



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

**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 PENSADO**

Brenda María Monterroso Waight

Asesorado por la Inga. Adela María Marroquín González

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BRENDA MARÍA MONTERROSO WAIGHT
ASESORADO POR LA INGA. ADELA MARÍA MARROQUÍN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León Paz
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
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:

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

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre 2012.


Brenda María Monterroso Waight

Guatemala, 27 de septiembre de 2013

Ingeniero

Victor Manuel Monzón Valdez

Director Escuela de Ingeniería Química

Universidad De San Carlos De Guatemala

Estimado Ingeniero Monzón Valdez:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el Informe final del Trabajo de Graduación de la estudiante Brenda María Monterroso Waight, con carné 200915024, el cual se titula: **“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.”**

En base a lo anterior, lo someto a su consideración a efecto de continuar con el trámite respectivo para continuar con su aprobación.

Atentamente,


Ing. Qca. Adela María Marroquín González
ASESORA
Colegiado 1446

Adela María Marroquín González
Ingeniera Química Col. No. 1446



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 30 de septiembre de 2013
 Ref. EI.Q.TG-IF.062.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-090-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Brenda María Monterroso Waight.**

Identificada con número de carné: **2009-15024.**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

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

**EVALUACIÓN DE 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 PENSADO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Adela María Marroquín González.**

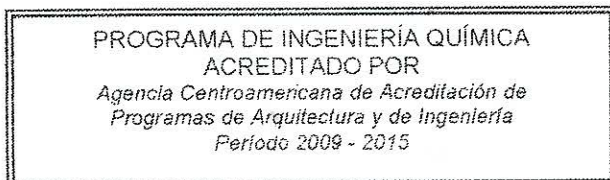
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Jaime Domingo Carranza González
 COORDINADOR DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Agencia Centroamericana de Acreditación de
 Programas de Arquitectura y de Ingeniería



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **BRENDA MARÍA MONTERROSO WAIGHT** titulado: **“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 PENSADO”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 730.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE 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 PENSADO**, presentado por la estudiante universitaria: **Brenda María Monterroso Waight**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 22 de octubre de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiarme, brindarme protección y bendiciones a lo largo del camino de mi vida.
- Mis padres** Ricardo Monterroso y Brenda Waight, por darme una vida llena de amor, por sus consejos y por ser un ejemplo de perseverancia y constancia que me ha motivado a seguir adelante.
- Mis hermanos** Allan y Kevin Monterroso, por su apoyo y compañía.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Ricardo Monterroso y Brenda Waight, por sus enseñanzas, por su apoyo y motivación, por estar presentes a lo largo de esta etapa de mi vida.
Inga. Adela Marroquín	Por sus consejos y enseñanzas, por compartir sus conocimientos y experiencias, por su apoyo a lo largo de toda mi carrera y por su amistad.
Ing. Amadeo Escobar	Por los consejos y experiencias compartidas, por el apoyo y por brindarme confianza, cariño y amistad.
Jesiel Enriquez	Por compartir sus conocimientos, por su apoyo y amistad.
Mis amigos	Por recorrer juntos esta etapa de nuestras vidas, por compartir experiencias en los buenos y malos momentos, por su apoyo y amistad.
Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de realizar mi carrera profesional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la institución que permitió mi formación como profesional.

	2.2.2.2.	Trillado.....	7
	2.2.2.3.	Limpieza y clasificación del café oro	8
2.2.3.		Manejo de subproductos de café	8
	2.2.3.1.	Cascarilla.....	8
2.3.		Aglomerados	9
2.3.1.		Materiales lignocelulósicos.....	9
	2.3.1.1.	Composición química	10
		2.3.1.1.1. Celulosa	10
		2.3.1.1.2. Hemicelulosa.....	10
		2.3.1.1.3. Lignina	11
		2.3.1.1.4. Taninos	11
2.3.2.		Aglomerantes	11
	2.3.2.1.	Tipos de aglomerantes	12
		2.3.2.1.1. Resinas	
		aminoplásticas	12
		2.3.2.1.2. Resinas fenólicas	13
		2.3.2.1.3. Resinas	
		termoplásticas	14
		2.3.2.1.4. Adhesivos naturales.....	15
2.3.3.		Tipos de aglomerados.....	18
	2.3.3.1.	Tableros contrachapados	18
	2.3.3.2.	Tableros de partículas	18
	2.3.3.3.	Tableros de fibras.....	19
2.3.4.		Proceso de elaboración de los tableros	21
	2.3.4.1.	Preparación de materia prima	21
		2.3.4.1.1. Reducción	
		de partícula	21
		2.3.4.1.2. Secado de partículas	22

	2.3.4.1.3.	Clasificación de partícula.....	22
	2.3.4.2.	Mezclado de partículas y resina	22
	2.3.4.3.	Formación o moldeado	23
	2.3.4.4.	Prensado	23
	2.3.4.5.	Secado del aglomerado.....	23
	2.3.4.6.	Dimensionamiento y almacenamiento.....	24
	2.3.5.	Propiedades evaluadas en los aglomerados	24
3.		DISEÑO METODOLÓGICO	27
	3.1.	Variables.....	27
	3.2.	Delimitación del campo de estudio	28
	3.3.	Recursos humanos disponibles.....	28
	3.4.	Recursos materiales disponibles	29
	3.4.1.	Materia prima.....	29
	3.4.2.	Materiales y reactivos	29
	3.4.3.	Equipo	29
	3.4.4.	Cristalería e instrumentación	30
	3.5.	Técnica cualitativa y cuantitativa	31
	3.6.	Recolección de la información.....	31
	3.6.1.	Caracterización de cascarilla de café	32
	3.6.2.	Caracterización físico-química del aglomerante	32
	3.6.2.1.	Determinación de viscosidad.....	33
		3.6.2.1.1. Aparatos	33
		3.6.2.1.2. Condiciones.....	33
		3.6.2.1.3. Procedimiento.....	34
	3.6.2.2.	Determinación del pH	34
	3.6.2.3.	Tiempo de secado	35

3.6.3.	Elaboración de aglomerados.....	35
3.6.3.1.	Tratamiento de materia prima	35
3.6.3.2.	Preparación de aglomerante	36
3.6.3.3.	Mezclado.....	36
3.6.3.4.	Prensado.....	37
3.6.3.5.	Secado del aglomerado	37
3.6.3.6.	Corte de tableros.....	38
3.6.4.	Análisis de especímenes de prueba.....	38
3.6.4.1.	Densidad	38
3.6.4.2.	Absorción de agua e hinchazón	39
3.6.4.3.	Flexión estática	40
3.6.4.4.	Tensión paralela a la superficie.....	40
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	41
3.7.1.	Ordenamiento de la información	41
3.7.2.	Procesamiento de la información	48
3.7.2.1.	Determinación de la densidad	48
3.7.2.2.	Determinación del porcentaje de absorción de agua.....	49
3.7.2.3.	Determinación del porcentaje de hinchazón.....	49
3.7.2.4.	Determinación del esfuerzo máximo de flexión.....	50
3.7.2.5.	Determinación de la resistencia a la tensión paralela a la superficie	51
3.7.3.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	51
3.8.	Análisis estadístico.....	51
3.8.1.	Determinación del número de corridas.....	52
3.8.2.	Media aritmética	53

3.8.3.	Análisis de varianza (ANOVA)	53
4.	RESULTADOS	57
4.1.	Composición química de la cascarilla de café	57
4.2.	Caracterización del aglomerante	57
4.3.	Propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados ...	58
4.3.1.	Densidad	58
4.3.2.	Absorción de agua.....	61
4.3.3.	Hinchazón en grosor.....	63
4.3.4.	Flexión estática.....	65
4.3.5.	Resistencia a la tensión paralela a la superficie	67
5.	INTERPRETACIÓN.....	69
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	APÉNDICES	85
	ANEXOS	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Composición del fruto de café.....	4
2.	Estructuras de los ácidos resínicos más comunes del tipo – abietano.	17
3.	Tableros de partículas.....	19
4.	Tableros de fibras de densidad media	20
5.	Fotografía de la prensa hidráulica utilizada.....	30
6.	Densidad de los tableros aglomerados	59
7.	Porcentaje de absorción de agua.....	61
8.	Porcentaje de hinchazón en grosor.....	63
9.	Módulo de ruptura	65
10.	Esfuerzo máximo de tensión	67

TABLAS

I.	Variables de proceso	27
II.	Variables a manipular	28
III.	Formulaciones de aglomerante.....	32
IV.	Datos para evaluar viscosidad, pH y tiempo de secado.....	41
V.	Datos de pH y tiempo de secado	42
VI.	Dimensiones de los especímenes de prueba	43
VII.	Masa inicial y posterior a la inmersión de los especímenes.....	44
VIII.	Datos para evaluar flexión estática	45
IX.	Datos para la evaluación de tensión paralela a la superficie	46

X.	Tratamientos para la elaboración de aglomerados.....	54
XI.	Análisis de varianza.....	54
XII.	Composición química de la cascarilla de café	57
XIII.	Viscosidad <i>brookfield</i> , pH y tiempo de secado de las diferentes formulaciones de colofonia	58
XIV.	Análisis de varianza del efecto de los factores de variación sobre la densidad de los tableros	60
XV.	Análisis de varianza del efecto de factores de variación sobre el porcentaje de absorción de agua.....	62
XVI.	Análisis de varianza de los factores de variación sobre el porcentaje de hinchazón.....	64
XVII.	Análisis de varianza de los factores de variación sobre el módulo de ruptura del ensayo de flexión.....	66
XVIII.	Análisis de varianza de los factores de variación sobre el esfuerzo máximo de tensión paralela a la superficie	68
XIX.	Especificaciones técnicas tableros de aglomerado	75

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A_1	Ancho
\bar{A}	Ancho promedio
C_{\max}	Carga máxima
cm^2	Centímetros cuadrados
cm^3	Centímetros cúbicos
ρ	Densidad
ϵ_0	Espesor inicial
ϵ_f	Espesor final
$\bar{\epsilon}$	Espesor promedio
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
g	Gramos
kg	Kilogramos
L	Largo
\bar{L}	Largo promedio
M_0	Masa inicial
M_f	Masa final
mm	Milímetro
min	Minuto
Pa	Pascales
$\%$	Porcentaje
R	Módulo de ruptura (ensayo flexión)
η	Viscosidad
V	Volumen

GLOSARIO

Aglomerante	Material capaz de unir dos o más sustancias y dar cohesión al conjunto.
Carga de Compactación	Presión o carga 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.
Colofonia	Resina obtenida como el residuo de la destilación de la trementina, proveniente de la savia del árbol de pino.
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
Espécimen	Muestra o modelo de prueba con características definidas.
Hemicelulosa	Es un polisacárido heterogéneo que forma una cadena lineal ramificada.
Hidróxido de sodio	Base orgánica de fórmula química Na(OH).

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 un espécimen en el ensayo de flexión.
Resina	Material orgánico sólido, semisólido o líquido de consistencia viscosa y pegajosa, que posee peso molecular alto y en ocasiones indefinido.
Resistencia a la tensión	Carga máxima resistida por el espécimen entre la sección inicial, antes que se produzca la falla.
Tablero aglomerado	Compuesto elaborado a base de partículas lignocelulósicas y aglomerante, mediante la aplicación de presión y en algunos casos calor.
Tamaño de partícula	Diámetro promedio de partícula definido.
Tamiz	Malla que retiene y permite el paso de ciertas partículas.

RESUMEN

El objetivo del proyecto de investigación fue evaluar las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados elaborados con cascarilla de café (*Coffea arabica*) y diferentes proporciones de colofonia, por el efecto de la carga de compactación y tiempo de prensado. Para la realización del proyecto se caracterizó la cascarilla de café y la colofonia. Asimismo, se elaboraron especímenes de prueba para evaluar las propiedades físico-mecánicas.

Para determinar la composición química de la cascarilla de café se realizaron análisis químicos gravimétricos en el laboratorio de Bromatología, para determinar celulosa, hemicelulosa y lignina. Los resultados muestran un bajo porcentaje tanto de celulosa como de lignina, por lo que se concluye que la cascarilla posee una estructura y aglomeración de partículas débil.

Para la caracterización fisicoquímica de la colofonia se determinó la viscosidad *brookfield*, potencial de hidrógeno y tiempo de secado de seis formulaciones con diferentes proporciones de colofonia, agua e hidróxido de sodio. Luego se eligieron tres de dichas formulaciones para realizar pruebas preliminares y así determinar las proporciones de colofonia, solución de hidróxido de sodio y cascarilla a utilizar en la elaboración de los tableros. Las proporciones de colofonia establecidas fueran 34, 42 y 48 por ciento.

La elaboración de los especímenes de prueba se realizó a 2 diferentes cargas de compactación, 2 tiempos de prensado y 3 proporciones de colofonia como aglomerante. El efecto de estas variaciones se utilizó para evaluar las propiedades físicas de densidad, absorción de agua e hinchamiento en grosor,

así como las propiedades mecánicas de flexión y resistencia a la tensión paralela a la superficie, de acuerdo a la Norma ASTM D 1037-89.

Para analizar los resultados se construyeron gráficos en función de la proporción de aglomerante a las distintas cargas y tiempos de prensado. Tanto la densidad como el módulo de ruptura del ensayo de flexión y la resistencia a la tensión aumentan conforme se incrementa la proporción de aglomerante. Para el caso de los porcentajes de absorción de agua e hinchazón, ambos disminuyen al incrementarse la proporción de aglomerante. Tanto las cargas de compactación como los tiempos de prensado influyeron en menor medida en los resultados obtenidos.

Los especímenes que presentaron las mejores propiedades tanto físicas como mecánicas, fueron los elaborados con 48 por ciento de aglomerante a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 minutos; con los cuales se alcanzó un valor promedio de densidad de 1,09 gramos por centímetro cúbico, clasificándose dentro de los tableros duros (*hardboards*). Asimismo, se obtuvo valores bajos de porcentaje de absorción e hinchazón y valores altos de resistencia a la tensión, cumpliendo con las especificaciones técnicas de los tableros aglomerados en Guatemala. Con respecto a los valores obtenidos con el ensayo de flexión, aun siendo los más altos, estos no cumplen con las características comerciales.

Por último, se puede observar mediante un análisis de varianza, que si existen diferencias significativas entre las propiedades físico-mecánicas de los especímenes elaborados, siendo la proporción de aglomerante la mayor fuente de variación en todos los casos.

OBJETIVOS

General

Evaluar las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados elaborados con cascarilla de café (*coffea arabica*) y diferentes proporciones de colofonia, por el efecto de la carga de compactación y tiempo de prensado.

Específicos

1. Determinar la composición química de los materiales lignocelulósicos presentes en la cascarilla de café.
2. Caracterizar las propiedades físico-químicas del aglomerante a utilizar en la elaboración del tablero aglomerado.
3. Evaluar las propiedades físico-mecánicas de densidad, hinchazón, absorción de agua, esfuerzo máximo de flexión y resistencia a la tensión de los tableros aglomerados, al variar la proporción de aglomerante, en función de la carga de compactación aplicada y el tiempo de prensado.
4. Evaluar las propiedades físico-mecánicas de densidad, hinchazón, absorción de agua, esfuerzo máximo de flexión y resistencia a la tensión de los tableros aglomerados; al variar la carga de compactación aplicada en función de la proporción de aglomerante y el tiempo de prensado.

5. Evaluar las propiedades físico-mecánicas de densidad, hinchazón, absorción de agua, esfuerzo máximo de flexión y resistencia a la tensión de los tableros aglomerados; al variar el tiempo de prensado, en función de la carga de compactación aplicada y la proporción de aglomerante.

HIPÓTESIS

- **Hipótesis científica**

Es posible la utilización de cascarilla de café en la elaboración de un tablero aglomerado, donde las propiedades físico-mecánicas dependen de las variaciones de carga de compactación, tiempo de prensado y proporción de aglomerante.

- **Hipótesis estadística**

Hipótesis nula

Las propiedades físico-mecánicas, de los tableros aglomerados evaluados, son iguales al variar la carga de compactación, el tiempo de prensado y la proporción de aglomerante.

Hipótesis alternativa

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados poseen diferencia significativa al variar la carga de compactación, el tiempo de prensado y la proporción de aglomerante.

INTRODUCCIÓN

Los residuos lignocelulósicos provenientes de las agroindustrias no son una fuente económica explotada. Al contrario son subproductos considerados desechos que no generan un valor agregado, y contribuyen a problemas medioambientales. Es por ello que se ha generado un considerable interés en el aprovechamiento de dichos residuos como materia prima renovable, para el desarrollo de numerosas aplicaciones, entre ellas la elaboración de tableros aglomerados.

Los tableros aglomerados convencionales se manufacturan generalmente con los residuos de la industria maderera, virutas, serrín, entre otros. Sin embargo, aún siendo la madera un recurso renovable, la misma se está agotando debido a la tala y quema inmoderada de árboles; por lo que se ha incrementado la búsqueda de alternativas de fibras lignocelulósicas y de bajo precio.

Entre dichos residuos se encuentra el pergamino o cascarilla de café, proveniente del beneficiado del café, una de las actividades agroindustriales más rentables de Guatemala. La cascarilla es una película color crema-marrón, compuesta por fibras lignocelulósicas. Actualmente es desechada o utilizada como biomasa para quemar en los secadores de los beneficios húmedos de café. Sin embargo, no se trata adecuadamente para darle un valor agregado como materia prima renovable.

Es por ello que este proyecto de investigación tiene como fin evaluar la utilización de la cascarilla de café como materia prima, al elaborar un tablero aglomerado y evaluar sus propiedades físico-mecánicas.

1. ANTECEDENTES

Diversos estudios sobre la elaboración de aglomerados, han propuesto como materia prima los residuos agroindustriales, con el fin de reducir el consumo de madera y aprovechar los materiales considerados desecho en la industria de muebles y de construcción. Entre dichos residuos agroindustriales se encuentran residuos del procesamiento de la madera: virutas y aserrín, fibra de coco, cáscara de arroz y cascarilla de café.

En Guatemala, en el 2005 Sergio Sazo en su trabajo de graduación titulado: Implementación del uso de aglomerados de madera, como alternativa en la industria de muebles, presenta un estudio sobre los aglomerados de madera como alternativa de materia prima, tanto a nivel ambiental como económico, en la fabricación de muebles. En el 2008, Oscar Toj realizó un trabajo de graduación titulado: Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto de coco, para la utilización en matrices fibro-reforzadas, donde presenta la utilización de la fibra de coco como materia prima en los materiales de construcción.

En el 2012, Tania Santa Cruz en su trabajo de graduación titulado: Evaluación de la utilización de epicarpio de maní (*Arachis hipogea*, C. Lineeo) con un ligante polimérico, en la aplicación de especímenes de prueba –paneles menores-, presenta como alternativa de materia prima en la elaboración de aglomerados, la utilización de la cáscara del maní.

Además de los estudios realizados a nivel nacional, en el 2009 en la Universidad EAFIT, Colombia, se presentó el trabajo titulado: Optimización de

propiedades mecánicas y térmicas de un aglomerado sintético por el método de Taguchi, utilizando cascarilla de arroz, arcilla, arena y gel de aloe como materias primas, para la elaboración de un material compuesto aglomerado.

En el 2012 como parte del informe del Primer Congreso Cafetalero del norte de Nicaragua, Karla Dávila y Aura María Amador presentaron el estudio de validación de máquina briquetadora para el aprovechamiento de cascarilla de café, donde planteaban la utilización de cascarilla de café con almidón como aglutinante, para la elaboración de briquetas como combustible. En el mismo informe el Ing. Jimmy Sierra presentó el estudio de aprovechamiento de la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción, utilizando cemento y agua para elaborar los bloques de bioconcreto.

2. MARCO TEÓRICO

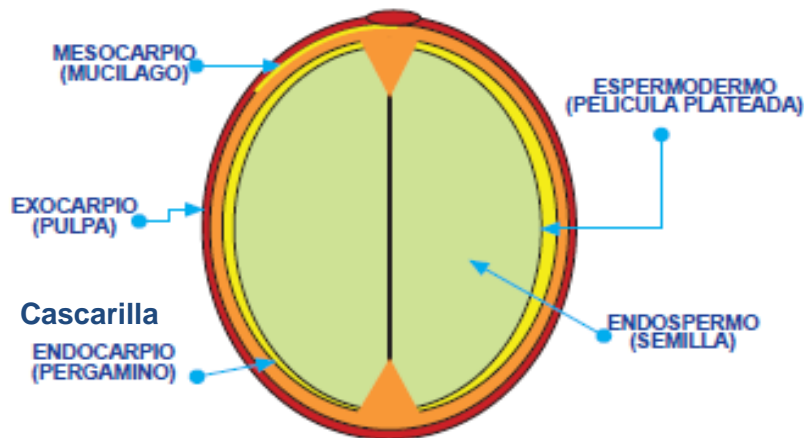
2.1. El café

El café es el nombre de la planta de cafeto, arbusto de la región tropical de la familia de los rubiáceos. Generalmente las especies de café que tienen importancia económica son: *coffea arabica* y *coffea canephora*. Este último se adapta a terrenos llanos y se utiliza en su mayoría para la fabricación de café soluble o instantáneo y en mezclas. El *coffea arabica* es el que presenta el mayor porcentaje en la producción mundial de café. El de mayor calidad se produce en tierras altas debido a que su cultivo es más delicado.

El cafeto es una planta gimnosperma y leñosa que crece en condiciones de sombra. Su fruto o semilla de café consta de dos núcleos con forma plana-convexa. Inicialmente es de color verde, al madurar posee un color rojo-púrpura, al que se le conoce como cereza de café.

En la figura 1 se presenta un esquema de la composición general del fruto del café. Éste consta de 5 partes internas. El endospermo o semilla, el cual consta de la semilla en sí y del embrión (superficie convexa de la semilla conformada por dos cotiledones). El espermodermo, que es la película plateada que envuelve la semilla. El endocarpio o pergamino, conocido como cascarilla, que es la película color crema-marrón. El mesocarpio, que es el mucílago o goma de color cremoso. Y por último el exocarpio, que es la pulpa o cáscara de color rojo en su estado de madurez.

Figura 1. **Composición del fruto de café**



Fuente: Instituto Interoamericano de Cooperación para la agricultura. *Guía técnica para el beneficiado de café protegido bajo indicación geográfica o denominación de origen*. Guatemala: IICA, 2010. p 15.

El exocarpio de café representa el 28,2 por ciento del peso total del fruto y el mucílago representa el 4,7 por ciento. El endocarpio representa el 11,9 por ciento y el endospermo en conjunto con el espermodermo, que corresponden al grano procesado de café, representan el 55,2 por ciento del peso total.

2.2. **Beneficiado de café**

El beneficiado es el procesamiento del café que consta de una serie de etapas para la estabilización de sus cualidades y la preparación para su exportación. El beneficiado se puede llevar a cabo por dos vías: vía húmeda y vía seca.

El café procesado por la vía húmeda es el más reconocido a nivel mundial por tener un sabor suave, delicado y fino. Este se diferencia del café procesado por la vía seca ya que el café es lavado antes del secado del grano.

En Guatemala el café es procesado por la vía húmeda, la cual consta de dos fases: beneficiado húmedo y beneficiado seco.

2.2.1. Beneficiado húmedo

El beneficiado húmedo, es la fase que comprende las etapas desde la recolección hasta la obtención de café pergamino en seco, clasificando y seleccionando en cada etapa el fruto del café.

2.2.1.1. Recolección

La recolección es el inicio del beneficiado. En el proceso se deben cortar únicamente los frutos maduros del café y separar los frutos verdes, sobremaduros, secos y/o enfermos, para obtener mayor calidad en el café.

2.2.1.2. Recibo

El recibo de café cereza puede hacerse en tolva seca o húmeda. La tolva seca, como su nombre lo dice no utiliza agua para el transporte de las cerezas a su destino, sino la fuerza de gravedad; en la tolva húmeda, las cerezas son transportadas hacia la despulpadora por medio de una corriente de agua.

2.2.1.3. Despulpado

Es el proceso mecánico de separación del grano de la pulpa, mediante la acción lubricante del mucílago que contribuye a que las fuerzas que presionan el grano en la despulpadora separen la pulpa.

2.2.1.4. Remoción del mucílago

El mucílago es una capa viscosa constituida en su mayoría por azúcares y sustancias pécticas que le dan la forma de hidrogel coloidal insoluble en agua, que dificulta el lavado del grano y su posterior secado, por lo que debe separarse para evitar deterioro en la calidad del café. La remoción del mucílago puede realizarse por tres formas:

2.2.1.4.1. Fermentación enzimática

Es un tipo de fermentación natural, donde el mucílago se hidroliza debido a las reacciones bioquímicas que ocurren por la presencia de enzimas, bacterias, hongos y levaduras, que permiten la degradación de la pectina. El tiempo de fermentación depende de las zonas donde se beneficie el café, desde 10 a 18 horas.

2.2.1.4.2. Fermentación química

Este tipo de fermentación es similar a la fermentación enzimática, con la diferencia que se utilizan sustancias químicas para acelerar la degradación de la pectina, entre ellas: hidróxido de calcio, sulfato ferroso y cloruro de calcio. Sin embargo este tipo de fermentación se ha desechado.

2.2.1.4.3. Desmucilaginado mecánico

Este tipo de remoción, se realiza mediante un rotor, el cual causa que los granos giren y se friccionen entre ellos, provocando la separación del mucílago que recubre al grano. En la parte superior del equipo, se incluye la sección de lavado del café donde el flujo de agua se agrega a contracorriente.

2.2.1.5. Secado

El fin del secado en el beneficiado, es llevar el café en pergamino hasta un contenido de humedad entre 10-12 por ciento, en base húmeda, para un buen manejo en el almacenamiento. Tradicionalmente se efectúa un secado solar en patios, donde se remueven y voltean los granos frecuentemente para obtener uniformidad en el secado. El secado también se efectúa en secadores. Los más comunes son los secadores rotatorios o guardiola.

2.2.2. Beneficiado seco

El beneficiado seco, comprende las etapas de preparación del café pergamino seco a café oro para exportación. En esta fase se eliminan los granos dañados por acción manual o mecánica.

2.2.2.1. Limpieza de café pergamino

La limpieza se realiza con el objeto de depurar materias extrañas (piedras, hojas, basura) del café pergamino seco. Este proceso se realiza en cribas o zarandas que poseen un determinado tamiz o malla.

2.2.2.2. Trillado

Es el proceso por el cual se desprende la cascarilla o pergamino del grano de café para obtener café oro. Éste proceso se realiza en máquinas conocidas como trilladoras.

2.2.2.3. Limpieza y clasificación del café oro

Los granos de café oro deben ser depurados de restos de pergamino y materiales extraños procedentes de las trillas para obtener muestras limpias de café oro. Este proceso se realiza en cribas o zarandas que clasifican el café por tamaño y densidad. Por último el café se traslada a una clasificadora electrónica que selecciona las imperfecciones según patrones de color y forma establecidos.

2.2.3. Manejo de subproductos de café

Durante el beneficiado de café se obtienen varios subproductos los cuales deben ser manejados adecuadamente para obtener subproductos con valor agregado y evitar que su disposición contamine el medio ambiente. Entre los subproductos más importantes se encuentran: el mucílago, la pulpa y la cascarilla.

2.2.3.1. Cascarilla

La cascarilla de café es el endocarpio o pergamino retirado del grano en el proceso de trillado. Comúnmente se conoce como cascabillo. Está compuesta generalmente de lignina, celulosa, hemicelulosa, pentosas, furfural, grasas y humedad. Regularmente la cascarilla se vende como biomasa para quemar en los secadores del beneficiado húmedo debido a su alta capacidad calorífica, pero sin ningún valor agregado. Actualmente se han realizado investigaciones para utilizar la cascarilla como materia prima para producción de furfural, pectinas, concentrados de animales, entre otros.

2.3. Aglomerados

Los aglomerados son materiales compuestos (*composites*) formados por la unión de dos o más constituyentes, para obtener propiedades físicas y mecánicas diferentes y más favorables a las propiedades de los materiales por separado. Los compuestos que forman estos materiales son insolubles entre sí, por lo que al unirse forman dos fases, continua y dispersa. La fase continua se conoce como matriz, la cual imparte las propiedades físico-químicas al material compuesto. Ésta cohesiona y da soporte a la fase dispersa llamada agente reforzante, la cual imparte sus propiedades mecánicas y eléctricas para mejorar las propiedades de la matriz.

Generalmente los aglomerados están formados por materiales lignocelulósicos como el agente reforzante y un aglomerante llamado resina como la matriz. Muchos de los aglomerados convencionales se encuentran disponibles en forma de paneles o tableros.

2.3.1. Materiales lignocelulósicos

Generalmente los materiales lignocelulósicos provienen de fibras naturales, que por su origen se conocen como fibras vegetales. Dependiendo de la parte de la planta donde procedan, éstas se pueden clasificar en:

- Hierbas y cañas como bamboo y caña de azúcar
- Hojas: fibras de piña y henequén
- Corteza o tronco: yute, cáñamo, lino, ramio
- Paja: de maíz y arroz
- Semilla: algodón y fibra de coco
- Madera

La fuente tradicional de las fibras lignocelulósicas es la madera y sus derivados como aserrín y virutas. Sin embargo otras fuentes importantes provienen de las fibras de residuos agroindustriales como arroz, bagazo de caña y fibras de coco.

2.3.1.1. Composición química

Los materiales lignocelulósicos son fibras compuestas de celulosa, hemicelulosa y lignina. En menor porcentaje se encuentran otros componentes llamados extraíbles, sales orgánicas e inorgánicas de bajo peso molecular, que en algunos casos contribuyen con la durabilidad de las fibras.

2.3.1.1.1. Celulosa

Ésta es la base estructural y el componente más abundante. Es un polímero formado por unidades de D-glucopiranosas unidas por enlaces glucosídicos β (1,4). Hay cadenas de celulosa desde 700 a 25 000 unidades de glucosa, dependiendo de la fuente. Debido a los grupos hidroxilo presentes, las moléculas de celulosa forman enlaces de hidrógeno con facilidad, lo que da la característica de formar grandes redes o estructuras cristalinas. Es por ello que la celulosa es la base estructural de muchos materiales.

2.3.1.1.2. Hemicelulosa

Brinda resistencia y es el elemento intermediario entre la celulosa y la lignina. Es un polímero de cadenas cortas y ramificadas de azúcares, generalmente xilosa y arabinosa en mayor proporción, y en menos glucosa, galactosa, manosa y ácidos urónicos.

2.3.1.1.3. Lignina

Es el aglomerante de las fibras y protege contra la humedad. Es un polímero alifático-fenólico, componente fundamental de las plantas. Posee un rol importante en la matriz amorfa que rodea a las fibras de la celulosa, debido a su compleja reticulación y los enlaces covalentes que forma con la hemicelulosa.

2.3.1.1.4. Taninos

Son metabolitos secundarios formados por compuestos fenólicos naturales solubles en agua. Son comúnmente extraídos de las plantas. Se distinguen dos clases: los taninos condensados o poliflavonoides y los taninos hidrolizables. Los más comunes son los taninos condensados ya que usualmente se encuentran en la madera de las plantas leñosas.

2.3.2. Aglomerantes

El aglomerante es la matriz empleada para adherir las fibras lignocelulósicas en los tableros aglomerados y aumentar su impermeabilidad. En la producción comercial de un tablero aglomerado se utiliza una matriz polimérica llamada resina.

Entre las propiedades que caracterizan a los aglomerantes se encuentran su viscosidad, grado de pegajosidad (*tacking*), características de endurecimiento (reactividad), estabilidad de almacenamiento, calidad de encolado, resistencia a la humedad, bajo costo y reducción de emisiones durante su producción.

2.3.2.1. Tipos de aglomerantes

Generalmente los aglomerantes utilizados son resinas sintéticas. Sin embargo debido a la demanda de productos más amigables con el medio ambiente, se han desarrollado adhesivos naturales o biodegradables provenientes de fuentes renovables.

2.3.2.1.1. Resinas aminoplásticas

Las resinas aminoplásticas son la clase de adhesivos más importantes en la industria de madera y tableros aglomerados. Están formadas por la reacción de urea y/o melanina con formaldehído. En base a las materias primas utilizadas se pueden nombrar:

- Resinas ureicas (UF)

Las resinas urea-formaldehído (UF), son resinas termoestables que consisten en polímeros lineales o ramificados en mezcla con cierta cantidad de monómeros. En su aplicación las resinas urea-formaldehído son usadas como soluciones o dispersiones acuosas o en forma de polvos solubles. Luego del endurecimiento las resinas urea-formaldehído son insolubles y no se pueden volver a fundir.

Entre las características de este tipo de resinas, se encuentra su alta reactividad, baja resistencia a la humedad a elevadas temperaturas, color blanco e inodora. Por dichas características las resinas urea-formaldehído son usadas principalmente para interiores y en condiciones secas como es el caso de la industria de muebles. Además alcanzan períodos cortos de tiempo de prensado en caliente, una ventaja deseable en la producción de tableros.

- Resinas melamínicas

La necesidad de aumentar la resistencia a la hidrólisis, dio lugar a la incorporación de melamina a los adhesivos. Entre este tipo de resinas se encuentra las resinas melamina-formaldehído (MF), por condensación de urea-melamina-formaldehído (MUF) y por condensación de urea-melamina-fenol-formaldehído (MUPF). Además de la resistencia a la humedad, este tipo de resinas son resistentes al calor y a la mayoría de ácidos.

Las resinas melamínicas son producidas por policondensación de melamina y formaldehído. Para el caso de las resinas MUF, éstas se forman por policondensación de melamina, formaldehído y urea, o por la mezcla de las resinas MF y UF. Las resinas MUPF contienen pocas cantidades de fenol, añadidas para incrementar la resistencia a la humedad en exteriores.

2.3.2.1.2. Resinas fenólicas

Las resinas fenólicas presentan alta resistencia a la hidrólisis debido al enlace carbono-carbono entre el grupo aromático y el puente metilénico. Por lo tanto son pegamentos usados para tableros de exteriores y en revestimientos. Otra ventaja es la baja emisión de formaldehído después del endurecimiento. Sin embargo el tiempo de prensado necesario para el endurecimiento es más largo en comparación a las resinas ureicas, lo que presenta una desventaja en su utilización.

Las resinas fenólicas contienen cadenas oligoméricas y poliméricas, monómeros metil-fenol, formaldehído libre y fenol sin reaccionar. La cantidad de monómeros es indeseable y puede ser minimizada en la preparación de la resina. Éstas son producidas por la condensación de fenol y formaldehído,

utilizando álcalis como catalizadores. El álcali se utiliza para favorecer la condensación del metileno y no la del éter de metileno.

2.3.2.1.3. Resinas termoplásticas

Entre estas resinas se encuentran las resinas *hot melts* (fusión en caliente) que son para aplicación a altas temperatura. Están compuestas por etileno-vinil-acetato (EVA) como polímero base, adherentes como resinas de hidrocarburos alifáticos o aromáticos, y por resinas naturales como colofonia y politerpenos. Entre sus características se encuentran su alta velocidad de enfriamiento, baja evaporación de agua o de solvente, alta fuerza de adherencia, entre otras.

Otro tipo de resinas termoplásticas son los adhesivos de polivinilo. Estas resinas son las más utilizadas para adherir madera y papel. Entre este tipo de adhesivos se encuentra alcohol polivinilo, éter de polivinilo y acetato de polivinilo (PVAc), éste último como el más usado.

- Resinas de acetato de polivinilo (PVAC)

Este tipo de resinas es una de las más importantes en la industria de muebles y carpintería. Está formada por acetileno y ácido acético. En la aplicación se utiliza agua como disolvente. Se caracteriza por ser incolora en la aplicación, corto tiempo de fraguado, larga vida de almacenamiento, fácil uso y limpieza.

En la aplicación, el agua es removida al ser penetrada en la madera o por evaporación, con lo que se logra una buena resistencia a la unión y a la

humedad. Además posee una buena resistencia mecánica, resistencia a la descomposición bacteriana, rapidez de secado y fácil aplicación.

2.3.2.1.4. Adhesivos naturales

Éste tipo de adhesivos ha sido objeto de muchas investigaciones, sin embargo la aplicación industrial aún no ha sido muy desarrollada. Entre este tipo de adhesivos se encuentran los taninos, ligninas, politerpenos y polímeros basados en carbohidratos.

- Adhesivos de almidón

El almidón está formado por dos polímeros, amilosa y amilopectina. La alta fuerza de unión entre las moléculas causa que los gránulos permanezcan enlazados e impide que el almidón actúe como adhesivo a bajas temperaturas. Por lo tanto el almidón debe ser modificado por calor, por tratamiento químico, o por oxidación.

- Dextrinas

Las dextrinas son el producto del tostado del almidón utilizando ácido como catalizador. Éstas se dividen en: blancas, amarillas y goma británica. La diferencia entre las mismas está determinada por el tiempo de tostado, la temperatura y la proporción de catalizador usado.

La dextrina blanca es producida a bajas temperaturas (120-130 grados Celsius) entre 3–7 horas a alta concentración de catalizador. Posee un grado de polimerización menor a 20 y poca solubilidad en agua. La dextrina amarilla se produce a temperaturas más altas (135-160 grados Celsius) entre 8-14 horas y

en presencia de menor cantidad de catalizador. Es soluble en agua, estable y no posee problemas de retrogradación. La goma británica se produce a temperaturas entre 150-180 grados Celsius por 10-24 horas, con una escasa cantidad de catalizador. Posee un color oscuro y un amplio rango de solubilidad en agua. No tiende a la retrogradación y es más viscosas que la dextrina amarilla.

- Terpenos

Los terpenos son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas y en algunos hongos, insectos y microorganismos marinos. La unidad de isopreno es el esqueleto básico de los terpenos, por lo que los demás se consideran derivados del isopreno.

Las resinas comercialmente disponibles para la aplicación en adhesivos, son los politerpenos. Éstos son sintetizados a partir de la polimerización de los monoterpenos hidrocarbonados. Entre sus características se encuentran el brillo, la flexibilidad, viscosidad, pegajosidad tanto como base de disolvente como para sistemas de fusión en caliente, e incremento en la densidad de las ceras de encolado. Sin embargo son sensibles a la oxidación atmosférica, lo que conduce a la pérdida progresiva de pegajosidad.

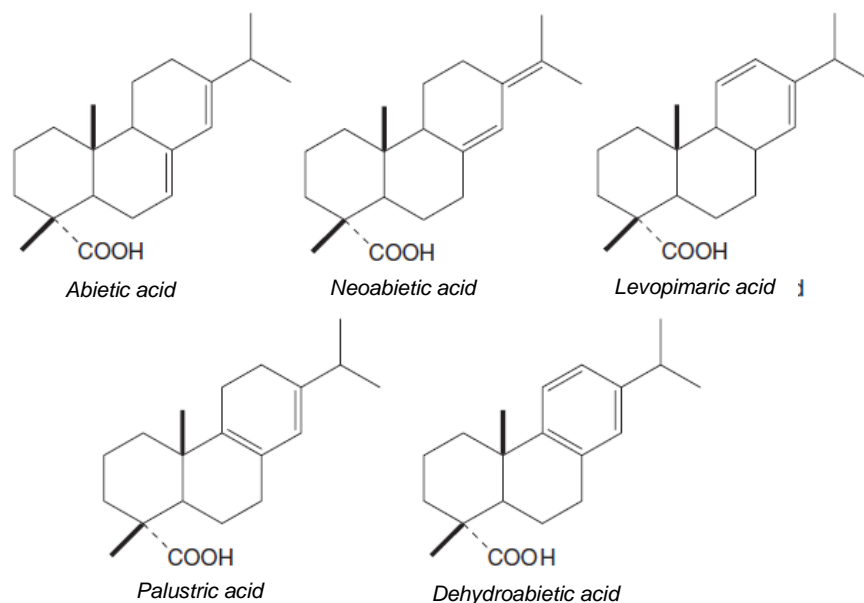
- Colofonia (*Rosin*)

La colofonia y sus derivados poseen propiedades similares a la de los politerpenos. La colofonia o *rosin* es el residuo no volátil de la destilación de la resina de pino (u otros árboles de coníferas) para la obtención de la fracción volátil, la terpentina.

La colofonia está conformada entre un 90-95 por ciento de ácidos monocarboxílicos diterpénicos o ácidos resínicos, con fórmula genérica $C_{19}H_{29}COOH$.

Los ácidos resínicos tipo abietano son los más dominantes en la mayoría de las resinas de colofonia. Sin embargo se encuentran otro tipo de ácidos del tipo pimarano, isopimarano y menos común los del tipo labdano.

Figura 2. **Estructuras de los ácidos resínicos más comunes del tipo – abietano**



Fuente: NACEUR BELGACEM, Mohamed; GANDINI, Alessandro. *Monomers, polymers and composites from renewable resources*. Gran Bretaña: Elsevier, 2008. p.68.

La colofonia y sus derivados son componentes en las formulaciones de adhesivos desde los 80's. Principalmente las resinas de colofonia se encuentran presentes en adhesivos sensibles a la presión, fusión en caliente y selladores.

2.3.3. Tipos de aglomerados

Los tableros aglomerados se dividen en tres categorías principales en base a la configuración física de los materiales lignocelulósicos: tableros de fibras, tableros de partículas y tableros contrachapados.

2.3.3.1. Tableros contrachapados

Los tableros contrachapados, son los fabricados con varias láminas o chapas orientadas alternativamente. El aglomerado está conformado por un número de capas impar, generalmente posee tres capas. Para su fabricación las fibras se pegan y alternan entre sí, lo que influye en una mayor resistencia mecánica que otro tipo de tablero. Las colas utilizadas pueden ser gomas naturales o sintéticas con alta capacidad de adherencia y resistentes a la humedad.

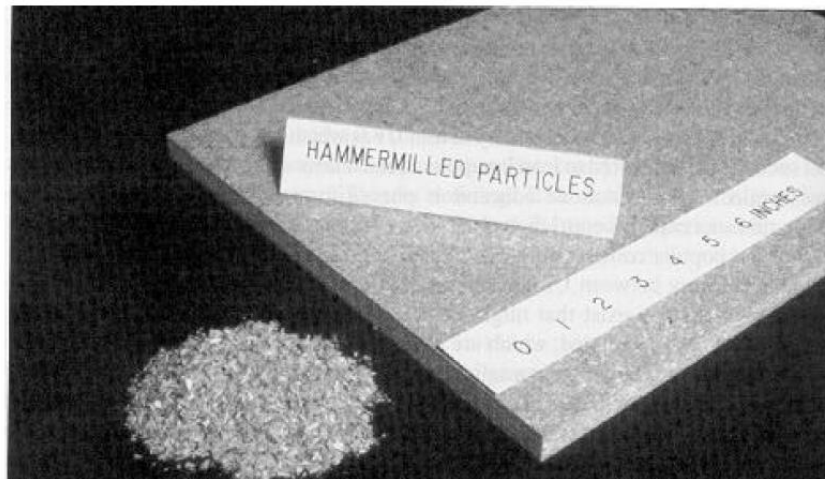
2.3.3.2. Tableros de partículas

Los tableros de partículas, son los comúnmente conocidos como aglomerados, que surgieron de la necesidad de disponer de las grandes cantidades de aserrín, virutas y otros materiales de desecho. Estos tableros están fabricados por la unión de partículas y resinas encolantes.

Para la elaboración del tablero, el material lignocelulósico es molido (generalmente en un molino de martillos) para la producción de pequeñas partículas. Las partículas son conglomerados de fibras que no han sido terminadas de separar entre sí, con tamaño y forma diversa. Dichas partículas son consolidadas en forma de panel, por la aplicación del adhesivo y posterior

prensado. En la figura 3 se presenta un ejemplo de los tableros de partículas comunes.

Figura 3. **Tableros de partículas**



Fuente: ROWELL Roger M.; YOUNG Raymond A.; ROWELL, Judith K.; *Paper and composites from agro-based resources*. Nueva York: Lewis Publishers. 1997. p. 278.

2.3.3.3. Tableros de fibras

Los tableros de fibras difieren de los tableros de partículas en la configuración física del material. Los tableros de fibras están conformados por fibras completamente separadas entre sí.

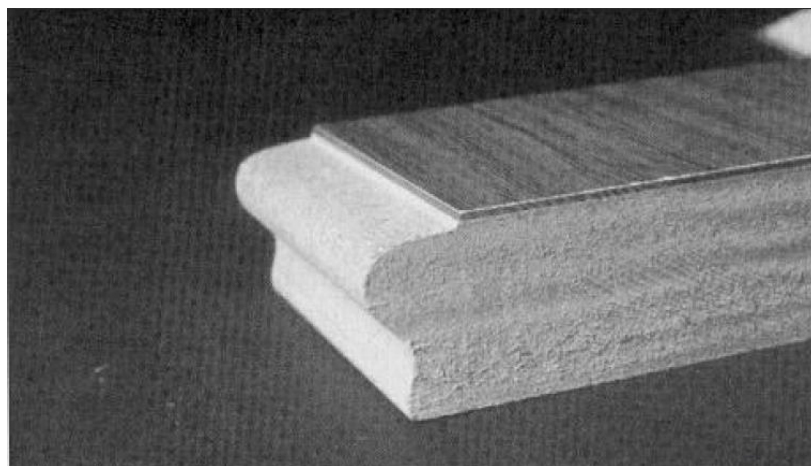
Según la FAO un tablero de fibras es un tablero fabricado con fibras de madera u otros elementos lignocelulósicos utilizando como ligazón primaria las fibras afieltradas y sus propiedades de cohesión inherentes.

Los materiales lignocelulósicos son de naturaleza fibrosa. Sin embargo para producir un tablero de fibras, deben de romperse los ligamentos entre las

fibras para que los componentes finales sean fibras separadas. Este procedimiento se lleva a cabo por tratamiento químico, térmico o únicamente por tratamiento mecánico a través de un molino de discos.

Para la unión de las fibras en forma de panel, las fibras se adhieren por sus inherentes propiedades adhesivas, debido a la lignina, que es el componente que une las fibras entre sí a determinadas condiciones. Sin embargo agentes encolantes u otros aditivos son agregados para la fabricación de los tableros.

Figura 4. **Tableros de fibras de densidad media**



Fuente: Roger M Rowell, Raymond A. Young, Judith K. Rowell. *Paper and composites from agro-based resources*. Nueva York: Lewis Publishers, 1997. p. 286

Los tableros de fibras se pueden clasificar según la FAO en tableros prensados y no prensados. Entre los tableros no prensados se incluyen los tableros aislantes y de baja densidad entre 0,02 – 0,4 gramo por centímetro cúbico. Entre los tableros prensados se incluyen los tableros de densidad media (MDF), con una densidad entre 0,5 – 0,8 gramo por centímetro cúbico y los

tableros duros (*hardboards*), con densidad superior a 0,8 gramo por centímetro cúbico.

Los tableros de densidad media son procesados en seco, añadiendo adhesivos y otros aditivos en la etapa de mezcla. Los tableros duros pueden ser prensados tanto en seco como en húmedo y con o sin adhesivos. Los tableros procesados en húmedo poseen una cara lisa y otra rugosa. Esta característica se debe a la evacuación del agua que transporta las fibras en el proceso. Por el contrario los tableros procesados en seco poseen las dos caras lisas.

2.3.4. Proceso de elaboración de los tableros

El proceso de elaboración de los tableros aglomerados, comprende las etapas desde la preparación de la materia prima hasta el dimensionamiento de los tableros elaborados. Inicialmente se recolecta la materia prima, que se utiliza como agente reforzante del material compuesto.

2.3.4.1. Preparación de materia prima

Posterior a la recolección de la cascarilla de café se realiza un estudio de granulometría para seleccionar el tamaño de partícula a utilizar en la elaboración de los especímenes. El procedimiento comienza con la molienda y secado de la cascarilla de café y finaliza con el tamizaje de la misma.

2.3.4.1.1. Reducción de partícula

La reducción del tamaño de partícula consiste en triturar la materia prima con el fin de obtener partículas de menor tamaño y más uniformes. Esto se debe a que si las partículas son de gran tamaño, éstas afectan la calidad del

aglomerado por defectos en la configuración interna. Sin embargo se debe tomar en cuenta que si las partículas son muy pequeñas, el área superficial aumenta y por lo tanto la cantidad de resina requerida.

2.3.4.1.2. Secado de partículas

El secado de sólidos consiste en la reducción del contenido de agua u otro líquido residual hasta un valor de humedad aceptado. El contenido de humedad se encuentra usualmente en un rango de 4-8 por ciento, necesario para evitar la aglomeración de partículas en la etapa de clasificación.

2.3.4.1.3. Clasificación de partícula

Las partículas se tamizan para remover el polvo y separar las partículas por tamaño. Esto con el fin de determinar el tamaño de partícula de la materia prima y obtener forma y tamaño uniforme. Además la separación de los polvos disminuye la absorción de una gran cantidad de resina.

2.3.4.2. Mezclado de partículas y resina

El mezclado es la dispersión de resina en la cascarilla. El tipo y cantidad de resina a utilizar depende del tipo de tablero deseado. La cantidad de resina se encuentra entre 4-15 por ciento, en base a la cantidad de sólidos totales presentes. Usualmente la resina es dispersada en agua para un mezclado homogéneo con las partículas lignocelulósicas.

2.3.4.3. Formación o moldeado

Después de la preparación de la mezcla, ésta debe dispersarse uniformemente en una manta o estera consistente, la cual será prensada posteriormente. Esto se puede realizar por lotes o de forma continua. En un sistema por lotes se emplea un molde o bandeja. En un sistema continuo la mezcla se dispersa en una o varias capas o sobre una cinta en movimiento.

2.3.4.4. Prensado

El prensado consiste en la compactación y conformado de la manta de partículas ejerciendo presión. El proceso se realiza a determinadas cargas y tiempos de compactación. Además puede llevarse a cabo a elevadas temperaturas, donde se le conoce como termo-compresión. Sin embargo si el prensado se realiza artesanalmente, el aglomerado se debe de someter a tiempos más largos de compactación.

2.3.4.5. Secado del aglomerado

El secado se puede realizar a temperatura ambiente o en hornos. El proceso consiste en el acondicionamiento del contenido de humedad de los tableros o paneles, con el propósito de distribuir uniformemente la humedad en el interior y aumentar la eficiencia del aglomerante. Este proceso es de gran importancia, principalmente cuando el prensado no se lleva a cabo a altas temperaturas, por lo que el calor no penetra al interior y por lo tanto el aglomerante no se endurece.

2.3.4.6. Dimensionamiento y almacenamiento

Para el almacenamiento, los tableros se deben haber enfriado previamente para que los paneles sean recortados con sierras u otro instrumento para obtener los paneles de las dimensiones requeridas.

2.3.5. Propiedades evaluadas en los aglomerados

A los tableros aglomerados se les evalúa generalmente propiedades físicas y mecánicas. Las propiedades más comunes de importancia comercial, se enlistan a continuación:

- **Densidad**

La densidad es la relación entre la masa y volumen del material. Todo sólido posee dos tipos de densidades real y aparente. La densidad real, es la del sólido intrínseco, sin cavidades. La densidad aparente, es la densidad que toma en cuenta las cavidades que lo rodean al almacenarse. Esta última depende de la densidad real, de la forma, del tamaño y del estado de compactación del sólido.

- **Hinchazón y absorción de agua**

Un cuerpo sólido al sumergirse en agua tiene la propiedad de aumentar su volumen hasta que el cuerpo se satura de agua. El cambio de volumen o hinchazón se expresa como la relación de la diferencia del espesor del cuerpo húmedo y cuerpo seco, entre el espesor del cuerpo seco. La absorción de agua se expresa como la relación de la diferencia de pesos húmedos y secos, entre el peso seco del material.

- Tensión paralela a la superficie

Es la resistencia máxima obtenida al aplicar fuerza en ambos extremos del material o espécimen de prueba. Se mide la deformación o estrés del espécimen hasta que éste sobrepasa su límite de deformación elástica y se deforma permanentemente o se fractura.

- Flexión estática

Es el esfuerzo o trabajo obtenido cuando un material descansando sobre sus apoyos es sometido a fuerzas de compresión sobre su sección central o centro de carga. Cuando las fuerzas de compresión se aplican en dirección perpendicular a la superficie, las fibras del material o espécimen de prueba tienden a flexionarse hasta su deformación.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A partir de los antecedentes de estudio y las pruebas preliminares se determinaron las variables dependientes e independientes del proceso, las cuales se detallan en la tabla I.

Tabla I. Variables de proceso

Variables	Independiente	Dependiente	Constante	No constante
Proporción de aglomerante	x			x
Tamaño de partícula de la cascarilla	x		x	
Carga de compactación	x			x
Tiempo prensado	x			x
Densidad		x		x
Hinchazón		x		x
Absorción de agua		x		x
Esfuerzo máximo de flexión		x		x
Resistencia a la tensión paralela a la superficie		x		x

Fuente: elaboración propia.

Las variables independientes que se manipularon con el fin de influir en las variables dependientes de la investigación se presentan en la tabla II.

Tabla II. **Variables a manipular**

No.	Variable	Dimensional
1	Proporción de aglomerante	% masa
2	Carga de Compactación	kg/cm ²
3	Tiempo de Prensado	min

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El campo de estudio de esta investigación corresponde al aprovechamiento de subproductos, específicamente de residuos de productos agrícolas. La cascarilla de café procede del beneficio seco Los Olivos, Villa Nueva, Guatemala. La realización de los aglomerados se llevó a cabo en la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

La Sección de Tecnología de la Madera y la Sección de Metales y Productos Manufactureros apoyaron en el desarrollo experimental de la investigación. El personal que participó en la asesoría y realización de la misma se detalla a continuación:

- Investigador: Brenda María Monterroso Waight
- Asesor de Investigación: Inga. Qca. Adela María Marroquín

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos con los que se contó para el desarrollo de la investigación se clasifican en materia prima, materiales y reactivos, equipo y cristalería e instrumentación.

3.4.1. Materia prima

Se utilizó la cascarilla o pergamino de café procedente del beneficio seco Los Olivos, Villa Nueva, Guatemala. La cascarilla proveniente de los guardapolvos se recolectó en sacos como se muestra en la figura 5.

3.4.2. Materiales y reactivos

Los materiales y reactivos utilizados en la investigación incluyen la resina de colofonia, la cual se empleó como aglomerante y el hidróxido de sodio, el cual se utilizó para modificar la solubilidad de la resina en la preparación de la mezcla.

3.4.3. Equipo

El equipo detallado a continuación fue utilizado para la elaboración de los aglomerados así como para la medición de las variables en la caracterización de la materia prima y evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los aglomerados.

- Balanza analítica
- Balanza de humedad
- Tamiz

- Plancha de calentamiento Fisher Isotemp
- Recipientes de aluminio
- Moldes de hierro negro
- Prensa hidráulica

Figura 5. **Fotografía de la prensa hidráulica utilizada**



Fuente: taller de la Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

3.4.4. Cristalería e instrumentación

La cristalería e instrumentación detallada a continuación fue utilizada como auxiliar tanto para la elaboración de los aglomerados como para la evaluación de las propiedades físicas en los ensayos de las probetas.

- Probetas
- Beakers

- Piseta
- Varillas de agitación
- Termómetro
- Calibrador vernier digital

3.5. Técnica cualitativa y cuantitativa

En el desarrollo de la fase experimental se utilizó la técnica cuantitativa tanto en la medición de las variables independientes como para determinar las variables de los resultados de la investigación. Para cuantificar la composición química de la cascarilla de café se utilizó un análisis químico gravimétrico, en el caso de la caracterización de la colofonia como aglomerante, se determinó la viscosidad *brookfield* de acuerdo a la Norma ASTM D2556-89.

Para evaluar las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados se cuantificaron las variables de densidad, porcentaje de hinchazón y absorción de agua, resistencia a la tensión paralela a la superficie y esfuerzo máximo de flexión utilizando el método descrito en las secciones correspondientes de la Norma ASTM D1037-89.

3.6. Recolección de la información

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

3.6.1. Caracterización de cascarilla de café

Se caracterizó la composición química de la cascarilla de café de acuerdo a un análisis químico gravimétrico realizado por el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. EL análisis se determinó fibra ácido detergente, fibra neutro detergente y lignina. Con dichos valores se obtuvo los porcentajes de celulosa y hemicelulosa presentes.

3.6.2. Caracterización físico-química del aglomerante

El aglomerante utilizado fue la colofonia, la cual se modificó disolviéndola en agua e hidróxido de sodio para mejorar su disolución y el manejo en el proceso de mezclado con la cascarilla. Las proporciones de agua e hidróxido de sodio utilizadas, se definieron en base a la caracterización fisicoquímica realizada a 6 formulaciones propuestas de aglomerante, las cuales se muestran en la tabla III.

Tabla III. **Formulaciones de aglomerante**

No. Muestra	Formulación	
	Colofonia : agua	Agua : hidróxido de sodio
1	1 : 1	12 : 1
2	1,5 : 1	24 : 1
3	2 : 1	24 : 1
4	2,5 : 1	24 : 1
5	2,5 : 1	32. : 1
6	4,5 : 1	24 : 1

Fuente: elaboración propia.

Como parte de la caracterización realizada se determinó la viscosidad, potencial de hidrógeno y tiempo de secado, según el procedimiento descrito a continuación.

3.6.2.1. Determinación de viscosidad

Se realizó un análisis de viscosidad de acuerdo a la Norma ASTM D2556-89. Para ello se utilizó un viscosímetro de *brookfield*, midiendo la viscosidad a una temperatura cercana al punto de ablandamiento de la misma. Se utilizó para las dos primeras formulaciones la aguja de rotación no. 62, y para el resto la aguja no. 64.

3.6.2.1.1. Aparatos

Para la realización del ensayo se necesitan *beakers* para la colocación de las muestras, un viscosímetro de *brookfield* con las agujas apropiadas a la muestra, soporte universal para colocar el viscosímetro y un termómetro para la medición de la temperatura.

3.6.2.1.2. Condiciones

Las muestras de las formulaciones de los aglomerantes se deben mantener a la temperatura acordada, en este caso debido a que el aglomerante se trabaja en caliente, la temperatura acordada se encuentra en el punto de ablandamiento.

3.6.2.1.3. Procedimiento

El procedimiento experimental para determinar la viscosidad de las 6 formulaciones de aglomerante se detalla a continuación, según lo establecido en la Norma ASTM D2556-89.

- Preparar las muestras según las formulaciones establecidas.
- Calentar las muestras hasta el punto de ablandamiento.
- Medir la temperatura de la muestra.
- Seleccionar la aguja apropiada para el viscosímetro.
- Colocar el viscosímetro en el soporte y calibrarlo.
- Colocar la aguja de rotación en el extremo del eje vertical hacia abajo en el centro de la carcasa.
- Sumergir lentamente el eje rotacional en el *beaker* de la muestra hasta la profundidad indicada.
- Accionar el motor del viscosímetro a la menor velocidad.
- Observar el valor dado por el viscosímetro hasta que se constante. De lo contrario aumentar las revoluciones por minuto.
- Anotar el valor de lectura indicado por el viscosímetro y el factor de acuerdo a la aguja y velocidad utilizadas.

3.6.2.2. Determinación del pH

Se determinó el potencial de hidrógeno de las 6 formulaciones propuestas, para analizar el efecto que posee el hidróxido de sodio en la colofonia y así establecer el cuidado en el manejo del aglomerante en la elaboración de los aglomerados. El procedimiento se detalla a continuación.

- Preparar las muestras de las 6 formulaciones propuestas.

- Tomar el papel pH e introducirlo en el recipiente de la muestra.
- Comparar el papel introducido con el patrón.
- Anotar el valor de pH resultante.

3.6.2.3. Tiempo de secado

Para determinar el tiempo de secado, se prepararon las muestras de las 6 formulaciones propuestas. Luego se esparció aproximadamente 1 mililitro de cada muestra en papel aluminio y se tomó el tiempo que transcurría en secar el aglomerante.

3.6.3. Elaboración de aglomerados

Se elaboraron tableros aglomerados con cascarilla de café y colofonia variando 3 proporciones de colofonia y compactados a 2 cargas y 2 tiempos de prensado. Las proporciones de aglomerante se establecieron en función de la caracterización fisicoquímica, y las cargas y tiempos de prensado se establecieron a partir de pruebas preliminares. Al final se realizaron 12 tratamientos dando un total de 36 tableros, 3 por cada tratamiento. A continuación se detalla el procedimiento experimental.

3.6.3.1. Tratamiento de materia prima

La cascarilla o pergamino de café se utilizó como materia prima y fue proporcionada por el beneficio seco Exportadora Los Olivos, S.A. Posterior a su recolección se realiza un estudio de granulometría el cual se detalla a continuación.

- Secado y molienda.

- Tamizaje en una batería de tamices que comprenden el tamiz no. 20, 30, 40, 50, 60, 100 y 120.
- Clasificación de la cascarilla de acuerdo a tamaño de partícula.
- Mezclas de partículas finas y medianas de acuerdo a las proporciones establecidas en pruebas preliminares.

3.6.3.2. Preparación de aglomerante

Para el proceso de encolado se utiliza como agente aglomerante la resina de colofonia. La colofonia se obtiene en cristales por lo que debe tratarse previamente para su utilización.

- Triturar la colofonia con ayuda de un mortero.
- Pesar los gramos de colofonia necesarios de acuerdo a las proporciones establecidas: 31, 42 y 47 por ciento.
- Pesar los gramos de hidróxido de sodio y agua necesarios para cada proporción.
- Colocar el agua y el hidróxido de sodio en un recipiente de baño maría y calentar hasta ebullición.
- Agregar la colofonia al recipiente de baño maría.
- Calentar la mezcla con agitación constante, hasta que la colofonia se haya derretido completamente.

3.6.3.3. Mezclado

Se realiza con el fin que los tableros aglomerados posean una consistencia uniforme. Debido a que la colofonia se ha preparado en caliente, previamente al mezclado, la cascarilla debe calentarse para disminuir el choque térmico al añadirla a la mezcla de colofonia. Además debe tenerse especial

cuidado para evitar que la cascarilla se quemé. A continuación se describe el procedimiento.

- Añadir la cascarilla de café (caliente) a la mezcla de colofonia.
- Calentar y agitar constantemente hasta observar uniformidad en la mezcla.

3.6.3.4. Prensado

Se realiza en una prensa hidráulica, utilizando un molde de hierro negro para colocar la mezcla. El procedimiento se realiza a las cargas y tiempos de compactación establecidos según pruebas preliminares.

- Colocar la mezcla en el molde
- Colocar la tapa del molde y ajustar la prensa al nivel del molde
- Aplicar la carga de compactación durante el tiempo establecido (2,36 y 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 2 y 5 minutos)

3.6.3.5. Secado del aglomerado

El secado del tablero aglomerado se lleva a cabo a temperatura ambiente. El tiempo de secado depende de cada tipo de tablero, para este caso el tiempo de secado varía en función de la proporción de aglomerante, a mayor proporción de colofonia menor el tiempo de secado.

3.6.3.6. Corte de tableros

Para la evaluación de las propiedades físico-mecánicas los tableros aglomerados deben cortarse con una sierra para obtener especímenes de acuerdo a las dimensiones establecidas por la Norma ASTM D 1037 -89.

3.6.4. Análisis de especímenes de prueba

Las propiedades físico-mecánicas de los aglomerados se evalúan bajo las especificaciones de la Norma ASTM D 1037-89, la cual fue adaptada para la evaluación de tableros aglomerados a base de fibras de cascarilla de café. Para ello se tomaron especímenes, de tamaño definido, de cada tablero para ser evaluados en las pruebas.

3.6.4.1. Densidad

La densidad se determina según lo establecido en la sección 9, 126 y 127 de la norma, a partir de las dimensiones y el peso del espécimen en el momento de la prueba.

- **Equipo**

Se utiliza un calibrador Vernier digital para las mediciones de las dimensiones y una balanza digital para determinar el peso del espécimen.

- **Procedimiento**

Pesar el espécimen o probeta al inicio de la prueba. Medir el espesor en cuatro puntos diferentes del espécimen, siendo la media aritmética de las cuatro

medidas el grosor efectivo del espécimen. Luego medir longitud y ancho del espécimen paralelamente a cada lado. La media aritmética de las dos medidas paralelas se consideran como la longitud y ancho efectivo. Por último determinar el volumen del espécimen con las medidas anteriores (grosor, ancho y longitud).

3.6.4.2. Absorción de agua e hinchazón

La prueba de absorción de agua e hinchazón se realiza de acuerdo a las secciones 100 a 106 de la norma. Se utilizaron especímenes cuadrados de 10 por 10 centímetros (4 por 4 pulgadas) para la prueba.

- Procedimiento
 - Pesar y medir la longitud, ancho y espesor del espécimen. Calcular el volumen a partir de esas medidas.
 - Sumergir el espécimen en agua.
 - Después de 2 horas de inmersión, suspender el espécimen, remover el exceso de agua y determinar inmediatamente el peso y el grosor.
 - Sumergir el espécimen por un periodo adicional de 22 horas y al finalizar determinar el peso y el grosor.
 - Calcular la cantidad de agua absorbida a partir del incremento en el peso y expresar la absorción de agua como porcentaje en peso. Expresar la hinchazón como porcentaje del espesor.

3.6.4.3. Flexión estática

El esfuerzo máximo de flexión se determina a partir de las secciones 11 a 20 de la norma. El ensayo se realizó en la Sección de Metales y Productos Manufactureros del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Se utilizó especímenes de prueba de 7,5 centímetros (3 pulgadas) de ancho y 30 centímetros de largo.

- Procedimiento
 - Se ajusta la distancia de los apoyos, para colocar los especímenes centrados en ellos de manera que se aplique la carga en el punto medio de la cara.
 - Se aplica la carga a una velocidad constante, hasta que se ocasione la ruptura del espécimen.

3.6.4.4. Tensión paralela a la superficie

La resistencia a la tensión paralela a la superficie se determina según lo establecido en las secciones 21 a 27 de la norma. El ensayo se realizó en la Sección de Metales y Productos Manufactureros del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Los especímenes deben ser de 5 centímetros (2 pulgadas) de ancho. El corte de los especímenes para reducir la sección de la falla según la norma, no se pudo realizar debido a la naturaleza de los aglomerados, por lo tanto se ensayaron especímenes rectangulares.

- Procedimiento
 - Ajustar el sistema de agarre dentado en por lo menos 2 pulgadas (50 milímetros) de longitud del material, para transmitir la carga de la máquina de ensayo a la muestra.
 - Aplicar la carga constante durante la prueba, a una velocidad uniforme hasta que se produzca la falla.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos recopilados tanto en la caracterización de la cascarilla de café y de la colofonia como en la evaluación de las propiedades físico-mecánicas, se tabularon y ordenaron para su posterior procesamiento y análisis. Al finalizar los resultados se reportaron en tablas y gráficas para cumplir con lo establecido en los objetivos específicos.

3.7.1. Ordenamiento de la información

Las variables recopiladas durante la fase experimental se ordenaron en tablas. A continuación se presenta una muestra de las tablas utilizadas para el ordenamiento de la información.

Tabla IV. Datos para evaluar viscosidad, pH y tiempo de secado

No.	No. aguja	Velocidad (rpm)	Valor	Factor	T (°C)
1					

Continuación de la tabla IV.

No.	No. aguja	Velocidad (rpm)	Valor	Factor	T (°C)
2					
3					
4					
5					
6					

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Datos de pH y tiempo de secado**

No.	pH	Tiempo de secado (min)
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Dimensiones de los especímenes de prueba

No.	$L_{1,o}$ (mm)	$L_{2,o}$ (mm)	$A_{1,o}$ (mm)	$A_{2,o}$ (mm)	$\varepsilon_{1,o}$ (mm)	$\varepsilon_{2,o}$ (mm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						

Continuación de la tabla VI.

No.	L _{1,o} (mm)	L _{2,o} (mm)	A _{1,o} (mm)	A _{2,o} (mm)	ε _{1,o} (mm)	ε _{2,o} (mm)
34						
35						
36						

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Masa inicial y posterior a la inmersión de los especímenes**

No.	M _o (g)	M _f (g)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		

Continuación de la tabla VII.

No.	M_o (g)	M_f (g)
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos para evaluar flexión estática**

No.	A (mm)	ϵ (mm)	Carga máxima (kg)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

Continuación de la tabla VIII.

No.	A (mm)	ϵ (mm)	Carga máxima (kg)
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Datos para la evaluación de tensión paralela a la superficie**

No.	A (mm)	ϵ (mm)	Carga máxima (kg)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

Continuación de la tabla IX.

No.	A (mm)	ϵ (mm)	Carga máxima (kg)
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Procesamiento de la información

Los resultados de la caracterización de la cascarilla de café como materia prima y de la resina de colofonia como aglomerante, se obtuvieron directamente en la fase experimental.

Los resultados de la evaluación de las propiedades físico-mecánicas se obtuvieron a partir de relaciones matemáticas establecidas en la Norma ASTM D 1037-89. A continuación se presentan dichas relaciones matemáticas.

3.7.2.1. Determinación de la densidad

La densidad o peso específico, se determina a partir de la relación entre la masa del espécimen y el volumen del mismo. Para cada tratamiento, la media aritmética de todas las corridas se debe de reportar como la densidad del espécimen de dicho tratamiento.

$$y = \frac{m}{V}$$

[Ecuación no.1, Referencia no.1]

Donde:

y = densidad [g/cm³]

m= masa [g]

V= volumen [cm³]

3.7.2.2. Determinación del porcentaje de absorción de agua

La absorción de agua del espécimen de prueba, se determina como el porcentaje de la relación de la diferencia de pesos finales e iniciales, entre el peso inicial. La media aritmética del porcentaje de absorción de todas las corridas se debe reportar como el valor de cada tratamiento.

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

[Ecuación no.2, Referencia no.1]

Donde:

%A= porcentaje de absorción

P_f=peso final [g]

P_i= peso inicial [g]

3.7.2.3. Determinación del porcentaje de hinchazón

La hinchazón corresponde a la diferencia entre el espesor inicial del espécimen y el espesor del espécimen húmedo, en relación al espesor inicial del espécimen. Se expresa como porcentaje.

$$\%H = \frac{\epsilon_f - \epsilon_i}{\epsilon_i} * 100$$

[Ecuación no. 3, Referencia no. 1]

Donde:

%H= porcentaje de hinchazón

ε_f = espesor final [mm]

ε_i = espesor inicial [mm]

Se debe reportar la media aritmética de todas las corridas como el valor de cada tratamiento.

3.7.2.4. Determinación del esfuerzo máximo de flexión

El esfuerzo máximo de flexión o módulo de ruptura del espécimen de prueba, se determina a partir de una relación matemática entre la carga máxima soportada, la distancia entre los apoyos, el espesor y ancho efectivo de la sección de ruptura.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

[Ecuación no. 4, Referencia no. 1]

Donde:

R= módulo de ruptura o flexión [kg/cm^2]

P= carga de ruptura [kg]

L= distancia entre los apoyos [cm]

b= ancho efectivo del espécimen [cm]

d= espesor efectivo del espécimen [cm]

3.7.2.5. Determinación de la resistencia a la tensión paralela a la superficie

La resistencia a la tensión paralela a la superficie, se determina a partir de la relación entre la carga máxima resistida por el espécimen dividida por el área de sección transversal de la misma.

$$E = \frac{C_{\max}}{A}$$

[Ecuación no.5, Referencia no. 14]

Donde:

E= esfuerzo máximo de tensión [kg/cm²]

C_{max}= carga máxima alcanzada por tensión [kg]

A= área de sección transversal [cm²]

3.7.3. Programas a utilizar para análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizará el programa Microsoft Office Excel 2007, 32 bits. SP3. Parte de Microsoft Office XP Professional. © 2007 Microsoft Corporation. All rights reserved.

3.8. Análisis estadístico

Dentro del análisis de resultados, se evaluó estadísticamente las variaciones entre las corridas y entre cada tratamiento, para observar si dichas variaciones presentaron un efecto significativo en el grupo de datos. Dentro de los análisis realizados se encuentra la media aritmética y el análisis de varianza.

3.8.1. Determinación del número de corridas

El número de corridas necesarias en el procedimiento experimental de la elaboración de los aglomerados, se determinó con el fin de disminuir el efecto del error en el análisis de datos. Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$N = \frac{Z_{a/2}^2 PQ}{E^2}$$

[Ecuación no.6, Referencia no.10]

Donde:

N= número de corridas

$Z_{a/2}$ = confiabilidad

P= probabilidad de éxito

Q= probabilidad de fracaso

E= error

Para obtener resultados y análisis confiables con un porcentaje mínimo de error, se obtuvo el número de corridas utilizando los siguientes valores:

$Z_{a/2}$ = 1,96

P= 0,96

Q= 0,04

E= 0,225

$$N = \frac{1,96^2 * 0,96 * 0,04}{0,225^2} = 3$$

Por lo tanto son necesarias 3 corridas para cada tratamiento, para desarrollar la fase experimental de elaboración de aglomerados.

3.8.2. Media aritmética

Para evaluar las propiedades físico-mecánicas de cada tratamiento, se determinó la media aritmética a partir de la suma de los valores de las 3 corridas entre el número total de datos.

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

[Ecuación no.7, Referencia No.10]

Donde:

\bar{X} = media aritmética

X_i = valor de cada corrida

N = número de corridas por tratamiento.

3.8.3. Análisis de varianza (ANOVA)

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, se realizó un análisis de varianza (ANOVA).

Se aplicó un diseño experimental factorial de 3 factores, debido a que se utilizó tres variables independientes: proporción de aglomerante (γ), carga de compactación (ρ) y tiempo de prensado (τ). Debido a los tratamientos y repeticiones de cada variable, se trabajó con un diseño factorial de 3 por 2 por 2, dando un total de 12 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, por lo que se trabajó con 36 tableros para las pruebas de los ensayos de las propiedades físico-mecánicas.

El ANOVA se realizó con un diseño de bloques al azar, con un nivel de confianza del 95 por ciento. La tabla X muestra el diseño de tratamientos para la realización del ANOVA.

Tabla X. **Tratamientos para la elaboración de aglomerados**

	ρ_1		ρ_2	
	T_1	T_2	T_1	T_2
Y_1	ρ_{111}	ρ_{121}	ρ_{112}	ρ_{122}
Y_2	ρ_{211}	ρ_{221}	ρ_{212}	ρ_{222}
Y_3	ρ_{311}	ρ_{321}	ρ_{312}	ρ_{322}

Fuente: elaboración propia.

La tabla XI muestra las relaciones necesarias para la calcular el valor F de las variables independientes y de la interacción entre ambas. El valor F es comparado con un valor F crítico tabulado y así aceptar o rechazar la hipótesis nula de la investigación.

Tabla XI. **Análisis de varianza**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada
Factor A	SCA	a - 1	$CMA = \frac{SCA}{a - 1}$	$\frac{CMA}{CMR}$
Factor B	SCB	b - 1	$CMB = \frac{SCB}{b - 1}$	$\frac{CMB}{CMR}$
Factor C	SCC	c - 1	$CMC = \frac{SCC}{c - 1}$	$\frac{CMC}{CMR}$

Continuación de la tabla XI.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada
Factor A X B	SCAB	$(a - 1) * (b - 1)$	$CMAB = \frac{SCAB}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CMAB}{CMR}$
Factor A X C	SCAC	$(a - 1) * (c - 1)$	$CMAC = \frac{SCAC}{(a - 1)(c - 1)}$	$\frac{CMAC}{CMR}$
Factor B X C	SCBC	$(b - 1) * (c - 1)$	$CMBC = \frac{SCBC}{(b - 1)(c - 1)}$	$\frac{CMBC}{CMR}$
Factor A X B X C	SCABC	$(a - 1) * (b - 1) * (c - 1)$	$CMABC = \frac{SCABC}{(a - 1)(b - 1)(c - 1)}$	$\frac{CMABC}{CMR}$
Error	SCE	$abc(r - 1)$	$\frac{SCE}{abc(r - 1)}$	
Total	SCT	$abcr - 1$	$\frac{SCT}{abcr - 1}$	

Fuente: elaboración propia.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de varianza son:

$$SCA = \sum_i y_i^2 / bcr - y^2 / abcr$$

$$SCB = \sum_i y_i^2 / acr - y^2 / abcr$$

$$SCC = \sum_i y_i^2 / abr - y^2 / abcr$$

$$SCAB = \sum_i y_i^2 / cr - y^2 / abcr - SCA - SCB$$

$$SCAC = \sum_i y_i^2 / br - y^2 / abcr - SCA - SCC$$

$$SCBC = \sum_i y_i^2 / ar - y^2 / abcr - SCB - SCC$$

$$SCABC = \sum_i y_i^2 / r - y^2 / abcr - SCA - SCB - SCC - SCAB - SCAC - SCBC$$

$$SST = \sum_{ijkl} y_{jkli}^2 - y^2 / abcr$$

$$SCE = SCT - SCA - SCB - SCC - SCAB - SCAC - SCBC - SCABC$$

Donde:

y_i = suma de las medidas en la i -ésima muestra

y = suma de todas las medidas, gran total

r = número de repeticiones

a = número de observaciones debidas al factor A

b = número de observaciones debida al factor B

c = número de observaciones debida al factor C

$i = 1, 2, \dots a.$

$j = 1, 2, \dots b$

$k = 1, 2, \dots c$

4. RESULTADOS

4.1. Composición química de la cascarilla de café

Este apartado refiere la caracterización de la cascarilla de café, realizando análisis químico gravimétrico para cuantificar los porcentajes de lignina, celulosa y hemicelulosa presentes.

Tabla XII. **Composición química de la cascarilla de café**

Parámetro	Composición (%)
Agua	11,73
Solidos totales	88,27
Cenizas	0,84
Lignina	22,10
Hemicelulosa	23,01
Celulosa	9,95

Fuente: elaboración propia.

4.2. Caracterización del aglomerante

La tabla XII presenta los resultados obtenidos al determinar las propiedades de viscosidad, potencial de hidrógeno y tiempo de secado de 6 formulaciones de aglomerante variando las proporciones de colofonia, agua e hidróxido de sodio.

Tabla XIII. **Viscosidad *brookfield*, pH y tiempo de secado de las diferentes formulaciones de colofonia**

No.	Formulación		Viscosidad (Pa.s)	pH	Tiempo secado (min)
	Colofonia : agua	Agua : hidróxido de sodio			
1	1 : 1	12 : 1	0,22	11	10
2	1,5 : 1	24 : 1	0,28	10	7
3	2 : 1	24 : 1	5,00	9	5
4	2,5 : 1	24 : 1	7,00	9	4
5	2,5 : 1	32 : 1	28,33	7	0,5
6	4,5 : 1	24 : 1	31,33	7	0,33

Fuente: elaboración propia.

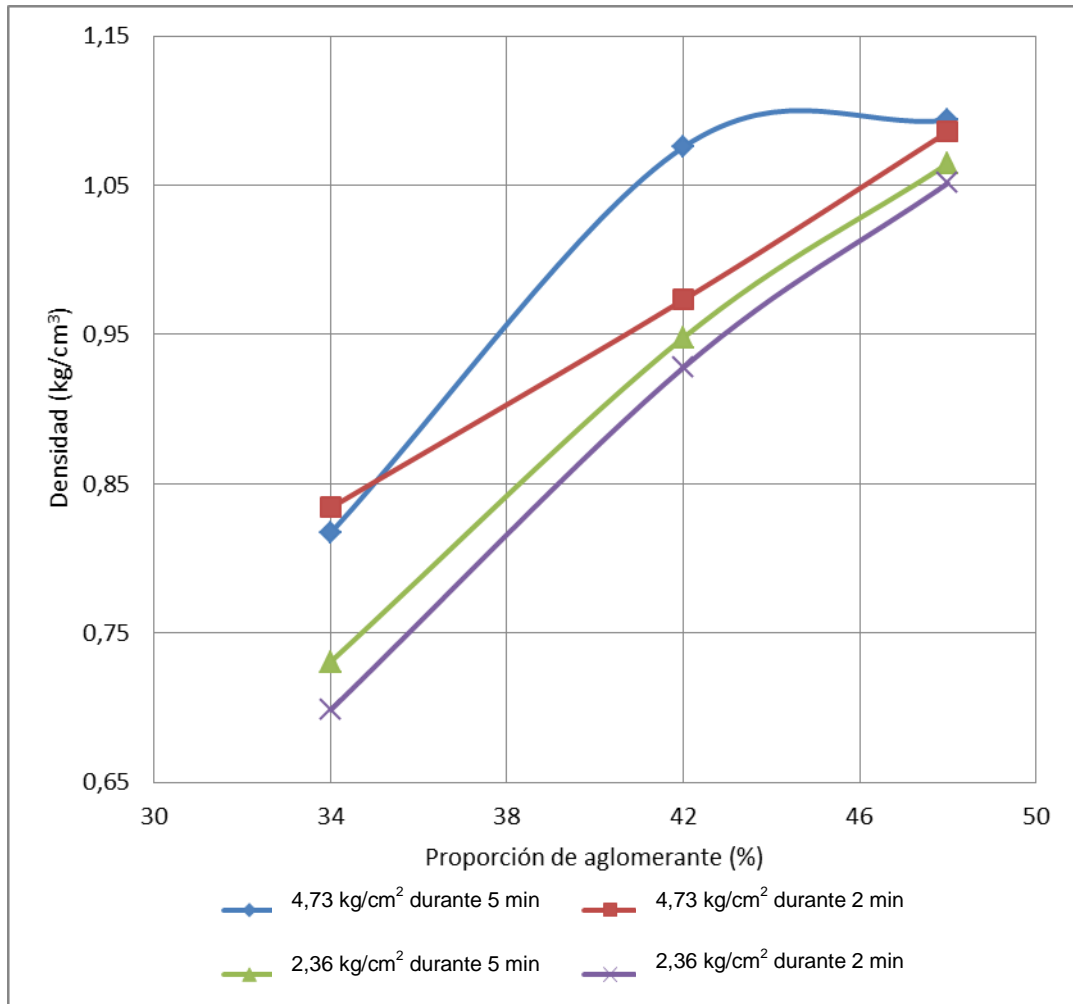
4.3. Propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados

En este apartado se presentan las variaciones en las propiedades de densidad, absorción de agua, hinchamiento, flexión y resistencia a la tensión paralela como función de la proporción de aglomerante, carga de compactación y tiempo de prensado.

4.3.1. Densidad

Se presenta la relación gráfica de las variaciones de densidad de los tableros aglomerados en función de la proporción de aglomerante a distintas cargas y tiempo de prensado así como su análisis de varianza.

Figura 6. Densidad de los tableros aglomerados



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis de varianza del efecto de los factores de variación sobre la densidad de los tableros**

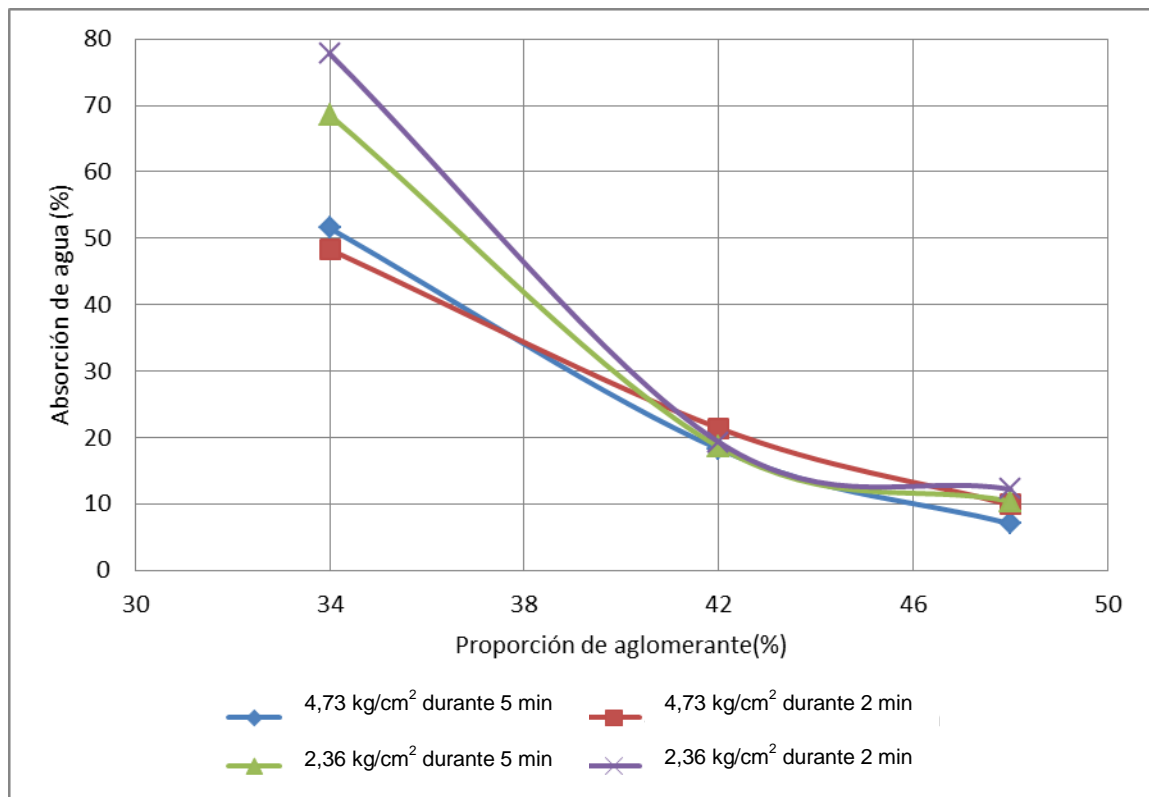
Factor	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Promedio de Cuadrados	Valor F calculado	Valor crítico F	Hipótesis Nula (Ho)
% aglomerante	0,58122	2	0,29061	95,10964	3,40	Rechazada
Tiempo (min)	0,00629	1	0,00629	2,05987	4,26	Aceptada
Carga (kg/cm ²)	0,05252	1	0,05252	17,19013	4,26	Rechazada
% aglomerante * Tiempo	0,00545	2	0,00273	0,89218	3,40	Aceptada
% aglomerante * Carga	0,00985	2	0,00493	1,61254	3,40	Aceptada
Carga * Tiempo	0,00019	1	0,00019	0,06298	4,26	Aceptada
% aglomerante *Carga *Tiempo	0,00671	2	0,00336	1,09858	3,40	Aceptada
Residual	0,07333	24	0,00306			
Total	0,73558	35				

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Absorción de agua

Se presenta la relación gráfica de los porcentajes de absorción de agua en función de la proporción de aglomerante, carga de compactación y tiempo de prensado y su análisis de varianza respectivo.

Figura 7. Porcentaje de absorción de agua



Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Análisis de varianza del efecto de factores de variación sobre el porcentaje de absorción de agua**

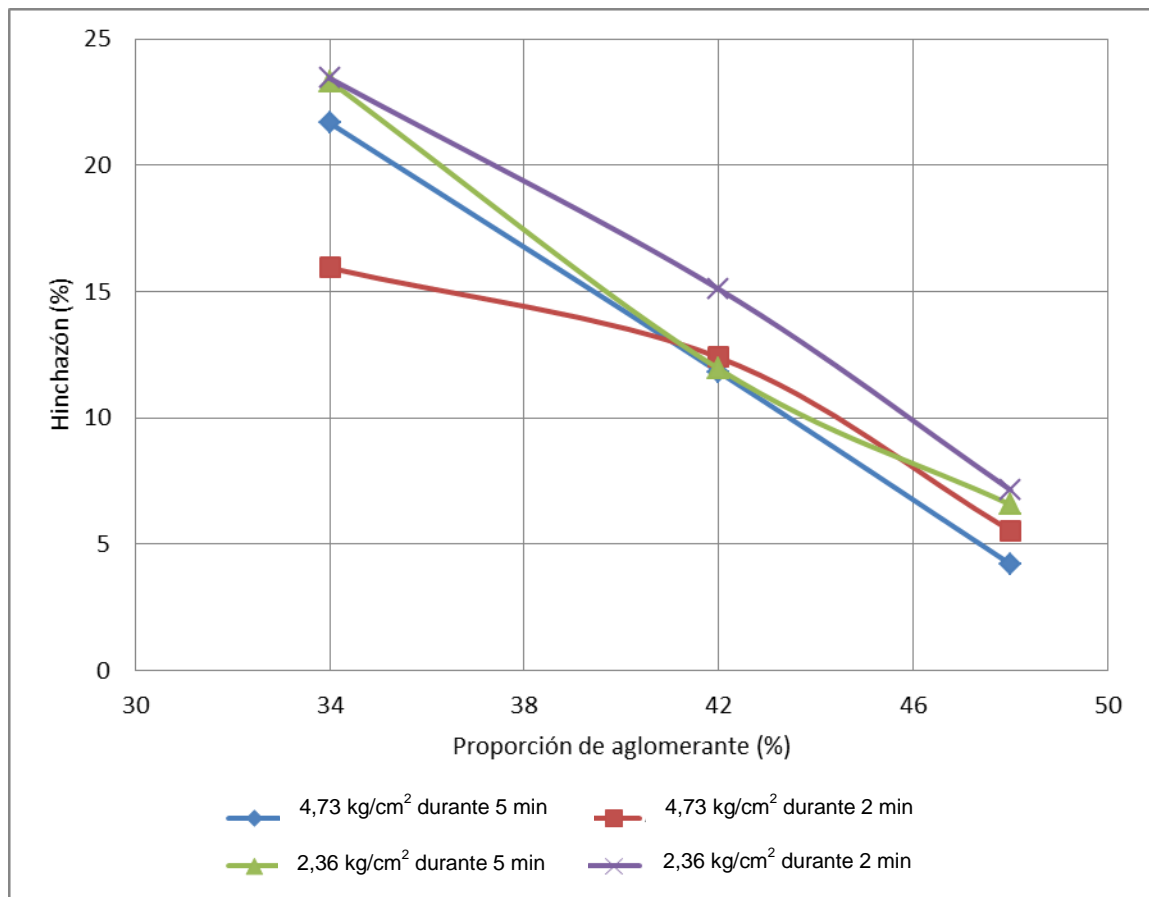
Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	Valor F calculado	Valor crítico F	Hipótesis Nula (Ho)
% aglomerante	18144,29703	2	9072,14852	104,10525	3,40	Rechazada
Tiempo (min)	52,76897	1	52,76897	0,60554	4,36	Aceptada
Carga (kg/cm ²)	636,92611	1	636,92611	7,30889	4,36	Rechazada
% aglomerante * tiempo	1,81918	2	0,90959	0,01044	3,40	Aceptada
% aglomerante * Carga	1012,49568	2	506,24784	5,80933	3,40	Rechazada
Carga * tiempo	19,94373	1	19,94373	0,22886	4,36	Aceptada
% aglomerante * Carga *Tiempo	101,08058	2	50,54029	0,57996	3,40	Aceptada
Residual	2091,45609	24	87,14400			
Total	22060,78738	35				

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Hinchazón en grosor

Se presenta la relación gráfica de los porcentajes de hinchazón en grosor así el análisis de varianza en función de la proporción de aglomerante, carga de compactación y tiempo de prensado.

Figura 8. Porcentaje de hinchazón en grosor



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Análisis de varianza de los factores de variación sobre el porcentaje de hinchazón**

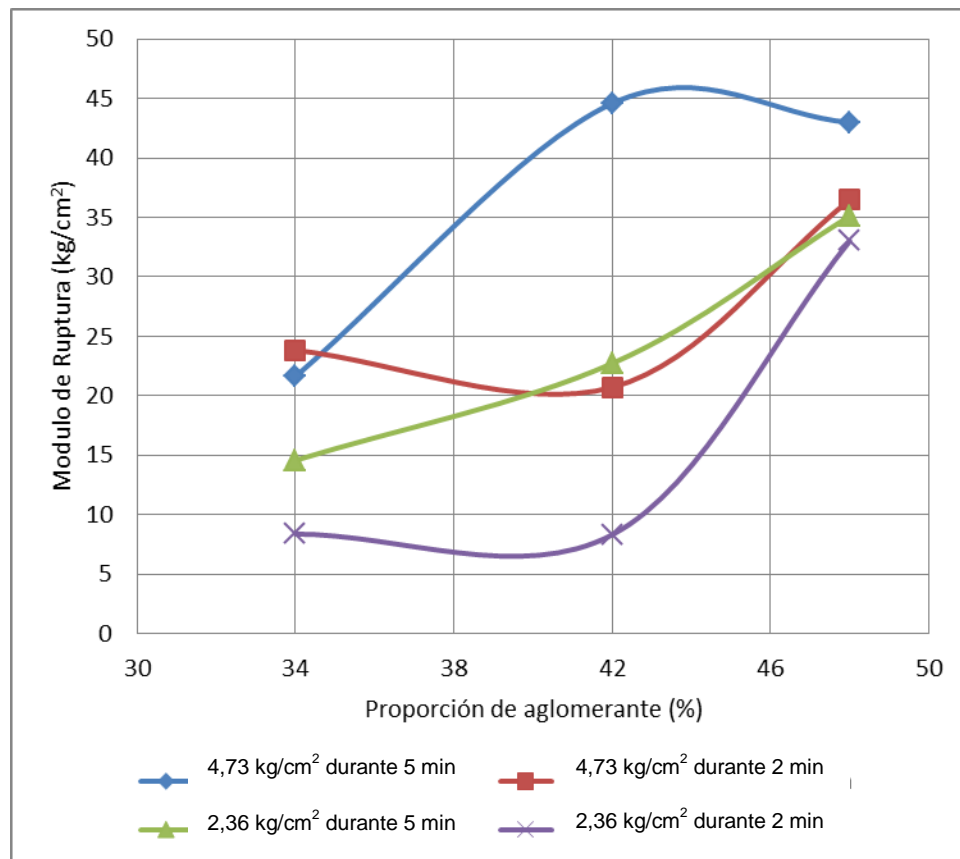
Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	Valor F calculado	Valor crítico F	Hipótesis nula (Ho)
% aglomerante	1395,67950	2	697,83975	83,69600	3,40	Rechazada
Tiempo (min)	4,06775E-05	1	4,06775E-05	4,8787E-06	4,36	Rechazada
Carga (kg/cm ²)	63,69804	1	63,698041	7,639678	4,36	Rechazada
% aglomerante * tiempo	36,85783	2	18,428915	2,210287	3,40	Aceptada
% aglomerante * Carga	17,09305	2	8,546525	1,025035	3,40	Aceptada
Carga * tiempo	14,81689	1	14,816892	1,777076	4,36	Aceptada
% aglomerante *Carga *tiempo	16,28360	2	8,141800	0,976494	3,40	Aceptada
Residual	200,10699	24	8,337791			
Total	1744,53595	35				

Fuente: elaboración propia.

4.3.4. Flexión estática

Se presenta la relación gráfica del módulo de ruptura o esfuerzo del ensayo de flexión estática y el análisis de varianza en función de la proporción de aglomerante, carga de compactación y tiempo de prensado.

Figura 9. Módulo de ruptura



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Análisis de varianza de los factores de variación sobre el módulo de ruptura del ensayo de flexión**

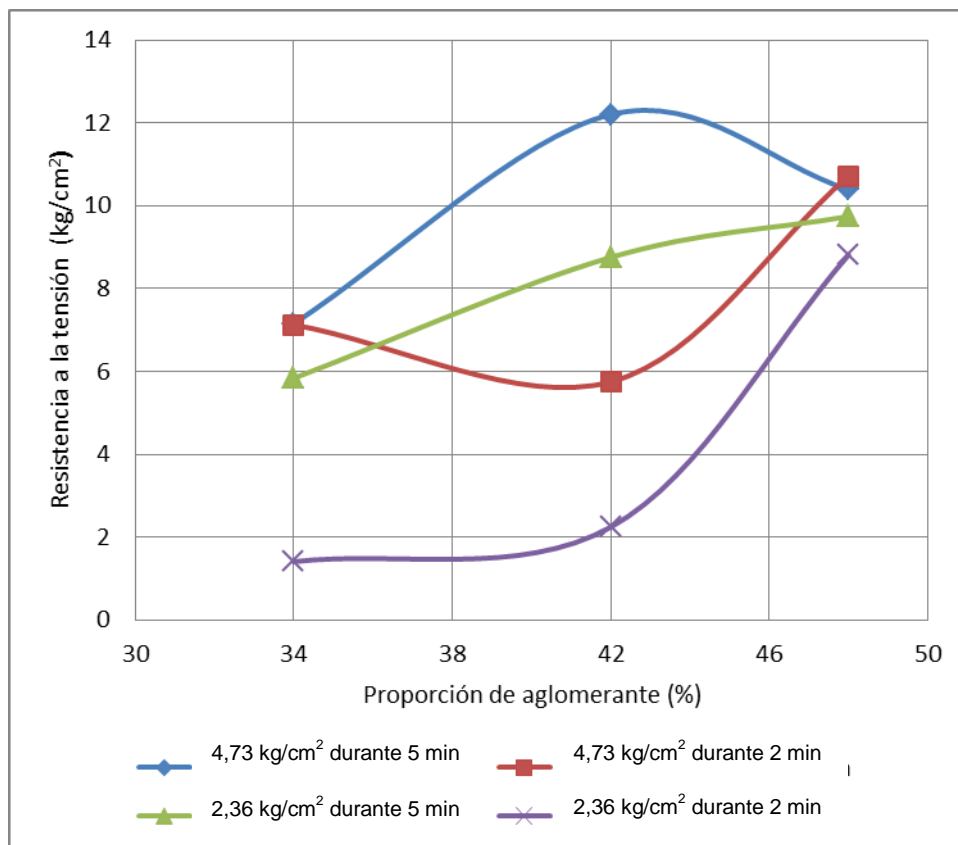
Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	Valor F calculado	Valor crítico F	Hipótesis nula (Ho)
% aglomerante	2262,47228	2	1131,23614	7,32213	3,40	Rechazada
Tiempo (min)	454,16582	1	454,16582	2,93967	4,36	Aceptada
Carga (kg/cm ²)	376,15215	1	376,15215	2,43471	4,36	Aceptada
% aglomerante * tiempo	363,64141	2	181,82071	1,17687	3,40	Aceptada
% aglomerante * Carga	186,02402	2	93,01201	0,60204	3,40	Aceptada
carga * tiempo	1,93934	1	1,93934	0,01255	4,36	Aceptada
% aglomerante *Carga *tiempo	351,53304	2	175,76652	1,13768	3,40	Aceptada
Residual	3707,89011	24	154,49542			
Total	7703,81818	35				

Fuente: elaboración propia.

4.3.5. Resistencia a la tensión paralela a la superficie

Se presenta la relación gráfica del esfuerzo máximo del ensayo de tensión paralela a la superficie y su respectivo análisis de varianza en función de la proporción de aglomerante, carga de compactación y tiempo de prensado.

Figura 10. Esfuerzo máximo de tensión



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis de varianza de los factores de variación sobre el esfuerzo máximo de tensión paralela a la superficie**

Factor	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Promedio de cuadrados	Valor F calculado	Valor crítico F	Hipótesis nula (Ho)
% aglomerante	178,25702	2	89,12851	11,67898	3,4	Rechazada
Tiempo (min)	28,65057	1	28,65057	3,75423	4,36	Aceptada
Carga (kg/cm ²)	153,60260	1	153,60260	20,12735	4,36	Rechazada
% aglomerante * tiempo	16,40313	2	8,20157	1,07469	3,4	Aceptada
% aglomerante * Carga	40,91526	2	20,45763	2,68067	3,4	Aceptada
Carga * tiempo	0,63546	1	0,63546	0,08327	4,36	Aceptada
% aglomerante *Carga *tiempo	32,02570	2	16,01285	2,09825	3,4	Aceptada
Residual	183,15684	24	7,63153			
Total	633,64658	35				

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN

Los aglomerados compuestos de cascarilla de café y colofonia como aglomerante, fueron elaborados a distintas proporciones de colofonia en tableros compactados en un molde de 31 X 31 X 4 centímetros, variando las cargas y tiempos de prensado.

Para definir la proporción de cascarilla a utilizar, se caracterizó la composición química de la cascarilla de café. Los resultados se presentan en la tabla XII, en la cual se puede observar un porcentaje tanto de celulosa como de lignina bajo, lo que indica que las fibras de la cascarilla de café poseen una estructura y aglomeración débil.

Por otra parte para caracterizar fisicoquímicamente el aglomerante, se realizaron distintas formulaciones de colofonia, agua como disolvente e hidróxido de sodio como aditivo, donde se evaluó su viscosidad *Brookfield*, potencial de hidrógeno y tiempo de secado. En la tabla XIII se presentan los resultados de las 6 formulaciones, con valores de viscosidad en el rango de 0,22 a 31,33 pascales por segundo. Se puede observar que a mayor cantidad de colofonia, los valores de viscosidad aumentan. Esto se debe a que a mayor cantidad de colofonia hay menos hidróxido de sodio y por lo tanto ésta se disuelve en menor medida. Debido a ello se observa también que tanto los valores de pH como el tiempo de secado disminuyen al aumentar la cantidad de colofonia.

Posteriormente se realizaron pruebas preliminares para definir tanto las proporciones de aglomerante y cascarilla, como las cargas y tiempos de

prensado. Para ello se utilizaron las formulaciones de aglomerante 2, 4 y 6, las cuales poseían la misma proporción agua e hidróxido de 24 a 1. Las proporciones en peso de colofonia obtenidas fueron de 34 por ciento, utilizando la formulación 2, 42 por ciento utilizando la formulación 4 y 48 por ciento utilizando la formulación 6, dejando como base 42 por ciento de cascarilla y ajustando el resto con solución de hidróxido de sodio. Así mismo se obtuvieron las cargas y tiempos a utilizar, siendo estos 4,73 y 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 y 2 minutos.

A los tableros obtenidos se les evaluó el efecto de la proporción de aglomerante, la carga de compactación y el tiempo de prensado sobre las propiedades físicas de densidad, absorción de agua e hinchamiento en espesor; así como sobre las propiedades mecánicas de resistencia a la tensión y esfuerzo máximo de flexión. Para evaluar dichas propiedades se realizaron ensayos según las especificaciones de la Norma ASTM D 1037- 89 para tableros de partículas.

Los resultados de la densidad de los tableros de prueba se presentan en la figura 6. Se puede observar un incremento lineal al aumentar la proporción de colofonia para los tableros compactados a 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado tanto durante 5 como durante 2 minutos de tiempo de prensado. Este efecto se le atribuye a que a mayor cantidad de aglomerante, las fibras se encuentran más unidas por lo que se compactan con mayor facilidad.

Para el caso de los tableros compactados a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 y 2 minutos presentan un incremento no lineal al aumentar la proporción de colofonia. A una proporción de 48 por ciento, no se observa diferencia significativa en la densidad entre los tableros compactados durante 5 y 2 minutos. Sin embargo ambos tableros presentan valores de

densidad mayor a los compactados a 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado. Este efecto se debe a que a mayor carga los tableros se compactan mejor y por lo tanto son más densos.

Con lo descrito anteriormente y con el análisis de varianza presentado en la tabla XIV, se puede observar que tanto para la carga de compactación como para la proporción de aglomerante la hipótesis nula fue rechazada, por lo que ambas variables poseen un efecto significativo en la densidad de los tableros aglomerados.

Los valores de densidad de los doce tratamientos se encuentran entre 0,69 y 1,09 kilogramos por centímetro cúbico. Al compararlos con los valores de los tableros aglomerados comerciales, se pudo determinar que los tableros elaborados con una proporción de 34 por ciento de aglomerante compactados a 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado durante 2 y 5 minutos corresponden a la clasificación de tableros de densidad media. El resto de tableros elaborados con la misma proporción pero a mayor carga, 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado y los tableros elaborados a 42 y 48 por ciento de aglomerante, corresponden a la clasificación de tableros de alta densidad (*hardboard*).

Para las pruebas de absorción de agua e hinchamiento, los tableros se sumergieron en agua durante 24 horas. Se observó que todos los tableros resistieron la inmersión, ya que ningún tablero se fraccionó.

Los resultados de la prueba de absorción de agua se presentan en la figura 7. Se puede observar en todos los tableros que los porcentajes de absorción de agua disminuyen al aumentar la proporción de aglomerante, lo que indica que a mayor cantidad de colofonia los tableros son menos porosos y por lo tanto mayor es su resistencia al agua.

Tanto los tableros aglomerados a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 y 2 minutos, como los elaborados a 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 y 2 minutos disminuyen con una tendencia no lineal.

Según el análisis de varianza presentado en la tabla XV, se observa que tanto la proporción de aglomerante como la carga de compactación y la interacción entre ambas, poseen un efecto significativo sobre la variación en los porcentajes de absorción de agua. Sin embargo como se observa en la figura 7, los tableros elaborados a 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado, tanto para la proporción de 42 por ciento como 48 por ciento de aglomerante, los porcentajes de absorción de agua no presentan una variación significativa al aumentar la carga ni el tiempo de compactación como fue en el caso de los tableros elaborados con 34 por ciento.

Los resultados de la prueba de hinchazón en grosor se presentan en la figura 8. Se puede observar para todos los casos que al aumentar la proporción de aglomerante el porcentaje de hinchazón disminuye. Esto indica que a mayor cantidad de aglomerante, al igual que para la prueba de absorción de agua, la porosidad de los tableros disminuye y por lo tanto se deforman menos al contacto con el agua.

Según el análisis de varianza presentado en la tabla XVI, las tres variables de proporción de aglomerante, tiempo de prensado y carga de compactación, afectan significativamente en la variación de los porcentajes de hinchazón de los tableros. Sin embargo en la figura 8 se observa que en los tableros elaborados con una proporción de 42 por ciento compactados a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 y 2 minutos y a 2,36 kilogramos por

centímetro cuadrado durante 5 minutos, que el porcentaje de hinchazón no presenta una variación significativa al variar la carga ni el tiempo de prensado.

Los resultados del ensayo de flexión se presentan en la figura 9. Se puede observar que en los tableros a 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 y 2 minutos, el esfuerzo o módulo de ruptura aumenta al incrementar la proporción de aglomerante. Este efecto indica que a mayor proporción de aglomerante, las fibras se encuentran más amarradas por lo que son más flexibles.

Para los tableros compactados a una carga de 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 2 minutos, se observa que al aumentar la proporción de aglomerante de 34 por ciento a 48 por ciento, el módulo de ruptura disminuye. Este mismo efecto se observa en los tableros compactados a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 minutos al aumentar la proporción de aglomerante de 42 a 48 por ciento. Este efecto se debe a que el tablero ensayado poseía poros en su estructura lo que incidió en una falla a menor esfuerzo.

Para el caso de los tableros aglomerados con 34 por ciento de aglomerante a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 2 minutos, se observa que poseen un módulo de ruptura ligeramente mayor a los tableros compactados durante 5 minutos, pero sin presentar una diferencia significativa, lo que indica que el tiempo no incide en el resultado para esta proporción y esta carga. De igual forma se observa que no hay diferencia significativa en los tableros elaborados a 42 y 48 por ciento de aglomerante a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 2 minutos y los compactados a 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 minutos, lo que indica que ni la carga de compactación ni el tiempo influyen en el módulo de ruptura.

Según lo descrito anterior como lo observado con el análisis de varianza en la tabla XVIII, la única variable con efecto significativo en el esfuerzo o módulo de ruptura del ensayo de flexión, es la proporción de aglomerante.

Para el caso del ensayo de la resistencia a la tensión paralela a la superficie, los resultados se presentan en la figura 10. En general se observa que los tableros elaborados a mayor carga, para cada proporción de aglomerante, presentan mayores valores de resistencia a la tensión, alcanzando un valor máximo de 12,20 kilogramos por centímetro cuadrado para un tablero compactado a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 minutos a 42 por ciento de aglomerante.

Se puede observar un incremento en los valores del esfuerzo al aumentar la proporción de aglomerante para los tableros compactados a una carga de 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 y 2 minutos. Este efecto indica que a mayor proporción de aglomerante las fibras se encuentran más unidas lo que resiste mayor a la tensión.

Para el caso de los tableros compactados a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 minutos, se observa que al aumentar la proporción de aglomerante de 42 por ciento a 48 por ciento, el esfuerzo de tensión disminuye. Este efecto se debe a que los tableros poseían huecos o poros derivados de una mezcla no uniforme en el molde al momento de la compactación, lo que incidió en una falla a menor esfuerzo de tensión. Este mismo efecto se observa en los tableros compactados a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 2 minutos al aumentar la proporción de aglomerante de 34 por ciento a 42 por ciento.

Para el caso de los tableros elaborados a 34 por ciento de aglomerante a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 y 2 minutos, no se observa diferencia significativa en los esfuerzos de tensión, lo que indica que el tiempo de prensado no tuvo efecto en las variables respuesta. Este mismo efecto se observa en los tableros elaborados a 42 y 48 por ciento de aglomerante a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado durante 2 minutos y a 2,36 kilogramos por centímetro cuadrado durante 5 minutos.

Según lo descrito anteriormente como lo observado en el análisis de varianza en la tabla XVII, tanto la proporción de aglomerante como la carga de compactación poseen un efecto significativo en los valores de resistencia a la tensión.

Así los tableros elaborados con cascarilla de café y colofonia que presentaron las mejores propiedades físico-mecánicas corresponden a los elaborados con 48 por ciento de aglomerante y 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado de carga durante 2 y 5 minutos de tiempo de prensado.

Tabla XIX. **Especificaciones técnicas tableros de aglomerado**

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: Tableros de Aglomerado. *Productos. Características generales*. [en línea] Guatemala, 2013. <www.tablerosdeaglomerado.com.gt>. Consulta: 30 de julio de 2013.

Se puede observar que las propiedades de hinchazón, absorción de agua y resistencia a la tensión cumplen con las especificaciones comerciales según la tabla XIX, de la empresa guatemalteca Tableros de Aglomerados. Por ello y debido a los valores bajos del módulo de ruptura, se recomienda utilizar los tableros de cascarilla de café y colofonia como recubrimientos, cubiertas de muebles, tapas, divisiones y fondos de muebles, entre otros.

CONCLUSIONES

1. La cascarilla de café está compuesta por bajos porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que afecta las propiedades mecánicas en los tableros aglomerados.
2. La proporción de aglomerante utilizada en los tableros aglomerados que presentaron las mejores propiedades físico-mecánicas, obtuvo el valor de viscosidad más alto, un potencial de hidrógeno cercano a 7 y el menor tiempo de secado en la caracterización fisicoquímica.
3. La proporción de aglomerante fue la variable con mayor efecto significativo en las diferencias de todas las propiedades físico-mecánicas.
4. Las propiedades de densidad, absorción de agua, hinchazón y resistencia a la tensión fueron afectadas por las variaciones de la carga de compactación, pero en menor medida que con la proporción de aglomerante.
5. El porcentaje de hinchazón es la única variable, estadísticamente, que se ve afectada por las variaciones en el tiempo de prensado, mientras que en las demás propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados el tiempo no tuvo efecto significativo.

6. Los tableros que presentaron las mejores propiedades físico-mecánicas corresponden a los elaborados con la mayor proporción de aglomerante, 48 por ciento, a la mayor carga de compactación, 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado y durante el mayor tiempo de prensado, 5 minutos.

RECOMENDACIONES

1. Compactar los tableros aglomerados a mayores cargas y durante tiempos más prolongados, para observar diferencias significativas en las propiedades evaluadas.
2. Por la naturaleza de la colofonia, realizar el prensado de los tableros aglomerados mediante un proceso en caliente, para evitar que por el choque térmico, al colocar la mezcla en los moldes, ésta se solidifique antes del prensado.
3. Realizar un estudio económico de la elaboración de los tableros aglomerados a base de cascarilla de café y colofonia para evaluar su rentabilidad.
4. Realizar un estudio de comparación entre los tableros aglomerados a base de madera y los elaborados a base de cascarilla de café.
5. Evaluar las propiedades de aislamiento acústico y capacidad calorífica de los aglomerados para utilizarlos en otro tipo de aplicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. *Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials*. Designation D 1037 – 89. Annual book of ASTM standards. Philadelphia, Pennsylvania: ASTM, 1989. 30 p.
2. BEDOYA, C. M.; PINEDA G., P.; ROSALES, A. *Optimización de propiedades mecánicas y térmicas de un aglomerado sintético por el método de Taguchi*. Colombia: Universidad EAFIT, 2009. 170 p.
3. CHAN, Mario; et. al. *Tableros de madera de partículas*. Universidad Autónoma de Yucatán, México. 2004. 39 – 46 p.
4. Departamento Industrias Forestales. *Tableros de fibras de madera “tornillo” (Cedrelinga cateniformis Ducke)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú, 2003. 39 – 44 p.
5. FONSECA MALDONADO, Mario Roberto. *Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (Pinus maximinoi H. E. Moore) procedente de la finca río frío, Tactic, Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 125 p.

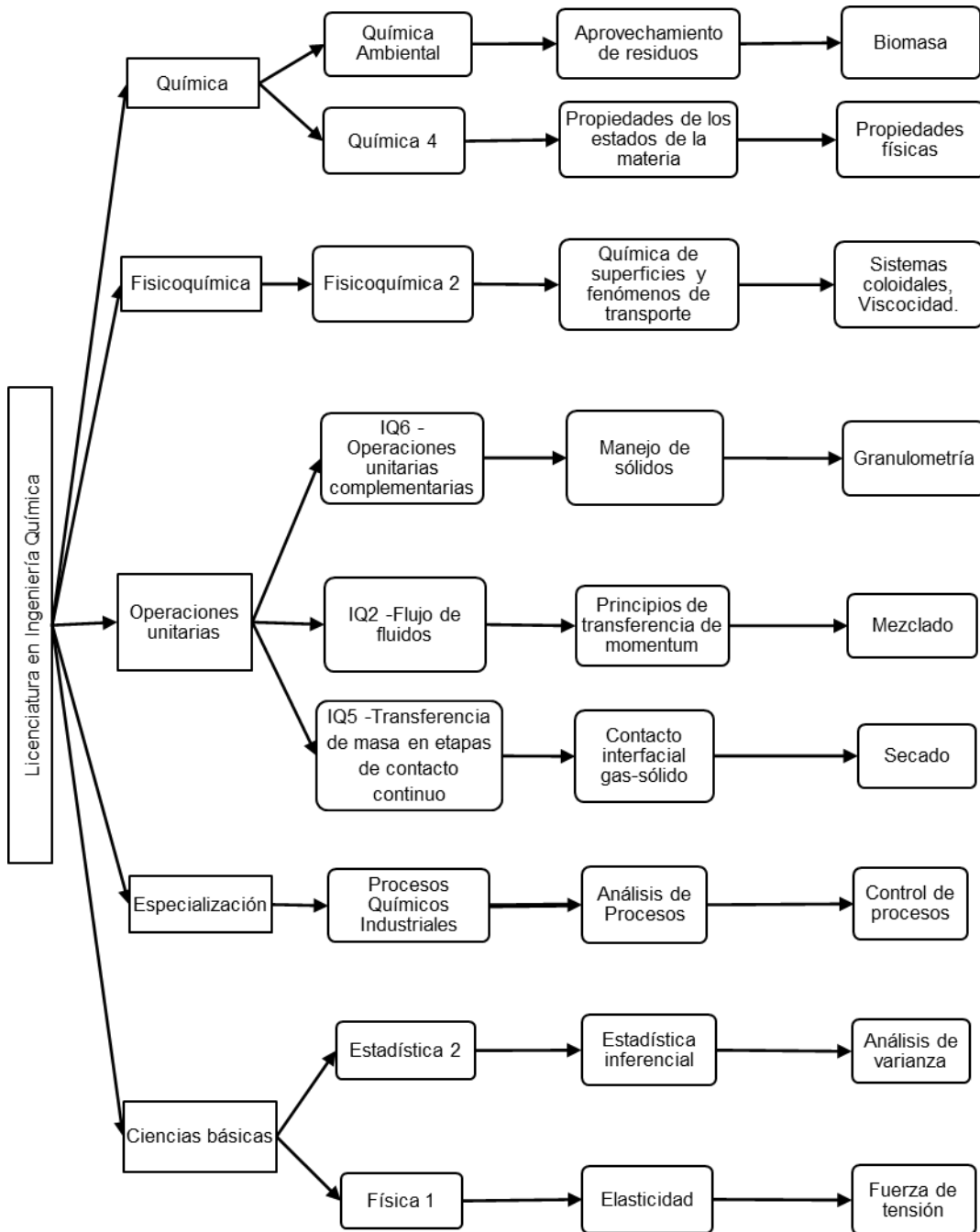
6. Food and Agriculture Organization. *Productos Forestales 1997*. Subdirección de Planificación y Estadísticas Forestales, Dirección de Políticas y Planificación Forestales, FAO, Viale delle Terme di Caracalla. Roma, Italia: FAO, 1999. 245 p.
7. Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental. *Guía para la innovación de la agricultura de lo convencional a lo orgánico*. San Salvador, El Salvador: FUNDESYRAM, 2010. 122 p.
8. GANDINI, Alessandro. *Monomers and macromonomers from renewable resources*. Gran Bretaña: Elsevier, 2011. 34 p.
9. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. *Guía técnica para el beneficiado de café protegido bajo una indicación geográfica o denominación de origen*. Guatemala: IICA, 2010. 210 p.
10. MILLER, James N.; MILLER, Jane C. *Estadística y quimiometría para química analítica*. Madrid: Pearson Educación, 2002. 296 p.
11. NACEUR BELGACEM, Mohamed; GANDINI, Alessandro. *Monomers, polymers and composites from renewable resources*. Gran Bretaña: Elsevier, 2008. 562 p.
12. PIZZI, Antonio; MITTAL, Kashmiri L. *Handbook of adhesive technology*. Nueva York: Taylor & Francis Group, LLC, 2003. 1023 p.

13. ROWELL, Roger M.; YOUNGQUIST, John A.; MCNATT, Dobbin. *Composites from recycled materials*. Madison, Wisconsin: Forest Products Laboratory, 1991. 314 p.
14. ROWELL, Roger M.; YOUNG, Raymond A.; ROWELL, Judith K. *Paper and composites from agro-based resources*. Nueva York: Lewis publishers, 1997. 446 p.
15. SANTRA CRUZ ORELLANA, Tania Sharaim. *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*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 136 p.
16. SAZO, Sergio Estuardo. *Implementación del uso de aglomerados de madera, como alternativa en la industria de muebles*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 250 p.
17. Tableros de Aglomerado. *Productos. Características generales*. [en línea] Guatemala, 2013. <www.tablerosdeaglomerado.com.gt>. [Consulta 30 de julio de 2013].
18. TOJ ATZ, Oscar David. *Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho del fruto del coco, para la utilización en matrices fibro-reforzadas*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 145 p.

19. Universidad Nacional de Ingeniería/Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua. *Informe: primer congreso cafetalero del norte de Nicaragua*. Nicaragua: UNI/FUNICA, 2012. 35 p.

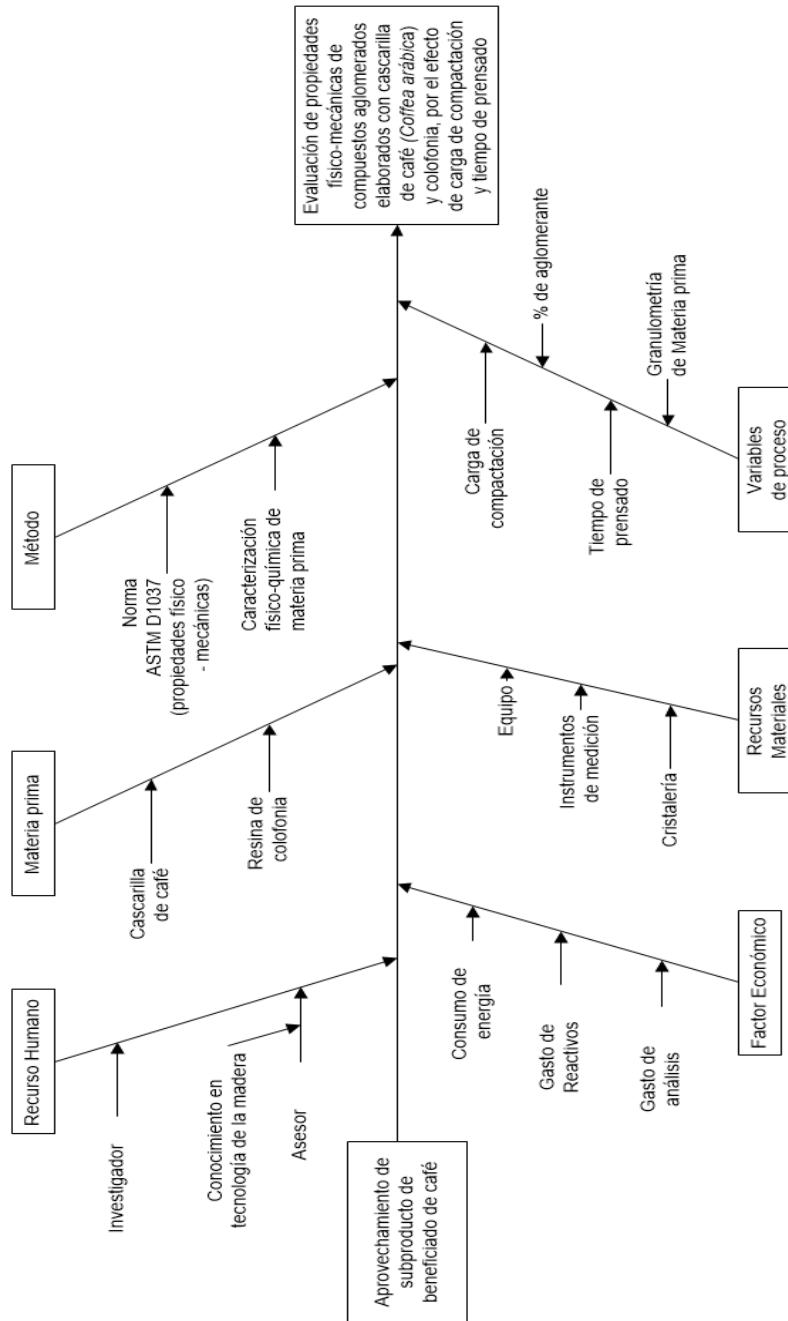
APÉNDICES

Figura 11. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Diagrama de ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Análisis preliminares

Para determinar las cargas de compactación, se elaboraron tableros con cargas de 2,36, 4,73 y 7,09 kilogramos por centímetro cuadrado. Sin embargo los tableros elaborados con 34 por ciento de aglomerante no soportaron cargas mayores a 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado, por lo que se establecieron 2,36 y 4,73 kilogramos por centímetro cuadrado como las cargas a trabajar.

Para determinar los tiempos de prensado se elaboraron tableros a 4 tiempos diferentes: 2, 5, 7 y 10 minutos. Los tiempos preliminares se eligieron en función del corto tiempo que se tenía entre colocar la mezcla en los moldes y el prensado. Esto debido a que al realizar el mezclado en caliente, al colocar la mezcla en los moldes ésta inmediatamente comenzaba a enfriarse.

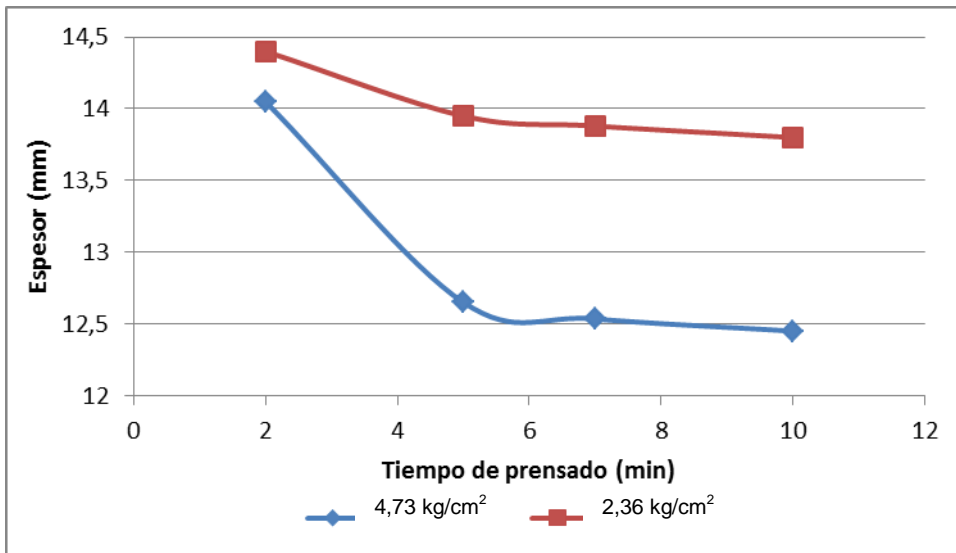
Los tiempos se eligieron en función del espesor del tablero al finalizar el prensado. La tabla XX y la figura 13 presentan los resultados obtenidos.

Tabla XX. **Espesor a los diferentes tiempos preliminares**

Carga (kg/cm ²)	Tiempo (min)	Espesor (mm)
4,73	2	14,05
4,73	5	12,65
4,73	7	12,535
4,73	10	12,45
2,36	2	14,4
2,36	5	13,95
2,36	7	13,88
2,36	10	13,8

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Espesor de los tableros en función de los tiempos preliminares de prensado**



Fuente: elaboración propia.

Se observa que al transcurrir un tiempo mayor a 5 minutos, los cambios en el espesor de los tableros aglomerados no son significativos, mientras que para los primeros dos tiempos las diferencias en el espesor son significativas, por lo tanto se eligieron los primeros dos tiempos: 2 y 5 minutos.

Tablas de recopilación y procesamiento de la información

Tabla XXI. **Proporción de aglomerante, carga de compactación y tiempo de prensado de cada tratamiento**

No.	Proporción (%)	Carga (kg/cm ²)	Tiempo (min)
1	34	4,73	5
2	34	4,73	5
3	34	4,73	5
4	34	4,73	2
5	34	4,73	2
6	34	4,73	2
7	34	2,36	5
8	34	2,36	5
9	34	2,36	5
10	34	2,36	2
11	34	2,36	2
12	34	2,36	2
13	42	4,73	5
14	42	4,73	5
15	42	4,73	5
16	42	4,73	2
17	42	4,73	2
18	42	4,73	2
19	42	2,36	5
20	42	2,36	5
21	42	2,36	5
22	42	2,36	2
23	42	2,36	2
24	42	2,36	2
25	48	4,73	5
26	48	4,73	5
27	48	4,73	5
28	48	4,73	2
29	48	4,73	2
30	48	4,73	2
31	48	2,36	5
32	48	2,36	5

Continuación de la tabla XXI.

No.	Proporción (%)	Carga (kg/cm ²)	Tiempo (min)
33	48	2,36	5
34	48	2,36	2
35	48	2,36	2
36	48	2,36	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Datos para la evaluación de la viscosidad *Brookfield*

No.	Formulación		No. aguja	Velocidad (rpm)	Valor	Factor	T (°C)
	Colofonia:agua	Agua:NaOH					
1	1 : 1	12 : 1	62	6	4	50	77
				6	4	50	
				6	5	50	
2	1.5 : 1	24 : 1	62	3	3	100	75
				3	3	100	
				3	2,50	100	
3	2 : 1	24 : 1	64	3	10	500	77
				6	5	1000	
				6	5	1000	
4	2,5 : 1	24 : 1	64	6	7	1000	78
				6	7,5	1000	
				6	6,5	1000	
5	2,5 : 1	32 : 1	64	6	28	1000	75
				6	30	1000	
				6	27	1000	
6	4,5 : 1	24 : 1	64	6	32	1000	72
				6	31,5	1000	
				6	30,5	1000	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Viscosidad de las diferentes formulaciones de aglomerante**

No.	η (mPa.s)	η (Pa.s)	$\bar{\eta}$
1	200	0,2	0,22
	200	0,2	
	250	0,25	
2	300	0,3	0,28
	300	0,3	
	250	0,25	
3	5000	5	5,00
	5000	5	
	5000	5	
4	7000	7	7,00
	7500	7,5	
	6500	6,5	
5	28000	28	28,33
	30000	30	
	27000	27	
6	32000	32	31,33
	31500	31,5	
	30500	30,5	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Datos del largo y ancho de las probetas para ensayo de densidad**

No.	$L_{1,o}$ (mm)	$L_{2,o}$ (mm)	$A_{1,o}$ (mm)	$A_{2,o}$ (mm)	\bar{L}_o	\bar{A}_o
1	99,92	99,66	99,59	99,44	99,79	99,52
2	100,00	100,09	100,41	100,03	100,05	100,22
3	99,69	99,86	99,90	99,97	99,78	99,94
4	98,46	98,86	99,95	99,39	98,66	99,67
5	99,78	99,98	99,84	99,86	99,88	99,85
6	98,67	98,02	99,73	99,72	98,35	99,73

Continuación de la tabla XXIV.

No.	L _{1,o} (mm)	L _{2,o} (mm)	A _{1,o} (mm)	A _{2,o} (mm)	\bar{L}_o	\bar{A}_o
7	100,01	100,18	98,85	98,43	100,10	98,64
8	98,70	99,07	100,15	99,96	98,89	100,06
9	99,88	99,72	99,85	99,78	99,80	99,82
10	99,84	99,83	100,10	100,00	99,84	100,05
11	99,27	99,61	99,60	99,22	99,44	99,41
12	98,95	99,25	99,75	99,86	99,10	99,81
13	99,00	98,66	100,00	100,15	98,83	100,08
14	99,05	99,50	99,53	99,63	99,28	99,58
15	98,93	99,36	99,63	99,00	99,15	99,32
16	98,81	99,93	99,53	99,84	99,37	99,69
17	100,38	99,60	99,57	99,39	99,99	99,48
18	99,46	100,23	99,74	99,79	99,85	99,77
19	99,85	99,89	98,61	98,11	99,87	98,36
20	99,99	99,91	99,84	99,26	99,95	99,55
21	99,15	99,82	100,00	99,95	99,49	99,98
22	99,89	99,92	99,49	100,01	99,91	99,75
23	99,64	99,84	99,98	99,64	99,74	99,81
24	100,07	99,98	99,62	99,91	100,03	99,77
25	99,48	99,41	99,47	99,96	99,45	99,72
26	99,64	99,69	99,41	99,73	99,67	99,57
27	98,93	99,88	98,93	99,88	99,41	99,41
28	99,13	99,63	99,90	99,76	99,38	99,83
29	99,75	99,71	99,81	99,71	99,73	99,76
30	99,89	99,92	99,58	99,72	99,91	99,65
31	99,89	99,89	100,23	100,61	99,89	100,42
32	100,32	100,20	99,57	99,40	100,26	99,49
33	99,59	99,55	99,62	99,79	99,57	99,71
34	99,50	99,89	99,34	99,90	99,70	99,62
35	99,90	100,18	98,55	98,55	100,04	98,55
36	99,88	100,27	100,29	99,52	100,08	99,91

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Datos del grosor de las probetas para ensayo de densidad e hinchamiento**

No.	$\epsilon_{1,o}$ (mm)	$\epsilon_{2,o}$ (mm)	$\bar{\epsilon}_o$ (mm)
1	13,67	13,96	13,82
2	14,22	15,04	14,63
3	15,98	15,85	15,92
4	14,38	13,58	13,98
5	14,53	14,52	14,53
6	17,19	17,84	17,52
7	17,54	18,10	17,82
8	15,11	14,91	15,01
9	18,12	18,22	18,17
10	16,20	16,13	16,17
11	17,40	17,06	17,23
12	13,72	14,43	14,08
13	12,56	13,11	12,84
14	12,83	12,56	12,70
15	12,34	12,47	12,41
16	13,22	13,49	13,36
17	13,79	13,92	13,86
18	14,50	15,27	14,89
19	13,71	13,90	13,81
20	15,12	15,06	15,09
21	13,26	12,94	13,10
22	14,41	14,09	14,25
23	14,49	14,74	14,62
24	14,17	14,50	14,34
25	13,19	13,69	13,44
26	15,01	15,06	15,04
27	15,05	14,99	15,02
28	13,64	13,21	13,43
29	12,34	12,44	12,39
30	14,97	15,27	15,12

Continuación de la tabla XXV.

No.	$\varepsilon_{1,o}$ (mm)	$\varepsilon_{2,o}$ (mm)	$\overline{\varepsilon_o}$ (mm)
31	13,95	13,46	13,71
32	12,98	12,96	12,97
33	14,19	14,12	14,16
34	13,70	12,89	13,30
35	14,29	13,53	13,91
36	12,16	12,56	12,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Datos calculados para la evaluar la densidad**

No.	M_o (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ (g/cm ³)
1	117,75	137,1913	0,8583	0,8172
2	115,23	146,6878	0,7855	
3	128,18	158,6887	0,8077	
4	122,74	137,4715	0,8928	0,8340
5	124,83	144,8581	0,8617	
6	128,41	171,7776	0,7475	
7	132,02	175,9435	0,7504	0,7309
8	119,87	148,5080	0,8072	
9	114,96	181,0011	0,6351	
10	110,07	161,4640	0,6817	0,6986
11	121,45	170,3242	0,7131	
12	97,59	139,2113	0,7010	
13	142,07	126,9434	1,1192	1,0756
14	129,60	125,5003	1,0327	
15	131,30	122,1469	1,0749	
16	132,96	132,2906	1,0051	0,9732
17	145,26	137,8158	1,0540	
18	127,61	148,2700	0,8607	
19	127,29	135,6095	0,9387	0,9479
20	141,95	150,1458	0,9454	
21	125,04	130,2928	0,9597	

Continuación de la tabla XXVI.

No.	M _o (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ (g/cm ³)
22	135,69	142,0087	0,9555	0,9278
23	129,31	145,4930	0,8888	
24	134,35	143,0489	0,9392	
25	150,00	133,2732	1,1255	1,0936
26	156,31	149,2020	1,0476	
27	164,38	148,4179	1,1075	
28	142,55	133,1908	1,0703	1,0859
29	139,55	123,2689	1,1321	
30	158,84	150,5277	1,0552	
31	148,67	137,4742	1,0814	1,0645
32	136,75	129,3675	1,0571	
33	148,25	140,5256	1,0550	
34	144,16	132,0408	1,0918	1,0514
35	149,45	137,1379	1,0898	
36	120,20	123,5752	0,9727	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Datos del largo y ancho de la probeta de ensayo posterior a la inmersión en agua**

No.	L _{1,f} (mm)	L _{2,f} (mm)	A _{1,f} (mm)	A _{2,f} (mm)	\bar{L}_f	\bar{A}_f
1	103,34	103,94	103,54	103,46	103,64	103,50
2	106,96	105,60	106,54	105,56	106,28	106,05
3	106,90	104,23	106,04	105,03	105,57	105,54
4	101,13	102,11	102,34		101,62	102,34
5	104,69	105,90	105,44	106,11	105,30	105,78
6	107,41	105,38	106,58	107,23	106,40	106,91
7	104,25	106,26	105,11	105,58	105,26	105,35
8	105,18	105,05	104,86	103,76	105,12	104,31
9	106,36	105,89	107,00	107,20	106,13	107,10

Continuación de la tabla XXVII.

No.	L _{1,f} (mm)	L _{2,f} (mm)	A _{1,f} (mm)	A _{2,f} (mm)	\bar{L}_f	\bar{A}_f
10	108,60	107,15	106,54	106,90	107,88	106,72
11	104,50	104,91	105,38	104,73	104,71	105,06
12	106,45	106,54	108,50	107,50	106,50	108,00
13	100,63	100,24	100,92	101,33	100,44	101,13
14	101,55	102,79	103,47	102,70	102,17	103,09
15	100,70	101,01	100,71	100,88	100,86	100,80
16	102,40	101,65	102,91	102,07	102,03	102,49
17	101,52	100,97	100,84	101,37	101,25	101,11
18	102,18	106,41	102,02	102,47	104,30	102,25
19	102,68	102,19	101,95	105,56	102,44	103,76
20	103,10	102,84	102,75	102,95	102,97	102,85
21	100,69	101,34	102,04	102,32	101,02	102,18
22	102,78	101,45	101,47	102,67	102,12	102,07
23	102,81	102,41	101,10	104,97	102,61	103,04
24	101,05	102,23	101,32	101,14	101,64	101,23
25	100,59	100,51	100,45	100,48	100,55	100,47
26	100,48	100,61	100,24	100,44	100,55	100,34
27	99,58	99,48	100,75	100,47	99,53	100,61
28	101,67	101,33	101,33	101,12	101,50	101,23
29	100,43	100,43	100,17	100,52	100,43	100,35
30	100,95	101,13	100,75	100,22	101,04	100,49
31	100,74	100,68	100,33	101,05	100,71	100,69
32	101,14	100,62	101,15	100,96	100,88	101,06
33	100,60	100,74	101,49	101,32	100,67	101,41
34	100,47	100,60	100,89	99,82	100,54	100,36
35	100,88	100,82	98,97	99,50	100,85	99,24
36	103,29	101,55	104,05	101,95	102,42	103,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Datos del grosor de las probetas de ensayo posterior a su inmersión en agua**

No.	$\epsilon_{1,f}$ (mm)	$\epsilon_{2,f}$ (mm)	$\bar{\epsilon}_{,f}$ (mm)
1	16,47	16,54	16,42
2	18,23	18,70	18,14
3	19,48	19,14	19,45
4	15,70	15,80	15,85
5	17,02	17,22	16,68
6	21,75	20,65	20,96
7	21,96	21,55	21,59
8	17,92	17,70	17,71
9	23,50	25,47	23,78
10	19,89	20,23	20,27
11	20,19	20,54	20,42
12	16,96	18,80	17,80
13	14,45	14,41	14,39
14	14,20	14,15	14,16
15	13,89	13,83	13,88
16	15,31	15,37	15,22
17	15,28	15,35	15,29
18	16,70	16,90	16,80
19	15,15	15,60	15,55
20	16,84	16,80	16,91
21	14,89	15,52	14,56
22	16,38	16,46	16,45
23	16,85	16,78	16,79
24	16,59	16,78	16,48
25	14,20	14,33	14,30
26	15,47	15,57	15,32
27	15,80	15,73	15,68
28	14,13	14,21	14,19
29	13,05	13,16	13,21
30	15,29	16,13	15,77
31	14,28	14,25	14,31
32	13,78	13,58	13,73
33	14,89	15,85	15,50

Continuación de la tabla XXVIII.

No.	$\epsilon_{1,f}$ (mm)	$\epsilon_{2,f}$ (mm)	$\bar{\epsilon}_{,f}$ (mm)
34	14,21	14,14	14,19
35	15,29	15,07	15,11
36	13,32	13,29	13,12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Datos calculados del porcentaje hinchazón**

No.	Hinchazón (%)	Media Hinchazón (%)
1	18,8322	21,6757
2	24,0146	
3	22,1803	
4	13,3566	15,9387
5	14,8193	
6	19,6403	
7	21,1560	23,3305
8	17,9880	
9	30,8476	
10	25,3789	23,4458
11	18,5287	
12	26,4298	
13	12,0958	11,8222
14	11,5006	
15	11,8702	
16	13,9461	12,3956
17	10,3753	
18	12,8653	
19	12,6222	11,9436
20	12,0444	
21	11,1641	

Continuación de la tabla XXVIX.

No.	Hinchazón (%)	Media Hinchazón (%)
22	15,4386	15,1005
23	14,8820	
24	14,9808	
25	6,3616	4,2116
26	1,8789	
27	4,3941	
28	5,6797	5,5323
29	6,6182	
30	4,2989	
31	4,3962	6,5672
32	5,8211	
33	9,4843	
34	6,6942	7,1507
35	8,6089	
36	6,1489	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Datos para la evaluar del porcentaje de absorción de agua**

No.	M_f (g)	Absorción (%)	Media Absorción (%)
1	165,11	40,2208	51,5163
2	182,46	58,3442	
3	199,94	55,9838	
4	165,18	34,5772	48,3159
5	178,07	42,6500	
6	215,37	67,7206	
7	214,88	62,7632	68,5589
8	183,75	53,2911	
9	217,99	89,6225	
10	201,82	83,3560	77,7808
11	199,88	64,5780	
12	180,94	85,4083	

Continuación de la tabla XXX.

No.	M_f (g)	Absorción (%)	Media Absorción (%)
13	161,68	13,8031	18,2823
14	162,41	25,3164	
15	151,95	15,7273	
16	159,98	20,3219	21,4218
17	167,84	15,5445	
18	163,85	28,3990	
19	156,33	22,8140	18,6091
20	158,32	11,5322	
21	151,90	21,4811	
22	162,23	19,5593	19,3098
23	155,23	20,0449	
24	158,97	18,3253	
25	160,15	6,7667	7,0064
26	166,93	6,7942	
27	176,64	7,4583	
28	161,68	13,4199	9,8655
29	148,92	6,7144	
30	173,87	9,4624	
31	161,37	8,5424	10,4084
32	150,63	10,1499	
33	166,83	12,5329	
34	158,64	10,0444	12,2159
35	161,88	8,3172	
36	142,18	18,2862	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. Datos para evaluar el módulo de flexión

No.	C_{\max} de flexión (kg)	A (cm)	ϵ (cm)	Módulo de flexión (kg/cm ²)	Promedio módulo de flexión (kg/cm ²)
1	0,00	7,4390	1,3815	0,0000	21,6184
2	22	7,4645	1,4630	25,8187	
3	12,5	7,4375	1,5915	17,4180	
4	14	7,3260	1,3980	18,3336	23,8415
5	20	7,4480	1,4525	23,8649	
6	35	7,2945	1,7515	29,3260	
7	17,5	7,4695	1,7820	13,8335	14,5793
8	9	7,3485	1,5010	10,1926	
9	18	7,4400	1,5170	19,7120	
10	11	7,4435	1,6165	10,6039	8,3809
11	5	7,4040	1,7230	4,2652	
12	8	7,3700	1,4075	10,2737	
13	24	7,3430	1,2835	37,2004	44,5852
14	33	7,3875	1,2695	51,9700	
15	6	7,3745	1,2405	9,9135	
16	5	7,3970	1,3355	7,1060	20,7110
17	29	7,4590	1,3855	37,9757	
18	15	7,4445	1,4885	17,0514	
19	17	7,4470	1,3805	22,4593	22,7217
20	8	7,4550	1,5090	8,8362	
21	25	7,4085	1,3100	36,8696	
22	3	7,4505	1,4250	3,7180	8,3229
23	3,5	7,4340	1,4615	4,1328	
24	14	7,4625	1,4335	17,1179	
25	35	7,4150	1,5440	37,1248	42,9895
26	40	7,4265	1,5035	44,6756	
27	42	7,4005	1,5020	47,1682	

Continuación de la tabla XXXI.

No.	C_{\max} de flexión (kg)	A (cm)	ϵ (cm)	Módulo de flexión (kg/cm ²)	Promedio módulo de flexión (kg/cm ²)
28	37	7,3980	1,3425	52,0307	36,4731
29	3	7,4330	1,2390	4,9296	
30	19	7,4505	1,5120	20,9154	
31	28	7,4490	1,3705	37,5235	35,1266
32	21	7,4860	1,2970	31,2673	
33	29	7,4170	1,4155	36,5891	
34	18	7,4295	1,3295	25,7003	33,0201
35	23	7,4640	1,2897	34,7360	
36	23,5	7,4675	1,2360	38,6240	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Datos para evaluar el esfuerzo máximo de la resistencia a la tensión**

No.	C_{\max} de tensión (kg)	A (cm)	ϵ (cm)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Promedio esfuerzo máximo (kg/cm ²)
1	130	7,4390	1,3815	12,6496	7,1508
2	50	7,4645	1,4630	4,5785	
3	50	7,4375	1,5915	4,2241	
4	55	7,3260	1,3980	5,3702	7,1249
5	80	7,4480	1,4525	7,3949	
6	110	7,2945	1,7515	8,6097	
7	0	7,4695	1,7820	0,0000	5,8363
8	75	7,3485	1,5010	6,7996	
9	55	7,4400	1,5170	4,8731	

Continuación de la tabla XXXII.

No.	C _{máx} de tensión (kg)	A (cm)	ε (cm)	Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	Promedio esfuerzo máximo (kg/cm ²)
10	15	7,4435	1,6165	1,2466	1,4072
11	20	7,4040	1,7230	1,5678	
12	0	7,3700	1,4075	0,0000	
13	124	7,3430	1,2835	13,1569	12,2034
14	120	7,3875	1,2695	12,7953	
15	97,5	7,3745	1,2405	10,6580	
16	35	7,3970	1,3355	3,5430	5,7485
17	67	7,4590	1,3855	6,4832	
18	80	7,4445	1,4885	7,2195	
19	90	7,4470	1,3805	8,7544	8,7544
20	0	7,4550	1,5090	0,0000	
21	0	7,4085	1,3100	0,0000	
22	25	7,4505	1,4250	2,3547	2,2425
23	47	7,4340	1,4615	4,3259	
24	0,5	7,4625	1,4335	0,0467	
25	100	7,4150	1,5440	8,7346	10,3890
26	145	7,4265	1,5035	12,9861	
27	105	7,4005	1,5020	9,4462	
28	104	7,3980	1,3425	10,4714	10,7199
29	100	7,4330	1,2390	10,8584	
30	122	7,4505	1,5120	10,8299	
31	80	7,4490	1,3705	7,8363	9,7433
32	112	7,4860	1,2970	11,5353	
33	103,5	7,4170	1,4155	9,8583	

Continuación de la tabla XXXII.

No.	C_{máx} de tensión (kg)	A (cm)	ε (cm)	Esfuerzo máximo (kg/cm²)	Promedio esfuerzo máximo (kg/cm²)
34	100	7,4295	1,3295	10,1240	8,8163
35	105	7,4640	1,2897	10,9076	
36	50	7,4675	1,2360	5,4172	

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Tabla XXXIII. **Valores críticos de F para un contraste de una cola (P=0,05)**

v_2	v_1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45
3	10,13	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,745	8,703	8,660
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,912	5,858	5,803
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,678	4,619	4,558
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,000	3,938	3,874
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,575	3,511	3,445
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,284	3,218	3,150
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,073	3,006	2,936
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,913	2,845	2,774
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,788	2,719	2,646
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,687	2,617	2,544
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,604	2,533	2,459
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,534	2,463	2,388
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,475	2,403	2,328
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,425	2,352	2,276
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,381	2,308	2,230
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,342	2,269	2,191
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,308	2,234	2,155
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,278	2,203	2,124

v_1 =número de grados de libertad del numerador y v_2 =número de grados de libertad del denominador

Fuente: MILLER, James; MILLER Jane. *Estadística y Quimiometría para Química Analítica*. Pearson Education, Madrid, 2002, p. 264.

Figura 14. Resultados de análisis de cascarilla de café

Elaborado por: Aura Marina de Marroquín
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

FORMULARIO BROMATO 7
INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal

Solicitado por:
Fecha de recibida la muestra:

BROMATOLOGÍA
ANÁLISIS DE BROMATOS PARA BREVETES

Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24188307 Teléfono: 24188307 ext. 1676
E-mail: bromato2000@yahoo.es

No. 131

CIUDAD, GUATEMALA,
DEL 06 AL 10-05-2013.

Dirección: **BRENDA MONTEROSO.**
Fecha de realización: **02-05-2013.**

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA cruda %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Digi. Penosa %	Digi. K.O.H. %	T.N.D.	E.B. g/ml/kg
206	CASCARILLA DE CAFÉ	SECA	11.73	88.27				0.84			32.05	55.05	22.10					1.852
	COMO ALIMENTO							0.74										
	SECA																	
	COMO ALIMENTO																	
	SECA																	
	COMO ALIMENTO																	
	SECA																	
	COMO ALIMENTO																	
<p>OBSERVACIONES Dichos resultados fueron calculados en base a muestra seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.</p> <p style="text-align: right;">TOTAL DE MUESTRAS REGISTRADAS EN ESTA HOJA: 1</p>																		

(Firma)
Laboratorista

(Firma)
Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal
Resultado: 2013-05-06
13/05/13

Fuente: laboratorio de Bromatología. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. USAC.

Figura 15. **Trituración de colofonia**



Fuente: taller de Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Figura 16. **Prueba de viscosidad**



Fuente: laboratorio Sección Química Industrial. CII/USAC.

Figura 17. **Medición de pH**



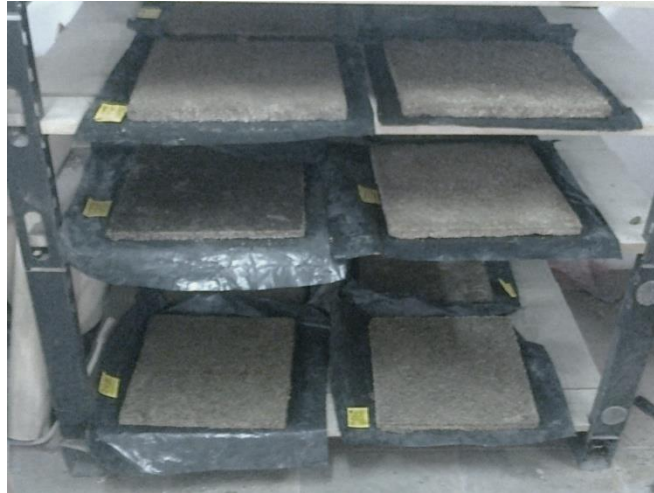
Fuente: taller Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Figura 18. **Preparación de aglomerante**



Fuente: taller Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Figura 19. **Secado y clasificación de tableros aglomerados**



Fuente: taller de Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Figura 20. **Especímenes de prueba**



Fuente: taller de Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Figura 21. **Balanza utilizada para pesar los especímenes de prueba**



Fuente: taller de Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Figura 22. **Prueba de Absorción de agua e hinchazón**



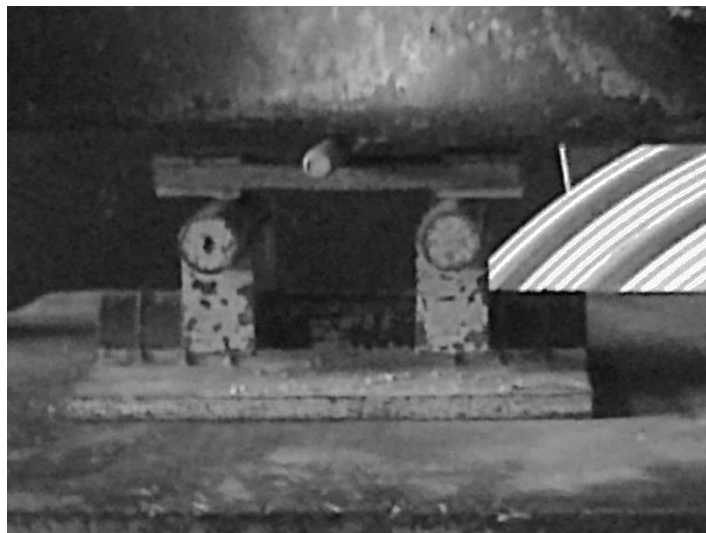
Fuente: taller de Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.

Figura 23. **Espécimen ensayado en la prueba de tensión paralela**



Fuente: sección de Metales y Productos Manufactureros. CII/USAC.

Figura 24. **Prueba de flexión estática**



Fuente: sección de Metales y Productos Manufactureros. CII/USAC.

Figura 25. **Aplicaciones de los tableros aglomerados**



Fuente: taller de Sección de Tecnología de la Madera. CII/USAC.