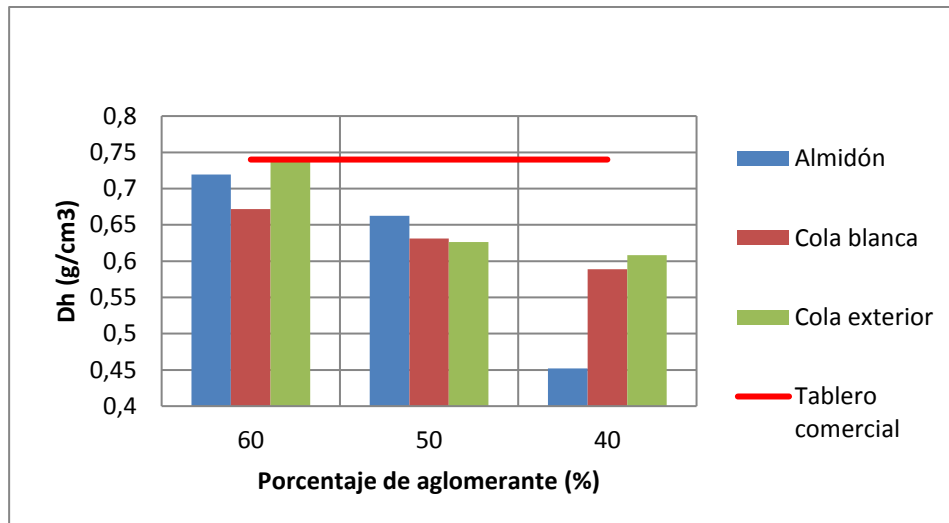
Este apartado refiere a la variación en las propiedades físicas como densidad, absorción de agua e hinchamiento en espesor, así como las propiedades mecánicas como tensión paralela a la superficie y flexión estática de los tableros, al cambiar las proporciones de 60, 50 y 40 % de aglomerante y una presión constante determinada experimentalmente de 10 toneladas, y los cuales se compararon con valores de un tablero comercial.

Figura 9. **Densidad de los tableros aglomerados de tallo de banano en función de la proporción de aglomerante**



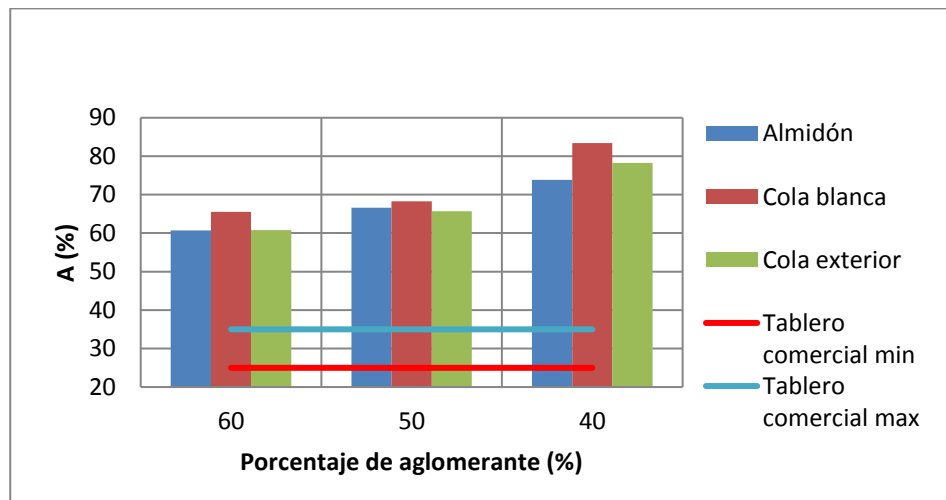
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Densidad de los tableros aglomerados de tallo de palma africana en función de proporción de la aglomerante**



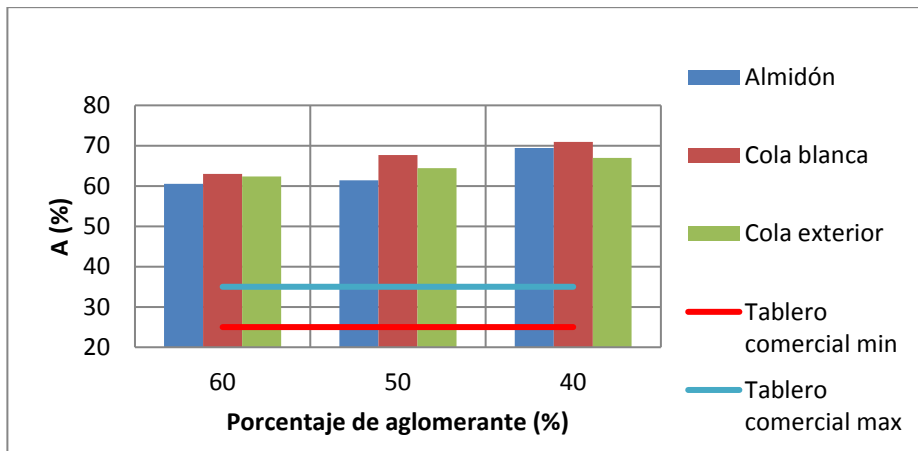
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Absorción de agua de los tableros aglomerados de tallo de banano en función de la proporción de aglomerante**



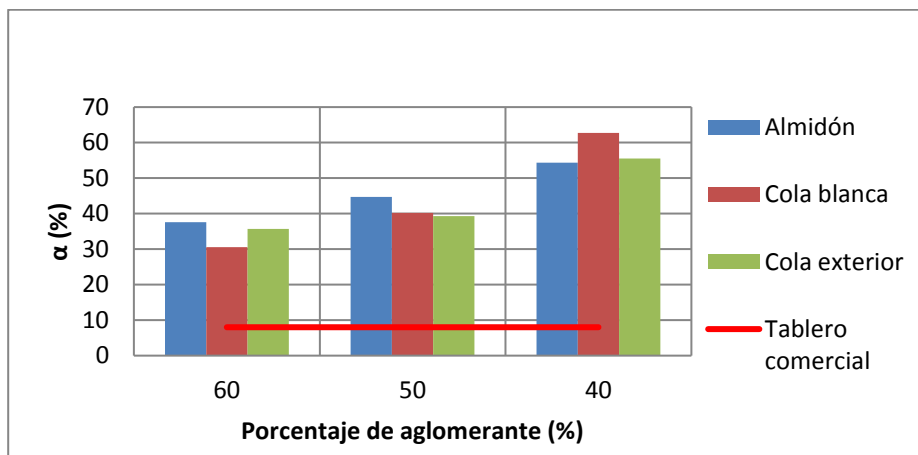
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Absorción de agua de los tableros aglomerados de tallo de palma africana en función de las proporciones de aglomerante**



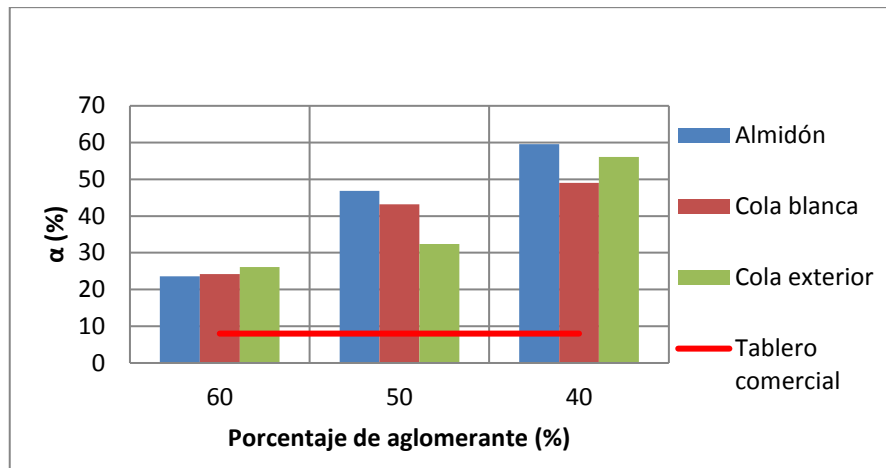
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Hinchamiento en espesor de los tableros aglomerados de tallo de banano en función de las proporciones de aglomerante**



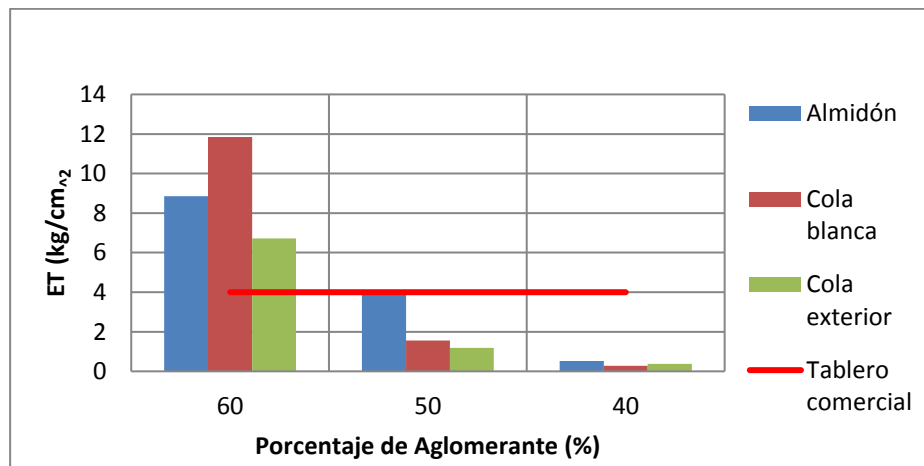
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Hinchamiento en espesor de los tableros aglomerados de tallo de palma africana en función de las proporciones de aglomerante**



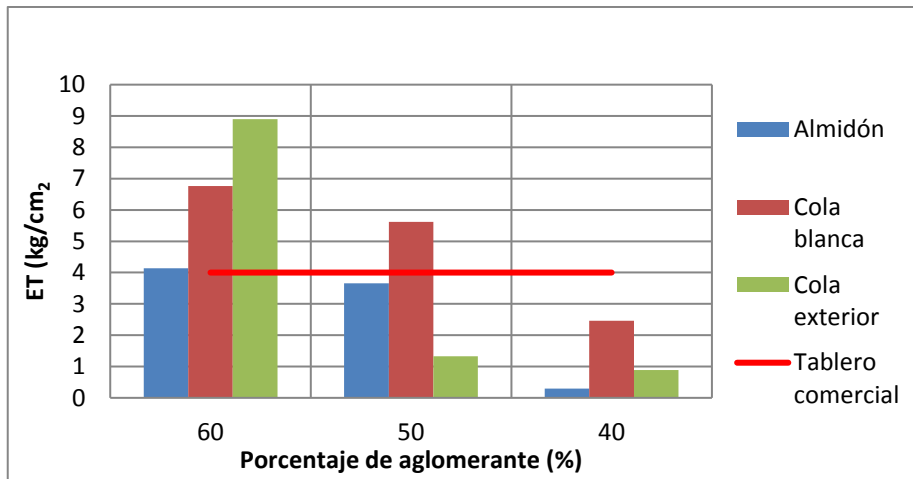
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Tensión paralela a la superficie de los tableros de tallo de banano en función de la proporción de aglomerante**



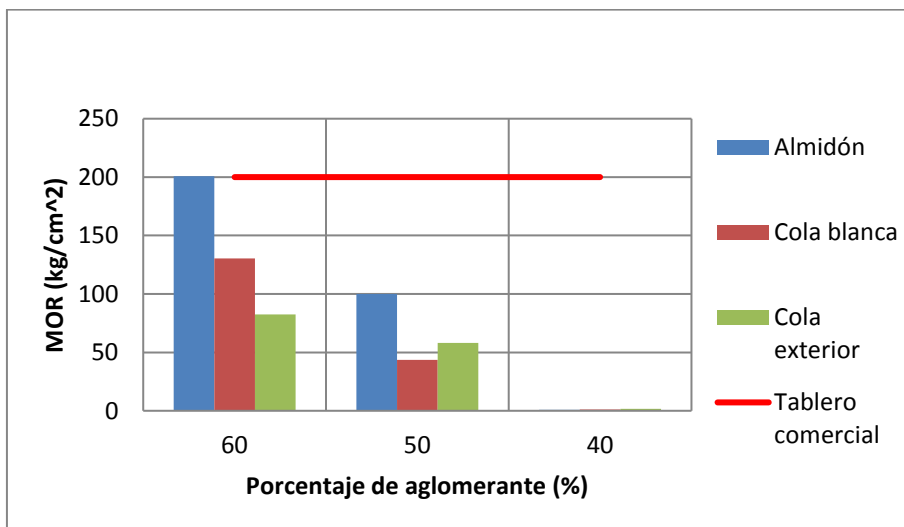
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Tensión paralela a la superficie de los tableros de tallo de palma africana en función de la proporción de aglomerante**



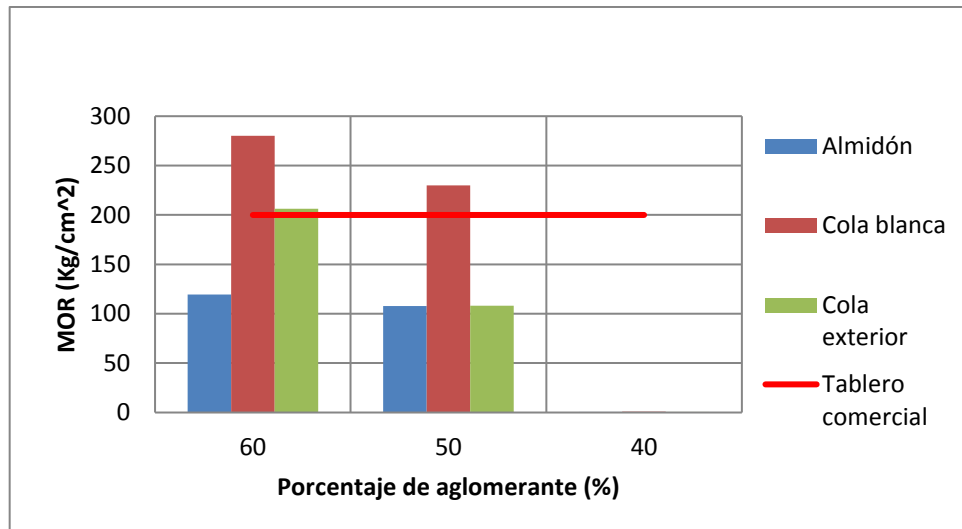
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Esfuerzo máximo en flexión de los tableros de tallo de banana en función de la proporción de aglomerante**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Esfuerzo máximo en flexión de los tableros de tallo de palma africana en función de la proporción de aglomerante**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Análisis de variación de las propiedades físico-mecánicas sobre los aglomerantes**

Material	Variable	F	Probabilidad	Conclusión
Tallo de banano	Almidón	0,7359131	0,490012056	H ₁ Aceptada
	Cola blanca	0,8634783	0,493512056	H ₁ Aceptada
	Cola exterior	0,8957812	0,491212056	H ₁ Aceptada
Tallo palma africana	Almidón	1,0257996	0,372061927	H ₁ Aceptada
	Cola blanca	1,2045987	0,372824527	H ₁ Aceptada
	Cola exterior	1,8065479	0,337061927	H ₁ Aceptada

Fuente: elaboración propia.

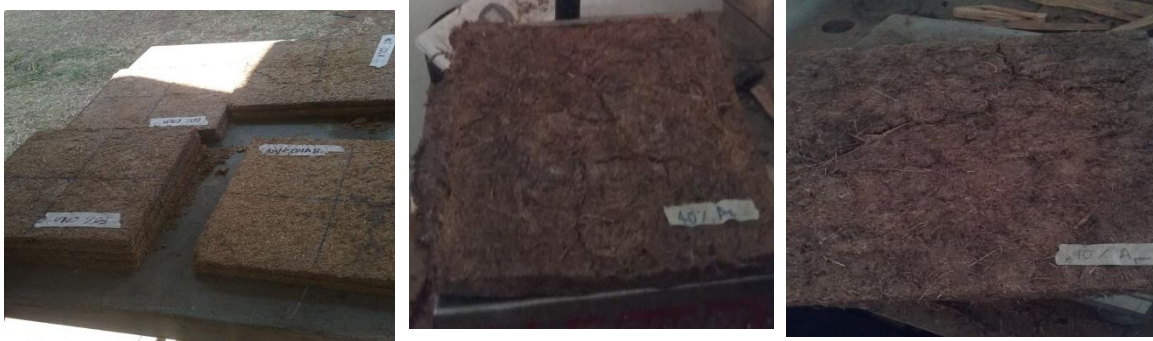
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los tableros aglomerados de tallo de banano y tallo de palma africana fueron elaborados utilizando como aglomerante almidón, cola blanca y cola para exterior con proporciones de 60, 50 y 40 % en peso de resina; se secaron las materias primas hasta obtener una humedad del 10 %, luego se mezcló con los aglomerantes según la proporción y se compactaron en un molde de 31 x 31 x 4 centímetros a una presión constante de 10 toneladas, por último, se dejaron secar a temperatura ambiente durante un mes.

Figura 19. **Tableros aglomerados elaborados a partir del tallo de banano y palma africana con distintas proporciones de aglomerante**



Continuación de la figura 19.



Fuente: elaboración propia.

Se observó que, al finalizar el periodo de secado de los tableros de prueba para almidón, las tres proporciones, de palma africana y banano resultaron con mal olor y moho. Debido a la naturaleza orgánica del aglomerante y la humedad del tablero, se crearon condiciones necesarias que funcionaron como un sustrato orgánico ofreciendo los nutrientes necesarios para crecimiento y desarrollo del moho, provocando mal olor.

Figura 20. **Moho en tableros de almidón**



Tallo de banano



Tallo de palma africana

Fuente: elaboración propia.

Se determinó el del porcentaje de humedad de los materiales al inicio, estos se encontraban verdes (recién cortados), el resultado del porcentaje de humedad fue de 93,05 para el tallo de banano (raquis) y un 81,65 para el de palma africana, esto con el objetivo de determinar la cantidad de agua que se necesitó eliminar para llegar a un rango óptimo de trabajo menor al 10 % de humedad, hallando el tiempo de secado para ambas fibras bastante prolongado.

Se realizó una caracterización química de las fibras para determinar el porcentaje de lignina y celulosa de cada una. La lignina es un polímero natural con forma amorfa y está constituido por unidades orgánicas aromáticas que le permite actuar como adhesivo de sus fibras por lo que es muy importante para la elaboración del tablero, en promedio para la madera el porcentaje de esta se encuentra de 15 a 35 % mientras que para el tallo de banano es de 22,26 % y para el tallo de palma africana de 15,56 %.

Al comparar el promedio de la madera y el material utilizado se determina que el mejor sustituto es el tallo de banano ya que contiene el porcentaje más alto entre las fibras. Sin embargo, el tallo de palma africana se encuentra con menor cantidad de lignina pero dentro del rango, por lo que también puede ser un sustituto de la madera para la fabricación de los tableros.

La celulosa es un compuesto orgánico muy abundante que se encuentra en la pared celular (utilizado para la fabricación de papel) la madera contiene en promedio 40 a 60%, para el tallo del banano es de 47,89 %y para el tallo de palma africana es de 54,89%. Al comparar el rango promedio de la madera y las fibras de banano y palma, se determina que el tallo de palma africana contiene un porcentaje mayor por lo que sería el mejor sustituto para madera que el tallo de banano, pero ambos se encuentran dentro del rango.

Posteriormente a los especímenes de prueba obtenidos se les evaluó el efecto de la proporción del aglomerante sobre las propiedades físicas de densidad, absorción de agua, hinchamiento en espesor, así como también las propiedades mecánicas de esfuerzo máximo en flexión y tensión paralela a la superficie; esto bajo los parámetros especificados en la Norma ASTM D 1037-91 para tableros de partículas. También se utilizó una tabla de especificaciones técnicas de tableros aglomerados comercial.

El resultado de la densidad para los tableros hechos de tallo de banano se presenta en la figura 9, y para los de tallo de palma africana en la figura 10. Se observa un incremento al aumentar la proporción de aglomerante, esto se le puede atribuir a que a mayor cantidad de aglomerante mayor es la adherencia y las fibras se compactan mejor.

Al examinar ambas figuras se observa que la cola para exterior en proporción de 60 % obtuvo el mayor resultado tanto para el tallo de palma con $0,741 \text{ g/cm}^3$ como para el tallo de banano con $1,062 \text{ g/cm}^3$ haciendo que las fibras tuvieran mejor adherencia y por lo tanto los tableros hubieran mayor densidad mientras que los resultados más bajos se observaron en la proporción de 40 % para cola blanca y tallo de banano con $0,315 \text{ g/cm}^3$ y tallo de palma combinado con almidón resultado una densidad de $0,452 \text{ g/cm}^3$.

Según las especificaciones técnicas para los tableros comerciales, las proporciones de 60,% de las tres colas combinada con palma superan la especificación de $0,741 \text{ g/cm}^3$, mientras que para el banano únicamente la proporción de 50 % de almidón y 50 % cola blanca cumplen con este parámetro.

Por medio del análisis de varianza se determinó que, para los resultados de la densidad en los tableros aglomerados, se rechaza la hipótesis nula, se observó la variación significativa de dicha propiedad, al modificar la proporción de cola blanca, cola rápida y almidón respectivamente en los tableros, para ambas fibras.

Para la realización de las pruebas de absorción de agua e hinchazón en espesor, de acuerdo con la norma anteriormente mencionada, se procedió a una inmersión completa de las probetas durante un periodo de 24 horas, figura 32, sin embargo, algunas de las muestras se deshicieron debido a la cantidad de agua y el aglomerante al ser hidrófilo se disolvió con ella. El ensayo se procedió a repetir reduciendo el tiempo de inmersión a 3 horas (midiendo el peso y espesor cada 30 minutos) ya que se determinó que después de ese tiempo se iniciaba su desintegración.

Figura 21. **Probeta deshecha después de inmersión de 24 horas**



Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC.

En la figura 11 y figura 12 se presentan los resultados de la absorción de agua para tallo de banano y palma africana respectivamente. Se observa una tendencia de las barras a descender cuando la cantidad de aglomerante en menor proporción mayor es la cantidad de agua que absorbió el tablero, por lo que los tableros que contienen la mayor proporción de aglomerado contienen menos poros y por lo tanto tuvieron mejor resistencia al agua.

Según las especificaciones de un tablero comercial el rango de absorción de agua es de 25 a 35 %, como se observa en los resultados los tableros sobrepasaron en gran medida este parámetro obteniendo el mayor resultado la proporción de 40 % con aglomerante cola blanca para ambas fibras, para tallo de banano el resultado fue de 83;42 % mientras que para el tallo de palma africana fue de 70,93 %

El análisis de varianza determinó que, para los resultados de absorción de agua en los tableros aglomerados de tallo de banano y palma africana, se acepta la hipótesis alterna, ya que se observó la variación significativa de dicha propiedad, al variar la proporción de cola blanca, cola rápida y/o almidón respectivamente en los tableros.

Los resultados de hinchazón en espesor se muestran en la figura 13 y figura 14, para el tallo de banano y palma africana respectivamente. Se observa una tendencia descendente en las barras, a mayor proporción de aglomerante disminuye el porcentaje hinchazón. Al tener menor porosidad por la proporción de aglomerante, los tableros se deformaron menos.

Para este ensayo la cola blanca fue la que aportó una mejor adherencia para ambas fibras disminuyendo la hinchazón. Según las especificaciones técnicas de un tablero comercial el rango de hinchazón debería estar entre 4 y

8 %. Los tableros tuvieron resultados por encima de este parámetro, obteniendo los resultados más altos con las proporciones de 40 %, para cola blanca y tallo de banano fue de 62,72 %, así como para tallo de palma y almidón con 59,57 %. Mientras que se obtuvo una menor hinchazón con proporciones de 60 % siendo el tallo de banano y cola blanca con un 30,56 % y 23,60 % para tallo de palma con almidón.

Por medio del análisis de varianza se determinó que, para los resultados de hinchazón en espesor de los tableros aglomerados, se rechaza la hipótesis nula, se observó la variación significativa de dicha propiedad, al aumentar la proporción de cola blanca, cola rápida y/o almidón respectivamente en los tableros, para ambas fibras.

Las figuras 15 y 16 muestran los resultados de la tensión paralela a la superficie para tallo de banano y palma africana respectivamente, se observa que la tendencia en las barras a ascender, es decir, que al aumentar la proporción de aglomerante aumenta la tracción paralela a la superficie.

Este comportamiento se debe a que a mayor proporción de aglomerante las fibras se encuentran más unidas lo que resiste mayor tensión. Se alcanzó un valor máximo de 11,84 kilogramos por centímetro cuadrado para la fibra de banano y 60 % de cola blanca, mientras que para palma africana fue de 8,90 kilogramos por centímetro cuadrado con proporción de 60 % de cola para exterior; y valores mínimos para proporciones de 40 %, 0,274 kilogramos por centímetro cuadrado para cola blanca y tallo de banano mientras que para palma africana y almidón se tuvo un valor de 0,291 kilogramos por centímetro cuadrado.

Según la tabla de especificaciones para tableros comerciales la tensión debe ser mayor o igual a 4 kilogramos por centímetro cuadrado por lo que las proporciones de los tres aglomerantes combinados con tallo de banano y palma cumplen con dicho parámetro.

El análisis estadístico de varianza determinó que, para los resultados de tensión paralela a la superficie en los tableros aglomerados de tallo de banano y palma africana, se acepta la hipótesis alterna, ya que se observó la variación significativa de dicha propiedad mecánica, al cambiar la proporción de cola blanca, cola rápida y almidón respectivamente en los tableros.

Los resultados del ensayo de flexión estática se presentan en la figura 17 para tallo de banano y figura 18 para tallo de palma africana. Se muestra una tendencia ascendente en las barras, es decir que al aumentar la proporción de aglomerante aumenta el esfuerzo máximo en flexión lo que indica que con mayor proporción de resina las fibras se encuentran más ligadas y esto hace que los tableros tengan mayor flexibilidad.

Según las especificaciones para tableros comerciales el parámetro de flexión debe ser mayor a 200 kilogramos por centímetro cuadrado, los resultados de menor flexibilidad fueron los de proporción de 40 % de almidón para ambos materiales resultando 0,72 y 0,46 kilogramos por centímetro cuadrado para tallo e banano y palma africana respectivamente.

La proporción de 60 % para los tableros con almidón y banano fue de 200,83 kilogramos por centímetro cuadrado, así como cola blanca y palma africana con 280,12 kilogramos por centímetro cuadrado obtuvieron una mayor flexión cumpliendo con el parámetro de tableros comerciales.

El análisis de varianza en la tabla VIII, la variación de la proporción del almidón, cola blanca y cola para exterior tienen un efecto significativo en los resultados de la flexión estática, para los tableros con fibra de tallo de banano y tallo de palma africana, por lo que se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de confiabilidad.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que el porcentaje de lignina para el tallo de banano fue de 22,26, y para el tallo de palma africana fue de 15,56. Así como el porcentaje de celulosa fue de 47,89 para el tallo de banano y 54,89 para el tallo de palma africana.
2. El almidón no puede ser utilizado como aglomerante para la fabricación de tableros de palma y/o de banano debido a su naturaleza orgánica crea condiciones para la formación de moho.
3. Se determinó que la modificación en la proporción del aglomerante tuvo un efecto significativo para la variación de la densidad en los tableros. Al aumentar el porcentaje de resina se obtuvo un aumento en el resultado de esta propiedad, obteniendo el mayor resultado con 60 % de cola rápida, 0,741 g/cm³ y 1,062 g/cm³ para tallo de palma africana y tallo de banano respectivamente. Se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia del 5 %.
4. Se determinó que la modificación en la proporción del aglomerante tuvo un efecto significativo para la variación de la absorción de agua. Al disminuir el porcentaje de resina se obtuvo un aumento en el resultado de absorción de agua en los tableros, obteniendo el mayor resultado con 40 % de cola blanca, 70,93 y 83,42 para tallo de palma africana y tallo de banano respectivamente, sobrepasando el rango para un tablero comercial que se encuentra entre 25-35 %. Se acepta la hipótesis alterna con un nivel de confiabilidad del 95 %.

5. La modificación en la proporción del aglomerante tuvo un efecto significativo para la variación de la hinchazón en espesor para los tableros. Al aumentar el porcentaje de resina se obtuvo una disminución en el resultado de esta propiedad, obteniendo el menor resultado con 60 % de cola blanca, 30,56 % y 23,60 % para tallo de banano y tallo de palma africana respectivamente, sobrepasando el rango de un tablero comercial que se encuentra en 4-8 %. Se rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia del 5 %.

6. Se determinó que la modificación en la proporción de aglomerante tuvo un efecto significativo para la variación en la tensión paralela a la superficie. Al aumentar el porcentaje de resina se obtuvo mayor tracción paralela a la superficie en los tableros, obteniendo el mayor resultado con 60 % de cola blanca 11,84 kg/cm² para tallo de banano y 60 % de cola rápida 8.90 kg/cm² para tallo de palma africana. Se acepta la hipótesis alterna con un nivel de confiabilidad del 95 %.

7. La modificación en la proporción de aglomerante tuvo un efecto significativo para la variación en la flexión estática de los tableros. Al aumentar el porcentaje de resina se obtuvo un aumento en el resultado del esfuerzo máximo en flexión, obteniendo el mayor resultado con 60 % de almidón 200,83 kg/cm² para tallo de banano y 60 % de cola blanca 280,12 kg/cm² para tallo de palma africana, estos cumplen con el parámetro para un tablero comercial que debe ser mayor a 200 kg/cm². Se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confiabilidad del 95 %.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar un secador con aire, por la cantidad de humedad observada en los tableros, para disminuir el tiempo de secado de un mes en temperatura ambiente a solo unas horas.
2. Verificar que para la utilización de almidón como aglomerante, el secado debe ser rápido y de preferencia con el molde caliente, para reducir el tiempo de secado y evitar la aparición de moho debido a que la naturaleza del aglomerante facilita su aparición.
3. Evaluar la posibilidad ampliar el estudio añadiendo un aditivo químico como pentaclorofenato de sodio al 0,5 % para combatir los hongos, putrefacción y neutralizar ataques de insectos. Utilizando almidón como aglomerante en la fabricación de tableros, y evaluar sus propiedades físico-mecánicas.
4. Ampliar el estudio sobre la elaboración de tableros a partir de tallo de banano o tallo de palma africana aplicando diferentes cargas 5 y 15 kg/cm²; tiempos de compactación de 15 y 20 minutos, para observar las diferencias en las propiedades físico-mecánicas.
5. Determinar las capacidades caloríficas de los tallos de banano y palma africana, y evaluar la posibilidad de utilizarlos en la fabricación de briquetas y pellets.

6. Evaluar la factibilidad de realizar un estudio de la producción de etanol a partir del raquis del banano ya que este podría ser una buena fuente de obtención debido a su alto contenido de azúcares para fermentar.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVAREZ, Catalina; CAPANEMA, Ewellyn; ROJAS, Orlando GAÑAN, Piedad. *Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de la fibra de la vena central de la hoja del plátano*. Colombia: Universidad Autónoma del Caribe, 2009. 107 p.
2. American Society for Testing and Materials. *Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials*. Designation D 1037 – 91. Annual book of ASTM standards. Philadelphia, Pennsylvania, USA: ASTM, 1991. 449 p.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
4. CHACÓN, Andrea. *Desarrollo de aglomerado a base de residuos orgánicos de cascarilla de cacao y bolsas plásticas recicladas*. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia, 2014. 56 p.
5. DOMÍNGUEZ, Manuel. *Elaboración de tableros aglomerados empleando diferentes formulaciones adhesivas a partir de proteína de soya*. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2014. 76 p.
6. FENGEL, Dietrich y WEGENER, Gerd. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. California, USA: Illustrated, 1984. 613 p.

7. GONZÁLEZ LÓPEZ, Eduardo. *Geometría analítica*. 3a ed. Guatemala: Piedra Santa. 2010. 80 p
8. GREPALMA. *Desarrollo para Guatemala*. [en línea]. <<https://www.grepalma.org>>. [Consulta: septiembre de 2017].
9. GUARNIZO, Anderson; MARTÍNEZ, Pedro y VALENCIA, Albeiro. *Pretratamientos de la celulosa y biomasa para la sacarificación*. Colombia: Scientia Et Technica, 2009. 289 p.
10. LANCO. *Data técnica de producto, Grip Bond 3*. [en línea]. <www.lancopaints.com/usa/wp-content/uploads/sites/7/2017/08/Grip-Bond-3-WA505-TDS-ESP.pdf>. [Consulta: octubre de 2019].
11. LÓPEZ, F.; GARCÍA, J.; FERIA, M.; ZAMUDIO, M. y PÉREZ, A. *Biorrefinería de materiales lignocelulósicos*. [en línea]. <<https://core.ac.uk/download/pdf/60645365.pdf>>. [Consulta: octubre de 2019].
12. MONTERROSO, Brenda. *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados elaborados con cascarilla de café (coffea arabica) y colofonia, por el efecto de la carga de compactación y tiempo de prensado*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala, 2013. 144 p.
13. RESISTOL. *Ficha técnica del producto, Resistol 850*. [en línea]. <www.resistol.com.mx/content/dam/uac/resistol/mexico/movedAss>

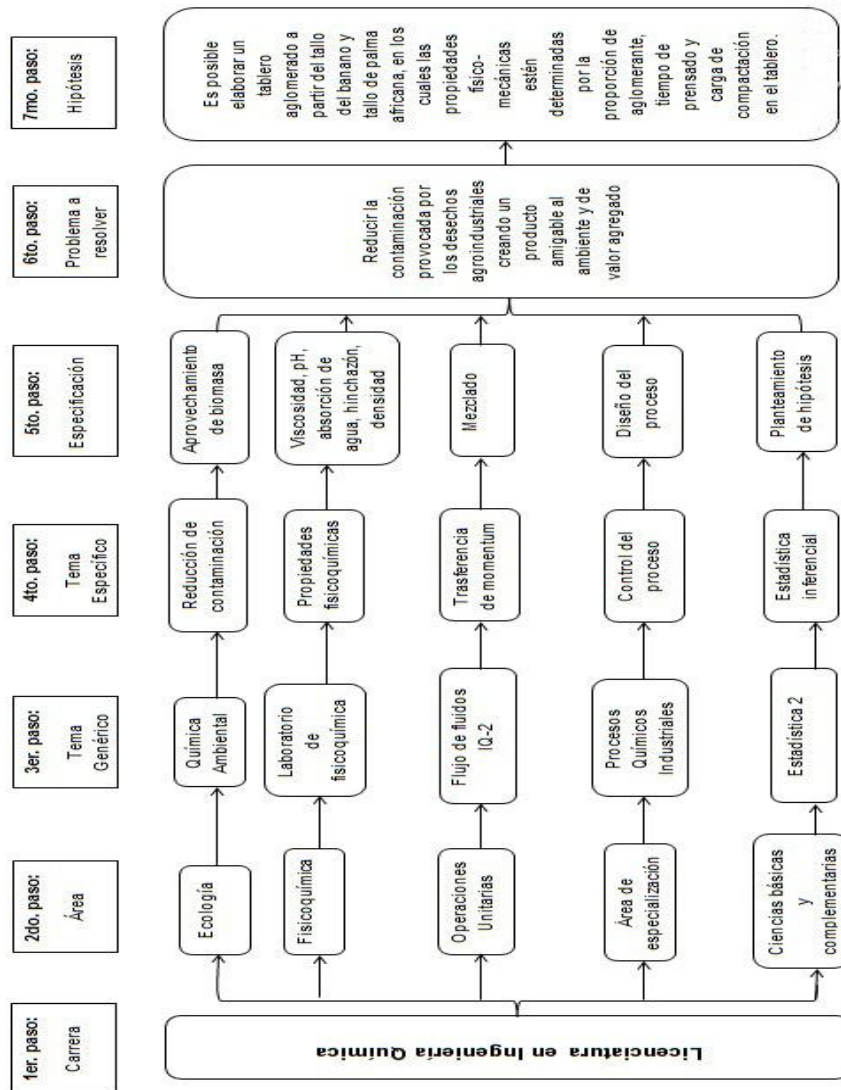
ets/master/pdf/fichas-tecnicas/ft_resistol-850.pdf>. [Consulta: junio de 2019].

14. ROGALINSKI, Tim; INGRAM, Thomas y BRUNNER, Gerd. (2008). *Hydrolysis of lignocellulosic biomass in water under elevated temperatures and pressures*. [en línea]. <https://www.researchgate.net/publication/244361202_Hydrolysis_of_lignocellulosic_biomass_in_water_under_elevated_temperatures_and_pressures>. [Consulta: mayo de 2019].
15. SANTA CRUZ, Tania. *Evaluación de la utilización de epicarpio de maní (Arachis Hypogaea, C.) con un ligante polimérico, en la aplicación de especímenes de prueba –paneles menores-* Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala, 2012. 171 p.
16. SAZO, Sergio. *Implementación del uso de aglomerados de madera como alternativa en la industria de muebles*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala, 2005. 292 p.
17. TAPIA, Clotario. *Elaboración de tableros de partícula fina a partir de residuos lignocelulósicos y resinas termoestables*. [en línea]. <<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/4759/7319.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. [Consulta: mayo de 2019].
18. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond y MYRS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1999. 739 p.

19. WILDER, Barry y ALBERSHEIM, Peter. The structure of plant cell walls:
A structural comparison of the wall hemicellulose of cell
suspension cultures of sycamore. [en línea].
<<https://www.jstor.org/stable/4263235?seq=1>>. [Consulta: mayo
de 2019].

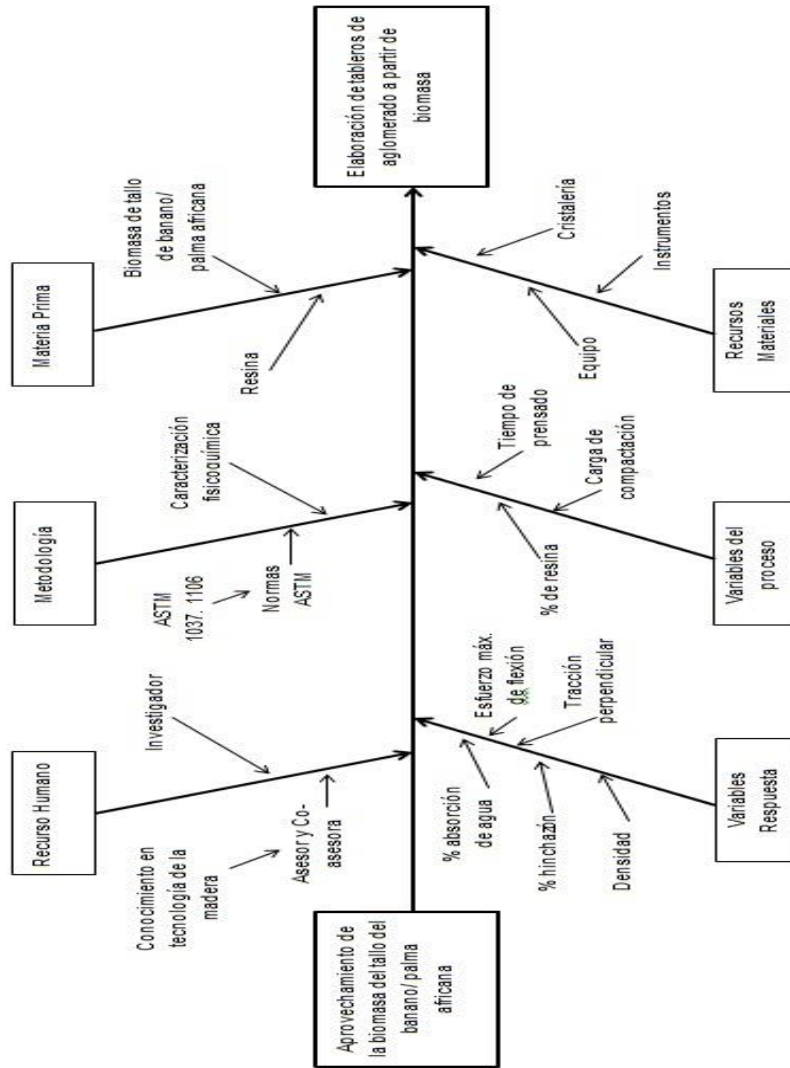
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Tablas de recopilación y procesamiento de datos

Tabla A. Dimensiones de tableros de tallo de banano

Resina	Proporción	No.	Espesor (mm)					Largo (cm)					Peso (lb)	Prom
			L1	L2	L3	L4	Prom	L1	A1	L2	A2	Prom		
Almidón	60 %	1	11,93	12,6	11,34	11,89	11,94	31	31	31	31,5	31,125	1,35	1,35
		2	15,5	11,67	14,23	17,3	14,675	30,5	31	32	30	30,875	1,35	
	50 %	1	13,62	16,85	12,28	11,36	13,5275	28	28	28,5	28	28,125	1,25	
		2	12,81	15,06	15,19	16,78	14,96	29,5	28,5	29	30	29,25	1,3	
	40 %	1	15,57	15,4	16,2	15,56	15,6825	31	31	30	30	30,5	1,1	
		2	14,72	18,78	14,46	14,37	15,5825	32	34	34	31,5	32,875	1,05	
Cola Exterior	60 %	1	12,07	13,04	14,26	14,41	13,445	31	31	31	31	31	1,7	1,7
		2	13,38	12,42	19,92	12,94	14,665	31	31	31	31	31	1,7	
	50 %	1	13,32	12,05	12,94	13,34	12,9125	31	31	31	31	31	1,45	
		2	11,68	11,12	11,73	13,23	11,94	32	31,5	31,5	32	31,75	1,5	
	40 %	1	8,37	9,91	10,58	11,66	10,13	31,5	32	32	31,5	31,75	1,33	
		2	9,49	9,96	11,23	12,57	10,8125	31,5	32	31,5	31,5	31,666667	1,4	
Cola Blanca	60 %	1	14,94	13,45	12,48	14,18	13,7625	31	30,5	30	30,5	30,5	1,45	1,45
		2	12,3	12,94	13,55	12,94	12,9325	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	1,45	
	50 %	1	12,01	15,97	13,94	13,57	13,8725	31	31	31	31	31	1,3	
		2	11,42	13,68	13,62	13,21	12,9825	31,5	31,5	31	31	31,25	1,25	
	40 %	1	10,8	13,8	14,38	14,14	13,28	31,5	31,5	32	31,5	31,625	1,15	
		2	13,76	14	12,52	12,94	13,305	31,5	32	31	31,5	31,5	1,15	

Fuente: elaboración propia.

Tabla B. Dimensionamiento de tableros de tallo de palma

Resina	Proporción	No.	Espesor (mm)					Largo (cm)					Peso (lb)	Prom
			L1	L2	L3	L4	Prom	L1	A1	L2	A2	Prom		
Almidón	60 %	1	22,03	19,18	20,2	21,41	20,705	30	31	30,5	30	30,375	1,45	1,45
		2	21,36	20,75	18,06	21,01	20,295	31	30	29,5	30	29,833333	1,45	
	50 %	1	18,6	19,96	21,28	17,76	19,4	30,5	31	30,5	30,5	30,625	1,3	
		2	14,96	16,25	16,93	16,28	16,105	31	31,5	31	30	30,875	1,3	
	40 %	1	17,5	20,15	19,37	18,87	18,9725	32	31,5	32	31,5	31,75	1,1	
		2	19,45	19,48	22,53	18,38	19,96	31,5	32	31,5	32	31,75	1,1	
Cola exterior	60 %	1	16,85	16,2	15,69	16,23	16,2425	31,5	31,5	31	31,5	31,375	1,5	1,55
		2	15,42	13,79	15,83	15,75	15,1975	31	31	31	31,5	31,125	1,6	
	50 %	1	13,99	14,63	15,93	11,56	14,0275	31	31	30	31	30,75	1,35	
		2	17,34	18,69	18,07	14,05	17,0375	31	32	31,5	31,5	31,5	1,35	
	40 %	1	13,99	13,52	14,89	16,48	14,72	31,5	31	32	31	31,375	1,2	
		2	20,03	16,31	13,25	16,42	16,5025	31	31	31,5	31	31,166667	1,2	
Cola blanca	60 %	1	18,9	15,7	18,13	19,17	17,975	31,5	31	32	31	31,375	1,35	1,275
		2	13,26	11,41	14,85	14,11	13,4075	31	31	31	31	31	1,2	
	50 %	1	13,01	16,18	17,71	15,78	15,67	31,5	31	31,5	31	31,25	1,2	
		2	16,03	15,09	19,45	18,62	17,2975	32	31,5	31,5	32	31,75	1,3	
	40 %	1	14,79	17,19	15,29	12,71	14,995	31,5	31,5	31,5	30	31,125	1,1	
		2	14,16	12,87	15,92	17,24	15,0475	31,5	31	31	31	31,125	1,15	

Fuente: elaboración propia.

Tabla C. Módulo de ruptura (MOR) de los tableros de tallo de banano

Resina	Proporción	Carga max	Carga max (kg)	L soportes (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	MOR (kg/cm ²)	X	S
ALMIDÓN	60 %	700	318,1818	27,25	31	1,1940	294,2813756	200,836227	132,151397
		400	181,8182	26,5	31,25	1,4675	107,391078		
	50 %	300	136,3636	24	28,25	1,3528	94,96149371	100,078949	7,23717451
		400	181,8182	25,25	29,25	1,4960	105,1964041		
	40 %	0	1,3500	26,5	30,5	1,5683	0,715386054	0,72097569	0,00790494
		0	1,3500	28,75	33	1,5583	0,726565322		
COLA BLANCA	60 %	350	209,3301	26,5	30,5	1,3763	144,0371106	130,275279	19,4621684
		250	149,5215	26,5	30,5	1,2933	116,5134481		
	50 %	100	59,8086	27	31	1,3873	40,60201519	43,5083181	4,11013297
		100	59,8086	27,25	31,25	1,2983	46,41462098		
	40 %	0	1,3500	27,5	31,75	1,3280	0,994529894	1,00516498	0,01504028
		0	1,3500	27,75	31,25	1,3305	1,015800063		
COLA EXTERIOR	60 %	250	113,6364	27	31	1,3445	82,12758344	82,4826166	0,5020927
		300	136,3636	27	31	1,4665	82,83764974		
	50 %	150	68,1818	27	31	1,2913	53,424595	58,0625069	6,5589979
		150	68,1818	27,75	31,75	1,1940	62,70041878		
	40 %	0	1,3500	27,75	31,75	1,0130	1,724746986	1,62532199	0,14060817
		0	1,3500	27,75	31,5	1,0813	1,525897004		

Fuente: elaboración propia.

Tabla D. Módulo de ruptura (MOR) de los tableros de tallo de palma africana

Resina	Proporción	Carga max	Carga max (kg)	L soportes (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	MOR (kg/cm ²)	X	S
ALMIDÓN	60%	700	409,0909091	26,5	30,25	2,0705	125,3952579	119,608919	8,18311949
		600	363,6363636	26	30,25	2,0295	113,8225793		
	50%	300	227,2727273	26,75	30,5	1,94	79,44362811	107,77218	40,0626228
		400	272,7272727	26,75	31	1,6105	136,1007326		
	40%	100	1,35	27,5	32	1,89725	0,483457854	0,46763163	0,02238165
		150	1,35	28	31,5	1,996	0,451805414		
COLA BLANCA	60%	700	538,277512	27	31,75	1,7975	212,5101764	280,1238	95,6201034
		600	478,4688995	27	31	1,34075	347,7374235		
	50%	600	478,4688995	27	31,5	1,567	250,5302607	230,090779	28,9057929
		600	478,4688995	27,75	31,75	1,72975	209,6512964		
	40%	250	1,35	26,75	31,5	1,4995	0,764795493	0,76874699	0,00558827
		400	1,35	27	31,25	1,50475	0,772698494		
COLA EXTERIOR	60%	700	409,0909091	27,5	31,25	1,62425	204,6859387	206,140991	2,05775542
		600	363,6363636	27,25	31	1,51975	207,5960443		
	50%	200	181,8181818	27	30,5	1,40275	122,6964337	108,278408	20,3901673
		250	204,5454545	27,75	31,25	1,70375	93,86038258		
	40%	150	1,35	27	31,75	1,472	0,794747997	0,71859896	0,10769099
		100	1,35	27	31,25	1,65025	0,642449932		

Fuente: elaboración propia.

Tabla E. Absorción de agua en tableros aglomerados de tallo de banano

Resina	Aglomerante (%)	No.	Peso Inicial (lb)	Peso final (lb)	% absorción	X	S
ALMIDÓN	60	1	67,62	131,9400	48,7494316	60,72870192	16,9412466
		2	62,99	230,8000	72,7079723		
	50	1	75,2	215,0600	65,033014	66,57619839	2,18239223
		2	71,44	224,0860	68,1193827		
	40	1	53,47	195,8800	72,7026751	73,85726965	1,63284326
		2	57,92	231,7900	75,0118642		
COLA BLANCA	60	1	79,2	216,3900	63,3994177	65,51274509	2,98869624
		2	67,24	207,6980	67,6260725		
	50	1	56,98	158,0100	63,9389912	68,25421782	6,10265201
		2	52,93	192,9600	72,5694444		
	40	1	4,33	26,1300	83,4290088	83,4290088	
		2					
COLA EXTERIOR	60	1	79,34	174,5600	54,5485793	60,80716539	8,85097736
		2	84,45	256,4200	67,0657515		
	50	1	70,94	206,7400	65,6863694	65,68636935	0,65686369
		2					
	40	1	5,59	25,7000	78,2490272	78,24902724	
		2					

Fuente: elaboración propia.

Tabla F. Absorción de agua en tableros aglomerados de tallo de palma africana

Resina	Aglomerante (%)	No.	Peso Inicial (lb)	Peso final (lb)	% absorción	X	S
ALMIDÓN	60	1	79,26	198,93	60,1568391	60,56031587	0,57060234
		2	74,93	191,95	60,9637927		
	50	1	62,67	171,31	63,4171969	61,40976234	2,83894118
		2	64,53	158,95	59,4023278		
	40	1	47,35	154,84	69,4200465	69,4200465	
		2					
Cola blanca	60	1	57,43	172,37	66,6821373	62,98207287	5,23268125
		2	68,28	167,69	59,2820085		
	50	1	52,98	154,07	65,613033	67,70614898	2,96011295
		2	53,41	176,85	69,7992649		
	40	1	57,11	174,23	67,2214888	70,92678517	5,24008033
		2	51,54	203,17	74,6320815		
COLA EXTERIOR	60	1	68,42	184,01	62,8172382	62,3474014	0,66444957
		2	68,75	180,34	61,8775646		
	50	1	66,67	165,8	59,7889023	64,41022347	6,53553508
		2	53,21	171,82	69,0315446		
	40	1	53,68	172,27	68,8396122	66,99877977	2,60333024
		2	55,81	160,18	65,1579473		

Fuente: elaboración propia.

Tabla G. Densidad normal en tableros aglomerados de tallo de banano

Resina	Aglomerante (%)	No.	mh (g)	ε (cm)	Área (cm ²)	Dh (g/cm ³)	X	S
ALMIDÓN	60	1	67,62	1,2827	52,2905	1,00815547	0,96662156	0,05873781
		2	62,99	1,22174	55,7327	0,92508766		
	50	1	75,2	1,524	55,5127	0,8888744	0,93878807	0,07058859
		2	71,44	1,45288	49,7332	0,98870174		
	40	1	53,47	1,44526	53,8787	0,68666802	0,68666802	
		2						
COLA BLANCA	60	1	70,2	1,37414	58,0974	0,87932472	0,74306831	0,19269567
		2	63,24	1,93548	53,8455	0,60681189		
	50	1	56,98	1,75768	55,6321	0,58271636	0,67376264	0,12875888
		2	52,93	1,61798	42,7736	0,76480891		
	40	1	4,33	1,52654	9,0000	0,31516443	0,31516443	
		2						
COLA EXTERIOR	60	1	79,34	1,397	54,3291	1,04535421	1,06254697	0,02431424
		2	84,45	1,32588	58,9897	1,07973974		
	50	1	70,94	1,44018	50,6273	0,97294841	0,97294841	0,65686369
		2						
	40	1	5,59	1,6891	10,0000	0,33094547	0,33094547	
		2						

Fuente: elaboración propia.

Tabla H. Densidad normal en tableros aglomerados de tallo de palma africana

Resina	Aglomerante (%)	No.	Peso Inicial	ε (cm)	Área (cm ²)	Dh (g/cm ³)	X	S
ALMIDÓN	60	1	79,26	2,12344	53,24348	0,70104782	0,71940437	0,02596008
		2	74,93	1,90754	53,24348	0,73776092		
	50	1	62,67	2,159	49,993296	0,5806244	0,66240808	0,1156596
		2	64,53	1,94564	44,567094	0,74419177		
	40	1	47,35	2,14884	48,72736	0,45221298	0,45221298	
		2						
COLA BLANCA	60	1	57,43	1,74752	49,28108	0,66686273	0,6717242	0,00687517
		2	68,28	2,0574	49,051464	0,67658568		
	50	1	52,98	1,75768	55,632096	0,54180963	0,63110936	0,12628888
		2	53,41	1,61798	45,8216	0,72040908		
	40	1	57,11	1,8161	58,4962	0,53758204	0,58885512	0,07251109
		2	51,54	1,54432	52,136294	0,6401282		
COLA EXTERIOR	60	1	68,42	1,7653	51,721512	0,74936488	0,74118928	0,01156205
		2	68,75	1,80848	51,86172	0,73301367		
	50	1	66,67	2,0828	49,27473	0,64961887	0,62628573	0,03299805
		2	53,21	2,12344	41,55948	0,60295258		
	40	1	53,68	1,6383	49,784	0,65815667	0,60825858	0,07056656
		2	55,81	2,13868	46,736	0,55836048		

Fuente: elaboración propia.

Tabla I. **Hinchamiento en espesor en tableros aglomerados de tallos de banano**

Resina	Aglomerante (%)	No.	ε inicial	ε final	α %	X	S
ALMIDÓN	60	1	1,2827	1,7221	34,2574257	37,6068833	4,73684837
		2	1,22174	1,7221	40,956341		
	50	1	1,524	2,0701	35,8333333	44,6649184	12,4897474
		2	1,45288	2,2301	53,4965035		
	40	1	1,44526	2,2301	54,3057996	54,3057996	
		2					
COLA BLANCA	60	1	1,39954	1,4681	4,90018149	30,5639697	36,2940774
		2	1,42748	2,2301	56,227758		
	50	1	1,75768	2,2301	26,8786127	40,2053974	18,8469197
		2	1,61798	2,4841	53,5321821		
	40	1	1,52654	2,4841	62,7287854	#jDIV/0!	
		2					
COLA EXTERIOR	60	1	1,397	1,9761	41,4545455	35,6698015	8,18086341
		2	1,32588	1,7221	29,8850575		
	50	1	1,44018	2,0066	39,329806	39,329806	0,65686369
		2					
	40	1	1,6891	2,6264	55,4887218	55,4887218	
		2					

Fuente: elaboración propia.

Tabla J. **Hinchamiento en espesor en tableros aglomerados de tallo de palma africana**

Resina	Aglomerante (%)	No.	ε inicial	ε final	α %	X	S
ALMIDÓN	60	1	2,12344	2,48412	16,9856459	23,6060054	9,36260213
		2	1,90754	2,48412	30,2263648		
	50	1	2,159	2,73812	26,8235294	46,8321302	28,2964347
		2	1,94564	3,24612	66,8407311		
	40	1	2,14884	3,429	59,5744681	59,5744681	
		2					
COLA BLANCA	60	1	1,74752	2,23012	27,6162791	24,1785099	4,86173978
		2	2,0574	2,48412	20,7407407		
	50	1	1,75768	2,45618	39,7398844	43,1823441	4,86837318
		2	1,61798	2,37236	46,6248038		
	40	1	1,8161	2,66192	46,5734266	49,0268449	3,46965742
		2	1,54432	2,33934	51,4802632		
COLA EXTERIOR	60	1	1,7653	2,23012	26,3309353	26,1570407	0,24592409
		2	1,80848	2,27838	25,9831461		
	50	1	2,0828	2,36728	13,6585366	32,4273544	26,5431167
		2	2,12344	3,21056	51,1961722		
	40	1	1,6383	2,99212	82,6356589	56,0446703	37,6053367
		2	2,13868	2,7686	29,4536817		

Fuente: elaboración propia.

Tabla K. **Tensión paralela a la superficie en tableros aglomerados de tallo de banano**

Resina	Aglomerante (%)	Carga max (kg)	L (cm)	ε (cm)	ET (kg/cm ²)	X	S
ALMIDÓN	60	60	3,5560	1,2827	13,15419887	8,85329912	6,08239075
		20,23	3,6373	1,22174	4,552399376		
	50	21,53	4,6787	1,524	3,019504772	4,02836612	1,42674539
		30,3	4,1402	1,45288	5,037227458		
	40	2,97	3,9802	1,44526	0,516306691	0,51630669	
COLA BLANCA	60	49,53	1,7200	1,39954	20,57569746	11,8405279	12,3533952
		28,43	6,4135	1,42748	3,105358383		
	50	5,34	4,1402	1,75768	0,733804085	0,56332236	0,24109757
		3,04	4,7828	1,61798	0,392840629		
	40	1,08	3,2182	1,2227	0,274469134	0,27446913	
COLA EXTERIOR	60	29,4	3,4366	1,397	6,123777617	6,71542649	0,83671786
		48,06	4,9606	1,32588	7,307075369		
	50	7,15	4,1554	1,44018	1,194736826	1,19473683	
	40	1,6891	2,6264	1,6891	0,380755114	0,38075511	

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Tensión paralela a la superficie en tableros aglomerados de tallo de palma africana**

Resina	Aglomerante (%)	Carga max (kg)	L (cm)	ε (cm)	ET (kg/cm ²)	X	S
ALMIDÓN	60	67,82	8,60298	2,12344	3,712520651	4,13754493	0,60107509
		21,62	2,48412	1,90754	4,562569202		
	50	21,53	2,73812	2,159	3,64199135	3,6584565	0,02328524
		23,21	3,24612	1,94564	3,674921646		
	40	2,14884	3,429	2,14884	0,291630213	0,29163021	
COLA BLANCA	60	54,4	3,99288	1,74752	7,796334902	6,76709826	1,45556042
		59,55	5,04444	2,0574	5,737861612		
	50	36,56	3,9624	1,75768	5,249380589	5,620534	0,52489019
		40,26	4,1529	1,61798	5,991687411		
	40	8,18	1,2319	1,8161	3,656268577	2,46547109	1,68404196
		8,91	4,52628	1,54432	1,274673602		
COLA EXTERIOR	60	42,17	2,23012	1,7653	10,71166168	8,90281256	2,55809896
		29,23	2,27838	1,80848	7,093963432		
	50	9,74	4,6355	2,0828	1,008822599	1,33000978	0,45422726
		15,22	4,34086	2,12344	1,651196955		
	40	6,68	5,08	1,6383	0,802637264	0,89012303	0,12372355
		12,31	5,88772	2,13868	0,977608787		

Fuente: elaboración propia.



Tabla M. **Especificaciones técnicas para tableros de aglomerado comerciales**

Características tablero aglomerado		
Propiedades	Unidad	Valor
Densidad	g/m ³	0,740
Flexión	Kg/cm ²	> 200
Tracción	Kg/cm ²	>= 4
Hinchamiento 24 horas	%	4 – 8
Absorción	%	25 – 35

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Resultado de lignina y celulosa del tallo de banano y palma africana (1/3)

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

O.T. No. 3898
No. Informe LIEXVE-QI 01-2019 **101**

Interesado: Astrid Liseth Velz Pérez
Estudiante de Ingeniería Química/USAC
Carnet: 201314221

Proyecto: estudio de tesis "Aprovechamiento de la Biomasa Derivada de los Tallos del Banano (*Musa Paradisiaca*, L.) Y Palma Africana (*Elaeis guineensis*, Jacq) en la Elaboración de Aglomerados para la producción de Planchas de uso Múltiple".

Fecha: Guatemala, 01 de Abril de 2019

Resultados de la composición química % de Extraíbles, % de Lignina y % de Celulosa de materia prima de biomasa molida de palma africana y tallo de banano.

RESULTADOS

Tabla No.1
Porcentaje de Extraíbles, de la biomasa de tallo de Banano (*Musa Paradisiaca*, L.).

Repetición	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Extraíbles	Resultado % Extraíbles
1	7.5	5.4011	27.96	29.67 +/- 2.37
2	7.5	5.1478	31.36	

Fuente: Datos experimentales LIEXVE

Tabla No.2
Porcentaje de Extraíbles, de biomasa de Palma Africana (*Elaeis guineensis*, Jacq).

Repetición	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Extraíbles	Resultado % Extraíbles
1	7.5	6.5538	12.82	11.99 +/- 0.88
2	7.5	6.6472	11.37	

Fuente: Datos experimentales LIEXVE

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio F-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-8115, Planta: 2418-8000 Ext. 86209 y 86221 Fax: 2418-8121

Página 1 de 3

Fuente: LIEXVE, Facultad de Ingeniería CII/USAC.

Anexo 2. **Resultado de lignina y celulosa del tallo de banano y palma africana (2/3)**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA




Tabla No.3
Porcentaje de Lignina, de biomasa de tallo de Banano (*Musa paradisiaca*, L.)

No. **2402**

Repetición	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Lignina	Resultado % Lignina
1	1	0.2121	21.21	22.26 +/- 1.48
2	1	0.2331	23.31	

Fuente: Datos experimentales LIEXVE

Tabla No.4
Determinación del porcentaje de Lignina, de la biomasa de Palma Africana (*Elaeis guineensis*, Jacq.)

Repetición	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Lignina	Resultado % Lignina
1	1	0.1505	15.05	15.56 +/- 0.72
2	1	0.1608	16.08	

Fuente: Datos experimentales LIEXVE

Tabla No.5
Porcentaje de Celulosa, de la biomasa de tallo de Banano (*Musa paradisiaca*, L.)

Repetición	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Celulosa	Resultado % Celulosa
1	1	0.8600	46.66	47.89 +/- 1.74
2	1	0.9488	49.12	

Fuente: Datos experimentales LIEXVE

Tabla No.6
Porcentaje de Celulosa, de la biomasa de Palma Africana (*Elaeis guineensis*, Jacq.)

Repetición	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Celulosa	Resultado % Celulosa
1	1	0.9550	54.51	54.96 +/- 0.64
2	1	0.9683	55.42	

Fuente: Datos experimentales LIEXVE

FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planillo: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121.
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Página 2 de 3

Fuente: LIEXVE, Facultad de Ingeniería CII/USAC.

Anexo 3. Resultado de lignina y celulosa del tallo de banano y palma africana (3/3)

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA**
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA 

ANEXOS **No. 2403**

Fotografías del ensayo de la composición química % Extraíbles, % Lignina y % de Celulosa de la biomasa de tallos del banano (*Musa paradisiaca*, L.) y palma africana (*Elaeis guineensis*, Jacq.)





Ing. Qco. Mario José Mérida Méndez
COORDINADOR
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales
-LIEXVE-
Sección Química Industrial CII/USAC





Ing. Qco. César Alfonso García Guerra
JEFE
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC





Visa. Ing. Edwín Josué Ixpaté Reyes
DIRECTOR
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-6, Ciudad Universitaria zona 12 Página 3 de 3

Fuente: LIEXVE, Facultad de Ingeniería CII/USAC.

Anexo 4. **Estado de las materias primas**



Tallo de Banano (Raquis)



Tallo de palma africana

Fuente: elaboración propia.

Anexo 5. **Biomasa de banano y palma africana molida**



Tallo de banano



Tallo de palma africana

Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Anexo 6. **Mezclado de aglomerante y materia prima**



Cola Blanca



Almidón

Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Anexo 7. **Llenado de materia prima en molde para compactación del tablero**



Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Anexo 8. **Compactación de tablero en prensa hidráulica**



Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Anexo 9. **Modelo de un tablero aglomerado**



Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Anexo 10. **Toma de medidas de los tableros**



Peso



Largo



Espesor

Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Anexo 11. **Medición de humedad del tablero**



Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Anexo 12. **Ensayo de Absorción de agua e hinchazón por espesor**



Fuente: Laboratorio multipropósitos de Sección de Tecnología de la Madera. CII. USAC.

Anexo 13. **Ensayo de flexión estática**



Fuente: Marco área de prefabricados. CII. USAC.

Anexo 14.

Ensayo de tensión paralela a la superficie



Agarre de la probeta



Adición de peso



Probeta ensayada

Fuente: Área de prefabricados. CII. USAC.

