



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

**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE EPICARPIO DE MANÍ (*Arachis Hypogaea*, C. Linneo) CON UN LIGANTE POLIMÉRICO, EN LA APLICACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA –PANELES MENORES-**

**Tania Sharaim Santa Cruz Orellana**

Asesorado por el Ing. César Alfonso García Guerra

Asesorado por el Ing. Victor Manuel Monzón Valdez

Guatemala, enero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE EPICARPIO DE MANÍ (*Arachis Hypogaea*, C. Linneo) CON UN LIGANTE POLIMÉRICO, EN LA APLICACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA –PANELES MENORES-**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**TANIA SHARAIM SANTA CRUZ ORELLANA**

ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA Y POR EL  
ING. VICTOR MANUEL MONZÓN VALDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, ENERO DE 2012

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	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Victor Herbert De León Morales
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
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 LA UTILIZACIÓN DE EPICARPIO DE MANÍ (*Arachis Hypogaea*, C. Linneo) CON UN LIGANTE POLIMÉRICO, EN LA APLICACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA -PANELES MENORES-**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha mayo de 2011.



Tania Sharaim Santa Cruz Orellana



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



Nº 24413

Guatemala, 24 de octubre de 2011


Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director  
Escuela de Ingeniería Química  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: **"EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE EPICARPIO DE MANÍ (*Arachis Hypogaea*, C. Linneo) CON UN LIGANTE POLIMÉRICO, EN LA APLICACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA –PANELES MENORES–"**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química: Tania Sharaim Santa Cruz Orellana quién se identifica con número de carné 2006-14851.

Luego de haber realizado la revisión del informe final y de realizar las correcciones pertinentes, considero que cumple con los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

  
Ing. Qco. César Alfonso García Guerra  
Colegiado No. 145  
ASESOR

Jefe Sección Química Industrial  
Centro de Investigaciones de Ingeniería/ CII  
Universidad de San Carlos de Guatemala





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

---

Guatemala, 24 de octubre de 2011

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director  
Escuela de Ingeniería Química  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: **"EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE EPICARPIO DE MANÍ (*Arachis Hypogaea*, C. Linneo) CON UN LIGANTE POLIMÉRICO, EN LA APLICACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA -PANELES MENORES-** ", desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química: Tania Sharaim Santa Cruz Orellana quien se identifica con número de carné 2006-14851.

Luego de haber realizado la revisión del informe final y de realizar las correcciones pertinentes, considero que cumple con los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

**Ing. Qco. Víctor Manuel Monzón Valdez**  
**Colegiado No. 656**  
**ASESOR**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala, Centroamérica  
Teléfono directo: (502) 2418-9118 PBX: 2418-8000 extensión 1599 Extensión 86214

Guatemala, 10 de Noviembre de 2011  
Ref.EIQ.TG.268.2011

Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-268-2011-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria, Tania Sharaim Santa Cruz Orellana, identificada con carné No. 2006-14851, titulado: "EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE EPICARPIO DE MANÍ (*Arachis hypogaea*, C. Linneo) CON UN LIGANTE POLIMÉRICO, EN LA APLICACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA -PANELES MENORES-", el cual ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos César Alfonso García Guerra y Víctor Manuel Monzón Valdez.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice al estudiante Santa Cruz Orellana, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.  
COORDINADORA

Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



C.c.: archivo



ACAAI



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

Ref.EIQ.TG.015.2012

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, **TANIA SHARAIM SANTA CRUZ ORELLANA** titulado: "**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE EPICARPIO DE MANÍ (Arachis Hypogaea, C. Linneo) CON UN LIGANTE POLIMÉRICO, EN LA APLICACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA -PANELES MENORES-**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, enero de 2012



Cc: Archivo  
WGAM/ale





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 LA UTILIZACIÓN DE EPICARPIO DE MANÍ (Arachis Hypogaea, C. Linneo) CON UN LIGANTE POLIMÉRICO, EN LA APLICACIÓN DE ESPECIMENES DE PRUEBA -PANELES MENORES-**, presentado por la estudiante universitaria **Tania Sharaim Santa Cruz Orellana**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, enero de 2012

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Por guiarme todos los días, permitirme superar los obstáculos y llenar mi vida de bendiciones.

**Mi madre**

Por apoyarme en todo lo que emprendo, por tus grandes ideas, por tus oraciones y por creer en mí. Este triunfo también es tuyo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por estar conmigo y enseñarme todos los días las cosas que necesito aprender.
<b>Mi hermano</b>	Por apoyarme en todas mis actividades, por llevar los desvelos conmigo y por tu compañía.
<b>Mis amigos</b>	Lizbet Pérez, Sindy García, Alejandra Lemus, Rosangela Juárez, Vivian Salazar, Jacob Girón, Marvin Estrada, Miguel Arriola, Juan Reyes, Joselito Aldana, Bryan Esquite, Josué Alvarado y Estuardo Chavarría, por estar conmigo en todos los momentos y por ser una gran bendición en mi vida.
<b>Fernando</b>	Por todo tu cariño, tiempo, compañía, paciencia, ánimo, y por tu apoyo incondicional.
<b>Ing. César García</b>	Por su acompañamiento, por haberme brindado la oportunidad de trabajar con usted, por todo su carisma y por su especial amistad.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XX
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Maní ( <i>Arachis Hypogaea</i> ) .....	5
2.1.1. Cultivo del maní <i>Arachis Hypogaea</i> en Guatemala .....	5
2.1.1.1. Pre-cosecha del maní .....	7
2.1.1.1.1. Preparación para la siembra .....	7
2.1.1.1.1.1. Arado del suelo .....	7
2.1.1.1.1.2. Formación de camellones .....	7
2.1.1.1.2. Fertilización .....	7
2.1.1.1.3. Encalamiento.....	8
2.1.1.1.4. Siembra del maní.....	8
2.1.1.1.5. Riego .....	9
2.1.1.1.6. Muestreos.....	9
2.1.1.2. Cosecha del maní .....	10
2.1.1.3. Postcosecha del maní.....	11

2.1.1.3.1.	Secado.....	11
2.1.1.3.2.	Trillado .....	11
2.1.1.3.3.	Limpieza.....	12
2.1.1.3.4.	Rotación de cultivo.....	12
2.1.2.	Almacenamiento del maní .....	12
2.1.3.	Comercialización .....	13
2.1.4.	Caracterización del maní <i>Arachis Hypogaea</i> .....	13
2.1.4.1.	Caracterización de la cáscara del maní.....	15
2.2.	Disponibilidad de maní en la aldea Shororaguá, departamento de Chiquimula .....	17
2.2.1.	Producción de maní en el municipio de Chiquimula .....	17
2.2.2.	Producción de maní en la aldea Shororaguá.....	18
2.2.3.	Disponibilidad de cáscara de maní en el beneficio seleccionado de la aldea Shororaguá.....	19
2.2.4.	Proceso de descascarado del maní en el beneficios seleccionado de la aldea Shororaguá.....	20
2.2.4.1.	Descascarado.....	20
2.2.4.2.	Aireado con ventilador .....	23
2.2.4.3.	Selección manual.....	23
2.2.4.4.	Salmuera.....	24
2.2.4.5.	Horneado .....	25
2.2.4.6.	Molido de maní .....	27
2.2.4.7.	Almacén del epicarpio, cáscara de maní .....	27
2.3.	Aglomerados.....	28
2.3.1.	Proceso de elaboración de aglomerados de madera ....	29
2.3.1.1.	Tipos de prensado .....	30
2.3.2.	Tipos de aglomerados de elaborados en la industria Nacional.....	33

2.3.2.1.	Enchapado y contrachapado.....	34
2.3.2.2.	Aglomerados de fibra de densidad media (MDF) .....	35
2.3.2.3.	Tablex .....	36
2.3.2.4.	Aglomerados de melanina.....	37
2.3.2.5.	Cartón piedra.....	37
2.4.	Parámetros físicos evaluados en los tableros aglomerados.....	38
2.4.1.	Densidad.....	38
2.4.2.	Humedad.....	38
2.4.3.	Hinchazón .....	39
2.4.4.	Conductividad eléctrica .....	39
2.4.5.	Conductividad térmica.....	40
2.5.	Parámetros mecánicos evaluados en los tableros aglomerados..	41
2.5.1.	Dureza.....	41
2.5.2.	Resistencia a la tensión paralela a la superficie.....	41
2.5.3.	Esfuerzo máximo en flexión .....	42
2.5.4.	Compresión.....	43
2.5.5.	Tenacidad .....	43
2.5.6.	Elasticidad.....	43
2.5.7.	Hendibilidad o clivaje .....	44
2.5.8.	Ensayos de impacto .....	44
2.6.	Aglomerantes .....	45
2.6.1.	Métodos de encolado para aglomerados .....	45
2.6.2.	Tipos de aglomerantes utilizados para aglomerados .....	47
2.6.2.1.	Resinas ureicas.....	47
2.6.2.2.	Resinas fenólicas .....	47
2.6.2.3.	Resina epóxica.....	48
2.6.2.4.	Resinas melamínicas .....	49
2.6.2.5.	Elastómeros .....	49

2.6.2.6.	Polímeros de vinilo para adhesivos .....	49
2.6.2.6.1.	Adhesivos a base de PVAC .....	50
2.6.2.6.2.	Composición de los adhesivos comerciales a base de PVAC.....	50
2.7.	Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados.....	51
2.7.1.	Placas de cielorraso realizadas con cáscara de maní .....	51
2.7.1.1.	Procedimiento experimental.....	52
2.7.1.2.	Conclusiones de la investigación .....	52
2.7.2.	Paneles de cáscara de maní y madera de pinus taeda ...	53
2.7.2.1.	Procedimiento experimental.....	53
2.7.2.2.	Conclusiones de la investigación .....	54
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	57
3.1.	Variables.....	58
3.2.	Delimitación de campo de estudio .....	59
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	60
3.4.	Recursos físicos disponibles .....	60
3.5.	Recursos materiales disponibles .....	60
3.6.	Técnica cualitativa o cuantitativa .....	62
3.6.1.	Metodología experimental.....	62
3.6.2.	Diseño de tratamientos .....	62
3.6.3.	Manejo experimental.....	63
3.6.4.	Procedimiento de elaboración de los paneles aglomerados .....	66
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información .....	73
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	74
3.9.	Análisis estadístico .....	75
3.9.1	Análisis ANOVA y análisis de Tukey .....	75

4. RESULTADOS.....	79
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	97
CONCLUSIONES .....	109
RECOMENDACIONES.....	111
BIBLIOGRAFÍA.....	113
APÉNDICES .....	117
ANEXOS .....	123





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación de la aldea de Shororaguá .....	18
2.	Máquinas peladoras .....	21
3.	Máquina peladora, vista lateral .....	22
4.	Aspas giratorias de la máquina peladora .....	22
5.	Recepción del material de la máquina peladora .....	23
6.	Selección manual en zaranda .....	24
7.	Maní con cutícula en salmuera .....	25
8.	Bandeja de aluminio para horneado del maní .....	26
9.	Horno artesanal de adobe .....	26
10.	Equipo para molido del maní .....	27
11.	Cáscara de maní en almacén provisional .....	28
12.	Tipos de aglomerados de madera .....	29
13.	Aglomerado por prensado plano homogéneo .....	31
14.	Tableros aglomerados enchapados .....	35
15.	Tableros aglomerados de densidad media .....	36
16.	Prueba de tensión paralela a la superficie .....	42
17.	Prueba de resistencia a la flexión .....	43
18.	Prueba de resistencia a la compresión .....	43
19.	Diseño general de la metodología experimental .....	57
20.	Tamizadora HUMBOLDT de la sección de suelos de la Facultad de Ingeniería USAC .....	67
21.	Marco de carga Forney de la sección de Tecnología de la Madera de la facultad de Ingeniería USAC .....	69

22.	Horno de convección natural marca Precisión, de la sección de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ingeniería USAC.....	70
23.	Monitoreo de la humedad de los tableros para el control del secado..	70
24.	Corte de los tableros para la obtención de las probetas a utilizar en los ensayos físico-mecánicos .....	71
25.	Peso específico de los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga .....	80
26.	Porcentaje de hinchazón presentado por los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga .....	83
27.	Porcentaje de absorción presentado por los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga .....	85
28.	Esfuerzo máximo soportado por los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga .....	87
29.	Módulo de flexión presentado por los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga .....	89
30.	Correlación de las propiedades físicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 14,163 kg/cm <sup>2</sup> durante 12 minutos .....	91
31.	Correlación de las propiedades físicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 14,163 kg/cm <sup>2</sup> durante 18 minutos .....	91
32.	Correlación de las propiedades físicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 28,327 kg/cm <sup>2</sup> durante 12 minutos .....	93

33.	Correlación de las propiedades físicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 28,327 kg/cm <sup>2</sup> durante 18 minutos.....	93
34.	Peso específico vrs. esfuerzo y módulo de flexión, presentados por los especímenes de prueba, compactados a 14,163 kg/cm <sup>2</sup> durante 12 minutos .....	94
35.	Correlación de las propiedades mecánicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 14,163 kg/cm <sup>2</sup> durante 18 minutos .....	94
36.	Correlación de las propiedades mecánicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 28,327 kg/cm <sup>2</sup> durante 12 minutos .....	95
37.	Correlación de las propiedades mecánicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 28,327 kg/cm <sup>2</sup> durante 18 minutos .....	95
38.	Paneles menores elaborados a partir de epicarpio de maní y acetato de polivinilo .....	97
39.	Determinación del peso específico de acuerdo a norma UNE 56,709 para tableros de partículas .....	99
40.	Determinación del porcentaje de hinchazón y absorción por inmersión total en agua durante 2 horas, de acuerdo a norma UNE 56,713 para tableros de partículas .....	102
41.	Especificaciones técnicas para tableros aglomerados de fibra de madera .....	104
42.	Determinación del módulo de flexión de los especímenes .....	106

## TABLAS

I.	Clasificación taxonómica del maní .....	14
----	---	----

II.	Composición química de la semilla del maní en 100 g de masa fresca .....	14
III.	Composición química de la cáscara de maní descrita por Woodroof (1983) .....	15
IV.	Composición química de la cáscara de maní descrita por Yeboah (2003) .....	16
V.	Variables independientes y dependientes en la experimentación...	58
VI.	Insumos disponibles para la experimentación.....	61
VII.	Tratamientos aplicados sobre las unidades experimentales .....	63
VIII.	Datos requeridos para el experimento de acuerdo al número de tratamientos y de observaciones .....	73
IX.	Hoja de toma de datos .....	74
X.	Hoja de cálculo para el análisis de varianza .....	76
XI.	Composición química del adhesivo marca comercial Pgallo 900R ..	79
XII.	Peso específico presentado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados .....	81
XIII.	Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el peso específico de los especímenes de prueba. ( $\alpha = 0,05$ ) .....	81
XIV.	Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de peso específico de los especímenes de prueba .....	82
XV.	Módulo de flexión presentado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados .....	84
XVI.	Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el módulo de flexión presentado por los especímenes de prueba. ( $\alpha = 0,05$ ) .....	84
XVII.	Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de módulo de flexión presentados por los especímenes de prueba .....	85

XVIII.	Porcentaje de absorción presentado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados .....	86
XIX.	Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el porcentaje de absorción de los especímenes de prueba. ( $\alpha = 0,05$ ) .....	86
XX.	Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de porcentaje de absorción de los especímenes de prueba .....	87
XXI.	Esfuerzo máximo soportado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados .....	88
XXII.	Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el esfuerzo máximo soportado por los especímenes de prueba. ( $\alpha = 0,05$ ) .....	88
XXIII.	Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de esfuerzo máximo soportado por los especímenes de prueba .....	89
XXIV.	Módulo de flexión presentado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados .....	90
XXV.	Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el módulo de flexión presentado por los especímenes de prueba. ( $\alpha = 0,05$ ) .....	90
XXVI.	Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de módulo de flexión presentados por los especímenes de prueba .....	91
XXVII.	Clasificación de los tableros de fibra especificados por la FAO, en base a su peso específico .....	100



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cm</b>	Centímetro
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>h</b>	Hora
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg<sub>f</sub></b>	Kilogramo fuerza
<b>lb<sub>f</sub></b>	Libra fuerza
<b>L</b>	Litro
<b>mg</b>	Miligramos
<b>ml</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>%</b>	Porcentaje
<b>in</b>	Pulgada





## GLOSARIO

<b>Aglomerante</b>	Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico.
<b>Carga de compactación</b>	Carga aplicada a un cuerpo para compresionarlo y hacerlo más denso y menos poroso.
<b>Deleznable</b>	Poco durable, inconsistente, de poca resistencia, que se rompe o deshace fácilmente.
<b>Disgregación</b>	Separación de un material en sus partículas.
<b>Epicarpio</b>	Capa externa de las tres que forman el pericarpio de los frutos.
<b>Esfuerzo de tensión</b>	Esfuerzo que se desarrolla en la sección transversal de una pieza para resistir su elongación, pero que tienden a alargarla.
<b>Espécimen</b>	Muestra, modelo o un ejemplar, normalmente con las características de su tipo muy bien definidas.
<b>Impermeabilidad</b>	Propiedad de un material de ser impenetrable al agua o a otro fluido.

<b>Ligante polimérico</b>	Sustancia química derivada de un compuesto formado por polimerización, que se aplica a un sustrato adecuado para ligar creando una capa entre éste y el subsiguiente.
<b>Módulo de flexión</b>	Combinación de las fuerzas de tracción y de compresión que se desarrollan en la sección transversal de un elemento estructural para resistir una fuerza transversal.
<b>Panel aglomerado</b>	Tablero formado por partículas y ensambladas mediante encolado.
<b>Peso específico</b>	Cociente entre la masa de un cuerpo y su volumen.
<b>Porcentaje de absorción</b>	Aumento porcentual de la masa del espécimen luego de la inmersión en agua.
<b>Porcentaje de hinchazón</b>	Aumento porcentual del volumen del espécimen luego de la inmersión en agua.
<b>Propiedades físicas</b>	Propiedades que dependen de la estructura y procesamiento del material.
<b>Propiedades mecánicas</b>	Propiedades que describen la forma en que un material soporta fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tensión, compresión, impacto, o fuerzas a altas temperaturas.
<b>Vítreo</b>	Material que posee propiedades del vidrio.

## RESUMEN

La presente investigación consistió en el aprovechamiento de uno de los subproductos del maní, el epicarpio o cáscara exterior de la leguminosa, como materia prima para la elaboración de aglomerados. La materia prima fue obtenida de un beneficio de maní de la variedad *Arachis Hypogaea*, ubicado en la aldea Shororaguá en el municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula.

Se elaboraron especímenes de prueba –paneles menores- de epicarpio de maní, empleando como variables de la metodología: el porcentaje de ligante polimérico, acetato de polivinilo (PVAC) como aglomerante, siendo sus niveles de tratamiento: 18, 20 y 22 por ciento; la carga de compactación del material, evaluando dos niveles de tratamiento: 14,163 y 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado y el tiempo de aplicación de la carga en la compactación del mismo: 12 y 18 minutos de carga sostenida. Los paneles fueron realizados en un marco de carga Forney, en el área de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

Se realizó un análisis físico-químico del aglomerante comercial Pgalo 900R, para determinar el contenido de acetato de polivinilo a partir del contenido de humedad y de los sólidos totales presentes en la solución acuosa utilizada. Se realizaron pruebas preliminares para estimar los porcentajes de aglomerante, los rangos de cargas de compactación y los tiempos de prensado, para obtener tableros consistentes y con propiedades similares a los aglomerados de partículas de madera.

Se evaluó las propiedades físicas de los especímenes: peso específico, de acuerdo a la norma española UNE 56,709, porcentaje de hinchazón y porcentaje de absorción de agua por inmersión total, de acuerdo a la norma UNE 56,713. Los ensayos mecánicos a los que se sometieron los paneles fueron: ensayo de tensión paralela a la superficie y ensayo de flexión. Los ensayos físico-mecánicos fueron realizados en la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería.

Se concluyó a partir de los resultados y del análisis estadístico, que las mejores propiedades físicas y mecánicas fueron presentadas por los paneles compuestos de 22 por ciento de PVAC y compactados a 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 minutos. Estos paneles presentaron un peso específico alto, menor efecto ante la humedad por reducción de la permeabilidad y resistencias mecánicas aceptables para los tableros aglomerados de madera. Dichos paneles pertenecen a la categoría de tableros duros (*hardboard*), y cumplen con las características técnicas de porcentajes de hinchazón y resistencia a la tensión especificadas por la industria guatemalteca Maderas El Alto S.A., para tableros aglomerados de madera.

## OBJETIVOS

### General

Evaluar la utilización de epicarpio de maní de la especie *Arachis Hypogaea*, por adición de acetato de polivinilo (PVAC) como ligante polimérico, en la aplicación de especímenes de prueba –paneles menores-.

### Específicos

1. Caracterizar el adhesivo acetato de polivinilo (PVAC), determinando la cantidad de sólidos totales para obtener tres porcentajes del ligante polimérico, para su aplicación a la materia prima para la elaboración de un compósito aglomerado.
2. Evaluar el efecto del porcentaje del ligante polimérico, acetato de polivinilo (PVAC) utilizado como aglomerante para la elaboración de los paneles menores a partir de epicarpio de maní, en base a la carga de compactación aplicada y al tiempo de la carga sostenida, sobre las propiedades físico-mecánicas: peso específico, hinchazón, absorción de agua, esfuerzo y módulo de flexión de los especímenes de prueba.
3. Evaluar el efecto de la carga de compactación empleada para el prensado de los especímenes, en función del tiempo de la aplicación de la carga y del porcentaje de acetato de polivinilo, sobre las propiedades físico-mecánicas: peso específico, hinchazón, absorción de agua, esfuerzo y módulo de flexión.

4. Evaluar el efecto del tiempo de aplicación de la carga de compactación de los especímenes, en función del porcentaje de acetato de polivinilo y de la carga aplicada en el prensado, sobre las propiedades físico-mecánicas: peso específico, hinchazón, absorción de agua, esfuerzo y módulo de flexión.

## HIPÓTESIS

### INVESTIGACIÓN

Es posible elaborar un material aglomerado como paneles menores a partir del epicarpio del maní, en el cual sus propiedades físico-mecánicas estén determinadas por la proporción de ligante polimérico, por la carga aplicada durante el prensado del material y por el tiempo de aplicación de la carga de compactación sobre el mismo.

### ESTADÍSTICA

**H<sub>1</sub>:**

Existe una diferencia significativa en las propiedades físicas y mecánicas del aglomerado elaborado, realizando variaciones en la proporción de ligante polimérico aplicado a la materia prima, en la carga de compactación del material y el tiempo de prensado.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_n \neq 0$$

**Ho:**

No existe diferencia significativa en las propiedades físicas y mecánicas del aglomerado, al realizar variaciones en la proporción de ligante polimérico aplicado a la materia prima, en la carga de compactación del material y en el tiempo de prensado.

**Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_n = 0$**

**Ha:**

Las propiedades físicas y mecánicas del aglomerado son independientes de la proporción de ligante polimérico aplicado a la materia prima, de la carga de compactación del material e independiente del tiempo de prensado.





## INTRODUCCIÓN

La importancia de nuevas oportunidades para la industria nacional, hace necesaria la investigación de materia prima alternativa, que además de tener un menor requerimiento económico, pueda contribuir a la disminución del material catalogado como desecho no aprovechable.

Los aglomerados en Guatemala son una alternativa viable para cubrir las necesidades de la industria de muebles y algunas de las de la industria de materiales de construcción.

En estadísticas proporcionadas por la FAO, *Food and Agricultura Organization of the United Nations*, se estima que los productos forestales más comercializados son las maderas aserradas para usos industriales, madera chapada y los contrachapados o plywood. La Comisión de Fabricantes del Mueble COFAMA, estimó que para el 2005, las exportaciones de muebles alcanzaron los treinta y cinco millones de dólares. Dichas estadísticas proporcionan una idea de las tasas de consumo de los productos de las maderas nacionales, entre los que figuran los aglomerados.

Con el uso de sustitutos de la madera en algunos sectores de la industria, es posible reducir los altos consumos de dicha materia prima, y con ello asegurar la existencia de algunas especies actualmente vulnerables, tales como la caoba, el cedro y el hormigo.

Con el propósito de aportar una investigación sobre la utilización de un subproducto, con el presente estudio se propone una alternativa para el aprovechamiento del residuo del maní. Así mismo evalúa tres variables que definen las propiedades físico-mecánicas de los aglomerados.

Se inició con el diseño de una metodología para elaborar aglomerados a escala de laboratorio como especímenes de prueba; se comparó el producto final en base al efecto que tiene la proporción de aglomerante utilizado, la carga de compactación aplicada y el tiempo de prensado, sobre las propiedades físico-mecánicas del material aglomerado. Posterior a la evaluación de cada una de las variaciones realizadas, se evaluó la significancia de las mismas.

## 1. ANTECEDENTES

En Guatemala se han realizado investigaciones sobre la elaboración de aglomerados y la materia prima utilizada.

- El “Reporte nacional de manejo de residuos en Guatemala, 2004”, por parte de El Centro Guatemalteco de Producción más Limpia, consistió en un estudio sobre el uso de residuos de la madera. A partir de la investigación se determinó que en algunas industrias, tales como Maderas El Alto, el aserrín, la viruta y la lepa son utilizados para elaborar aglomerados tales como el plywood; del aserrín se obtienen materiales como durpanel y la viruta para aglomerados como propanel. Asimismo el estudio recomendó diversificar la producción de aglomerados para sustituir a la madera como materia prima.
- Se realizó un trabajo de graduación en el 2005, titulado “Implementación del uso de aglomerados de madera como alternativa en la industria de muebles, con el objetivo de brindar información técnica acerca del manejo de los aglomerados de madera”. El autor concluyó que el uso de aglomerados aumenta la eficacia en las industrias de mueblería, por el hecho de requerir de un menor proceso de elaboración, en comparación con el proceso que utiliza como materia prima, madera en su estado natural.
- Roberto Caballeros en su trabajo de graduación titulado “Desechos sólidos: fuente de energía y material de construcción”, en la Universidad Francisco Marroquín en febrero de 2003, realizó un estudio que planteaba

la utilización de ceniza proveniente de la incineración de desechos orgánicos, como materia prima para la fabricación de paneles aglomerados. Como resultado de la investigación se tuvo que los paneles fueron de alta densidad y resistencia mecánica debido al reducido tamaño de las partículas de ceniza; además, por sus propiedades de aislamiento térmico y acústico fueron recomendados para construcción de interiores y exteriores.

Han sido realizadas investigaciones acerca del uso de la cáscara de maní y otros materiales alternativos para la elaboración de aglomerados.

- En el 2005 los autores Ricardo Argüello y Mariana Gatani, en su artículo “Placas de cielorraso realizadas con cáscaras de maní”, concluyeron que dichos paneles eran una buena alternativa debido a su bajo peso específico, y por haber presentado un coeficiente de conductividad térmica menor al de las placas de fibras de madera.
- Una investigación realizada por Juan Carlos Medina y Alejandro Ambrogí, con el tema “Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados, trata sobre la elaboración de paneles utilizando una mezcla de cáscara de maní y partículas de madera de pino”. A partir del estudio se comprobó que es necesario reducir el tamaño de la cáscara para mejorar las características del aglomerado, y evitar así el uso de mayores cantidades de aglomerante.
- En una nota técnica titulada “Materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento”. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas, publicada en octubre de 1994, se presentaron los resultados de una serie de evaluaciones de materiales elaborados de

cáscara de maní, empleando cemento como aglomerante. El estudio determinó que los aglomerados presentaron, relativamente, bajas densidades, por lo que los autores concluyeron que el uso del agregado debe ser enfocado a materiales de bajo peso.

- Un grupo de físicos de la Universidad Nacional de México en el 2005, desarrolló un material industrial a partir de la cascarilla de arroz con un tratamiento químico de dióxido de silicio y mezclado con una resina. El aglomerado resultante presentó características tales como: resistencia al fuego, estabilidad hidrofílica, moldeable y fácil de perforar.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Maní (*Arachis Hypogaea*)

#### 2.1.1. Cultivo del maní *Arachis Hypogaea* en Guatemala

El maní en Guatemala se encuentra distribuido en regiones de tres zonas, la región de menor altitud sobre el nivel del mar, es decir el bosque muy húmedo subtropical cálido ubicado en la costa sur y parte norte del país; la región de altitud intermedia que constituye el bosque húmedo subtropical templado, y la parte más alta, correspondiente al bosque muy húmedo distribuido en el occidente del país.<sup>1</sup>

La mayor diversidad de maní se encuentra en el departamento de Huehuetenango en donde se cultivan las cinco variedades botánicas y el mayor número de razas. Además del cultivo de la variedad de *Hypogaea*, la diversidad de maní en el país se debe en parte a que las comunidades tienen contacto directo con las comunidades mexicanas, intercambiando semillas de los diferentes cultivos del área.

Las áreas de mayor producción de maní a nivel nacional, son en donde se encuentra la menor diversidad, lo cual contrasta con el departamento de Huehuetenango, en donde el maní presenta mayor diversidad y no es un cultivo de alta importancia.

---

<sup>1</sup> GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. p. 84.



La variedad de maní, *Arachis Hypogaea*, es la variedad botánica más distribuida en el país. Dicha variedad es cultivada en departamentos tales como Chiquimula, Baja Verapaz, Huehuetenango, Jutiapa, Zacapa, Escuintla, Suchitepéquez, El Progreso, El Quiché, Petén y Guatemala. Entre las áreas de producción comercial más importantes se encuentra El Petén, Chiquimula y Baja Verapaz.

De todas las variedades, la variedad Hypogaea es la ampliamente distribuida en el país. La variedad Hypogaea se caracteriza por tener en su mayoría dos semillas de color canela, rosado, café o rojo. De esta variedad la mayor producción comercial se da en Petén, Chiquimula y en algunos municipios de Baja Verapaz.

La variedad Hypogaea demuestra las características más primitivas del maní, siendo una planta grande y rastrera. “Este maní es una variedad tradicional que parece tener más de cuarenta años de ser cultivada en la región”.<sup>2</sup>

El cultivo del maní no es de mucha importancia económica en Guatemala, siendo desarrollado por agricultores tradicionales que han conservado de alguna manera sus materiales criollos.

---

<sup>2</sup> GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. p. 84.

### **2.1.1.1. Pre-cosecha del maní**

#### **2.1.1.1.1. Preparación para la siembra**

##### **2.1.1.1.1.1. Arado del suelo**

Para el arado del suelo, es necesario el remojo del terreno. Luego del remojo se procede a arar con arado de vertedera o discos.

##### **2.1.1.1.1.2. Formación de camellones**

Puede ser efectuado con arado o a mano por medio de una pala. Esta actividad facilita la cosecha y evita la hierba. Los camellones se utilizan en especial en situaciones en las que los terrenos son de gravilla o poco profundos y poco permeables. “Regularmente se forman camas de 60 a 80 centímetros de ancho, pues el maní se debe sembrar en camas elevadas, entre 20 a 25 centímetros del nivel del suelo”.<sup>3</sup>

##### **2.1.1.1.2. Fertilización**

El maní aprovecha el fertilizante residual. El cultivo del maní resulta exitoso si se ha realizado un programa de fertilización. Esto es de suma importancia por el hecho de que los suelos para la producción de maní, generalmente son bajos en contenido de materia orgánica y tienen poca capacidad de absorber nutrientes esenciales.

El nitrógeno para la fertilización del suelo, es utilizado en forma amoniacal como sulfato de amonio. El fósforo en forma soluble es el abono más

---

<sup>3</sup> GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. p. 85.

importante para el maní. La aportación de potasa al abono mejora las condiciones sanitarias del cultivo, sobre todo al finalizar el ciclo vegetativo, además aumenta el número de granos por vaina, asegurando una mejor fecundación de los óvulos.

El calcio en el abono es esencial para la formación de los granos y debe ser suministrado a la planta en cantidad importante entre el trigésimo y el centésimo días. La presencia de azufre en los fertilizantes interviene de una forma relativamente importante en la nutrición; si es aplicado de forma elemental, será absorbido con menor rapidez que aplicado en forma de sulfato.

“En cuanto a los oligoelementos, los más importantes para el maní son el molibdeno y el boro”. El molibdeno actúa sobre el desarrollo de la planta y la coloración de las hojas, e incrementa el contenido de nitrógeno de la planta. “El molibdeno se aplica como molibdato amónico o como molibdato sódico. El boro evita los accidentes de fecundación y mejora la calidad de los granos”.<sup>4</sup>

#### **2.1.1.1.3. Encalamiento**

En terrenos con pH menores a 5,8 y bajos en calcio, es necesaria la aplicación de roca caliza o carbonatos de calcio-magnesio como la dolomita, para mejorar el desarrollo de la planta.

#### **2.1.1.1.4. Siembra del maní**

Antes de la siembra las semillas deben ser descortezadas, ya que su conservación sin cubierta es delicada. Luego del descortezado, los granos deben someterse a un tratamiento que los protegerá durante el almacenamiento y en el transcurso de la germinación. Estos tratamientos contienen un

---

<sup>4</sup> GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. p. 85.

insecticida y un fungicida. A escala industrial son utilizados dosificadores mezcladores continuos, o se utilizan sistemas simples y discontinuos llamados tambores mezcladores.

Después del tratamiento de las semillas, los granos se siembran lo antes posible, evitando su exposición a la luz del día.

La profundidad de siembra no debe pasar de los cinco centímetros, pues de lo contrario el grano agota sus reservas al impulsar los cotiledones hacia la superficie del suelo. La profundidad óptima es de tres centímetros, con la condición de que el terreno disponga de la humedad necesaria.

Para la siembra del maní regularmente se utiliza un sistema de doble hilera. El espaciamiento entre semillas debe ser de 5 a 8 centímetros, ya que si existe un espaciamiento muy corto, habrá sobrepoblación y alta competencia por luz y nutrientes.

#### **2.1.1.1.5. Riego**

Existen dos formas de riego: por aspersión y por surco. El sistema utilizado en el país, regularmente es el de riego por surco. Para suelos francos el riego se realiza cada 20 a 25 días.<sup>5</sup> Si el suelo es arenoso, se realiza cada cinco días. La longitud de los surcos debe ser calculada con precisión para evitar las pérdidas de agua por infiltración.

#### **2.1.1.1.6. Muestreos**

Es necesario realizar muestreos durante los últimos quince días del período vegetativo, debido a que la fructificación se produce en el interior del

---

<sup>5</sup> GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. p. 86.

suelo. El período de cosecha se identifica cuando la vaina se endurece y presenta manchas oscuras en las paredes internas, y cuando los granos de maní presentan su típica coloración.

#### **2.1.1.2. Cosecha del maní**

Se define como el corte de la planta con sus vainas. Se puede realizar de forma manual o mecánica. Algunos *test* para determinar la fecha de recolección, consisten en la presencia de semillas que germinan al pie del cacahuete, el aspecto amarillento de las hojas o el color interior de la cubierta.

Para facilitar esta actividad es necesario humedecer el terreno. El arranque consiste en seccionar el pivote radicular de la planta, por debajo del plano de fructificación y por medio de un instrumento en forma de hoja que pasa entre ocho y quince centímetros de profundidad bajo tierra, sin seccionar las vainas. Luego la planta es levantada, sacudida y depositada en el suelo para que se seque.

La operación puede ser realizada a mano, planta por planta, por medio de una herramienta cuya hoja forma un ángulo recto con el mango. Para el cultivo mecanizado se usan dispositivos con una hoja metálica que corta la raíz, y por medio de una transportadora sacudidora, los tallos son depositados en la parte posterior del equipo.

La cosecha debe ser ejecutada con sumo cuidado, pues de lo contrario existe peligro de perder gran número de vainas en tierra.

### **2.1.1.3. Postcosecha del maní**

#### **2.1.1.3.1. Secado**

Luego de la cosecha del maní sus tejidos contienen de un sesenta a un ochenta por ciento de agua. Sus vainas en este momento contienen aproximadamente treinta por ciento de humedad, por lo que es necesario secarlas al sol al menos durante una semana, pues de lo contrario las semillas se deterioran rápidamente.<sup>6</sup>

El principio del secado de los granos del maní es disminuir con rapidez el contenido de agua hasta un quince por ciento aproximadamente, y luego reducirlo con progresión hasta un ocho a diez por ciento. Además, no se debe desecar con excesiva brusquedad ni a una temperatura demasiado elevada, si se hace por medios artificiales.

Para la operación de secado se debe evitar arrancar y amontonar las plantas, o arrancarlas y dejarlas bajo el sol durante varios días.

El tiempo de secado oscila entre seis horas y uno o dos días.

#### **2.1.1.3.2. Trillado**

Cuando los frutos alcanzan una humedad cercana a los diez por ciento, se procede a la trilla. Esta es una operación que consiste en separar las vainas de las hojas y tallos secos; es efectuado con bastón o a mano. Con bastón las hojas y los tallos son desmenuzados y después, de las hojas y las vainas mezcladas, se separan las vainas más densas. En la trilla manual se separan las vainas una por una.

---

<sup>6</sup> GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. p. 86.

#### **2.1.1.3.3. Limpieza**

Por medio de una máquina limpiadora o en una banda transportadora de forma manual, se separan la materia extraña que trae el maní: tierra, piedras, ramas y otros.

#### **2.1.1.3.4. Rotación de cultivo**

Es necesario que luego de la cosecha del maní, se utilice el terreno para otro tipo de cultivo previo a volver a sembrar el maní. La razón radica en que el maní utiliza grandes cantidades de fosfatos, potasio y calcio del suelo. Si no se alternan el cultivo del maní en un terreno, se acelera la erosión del suelo. Recomiendan no sembrar el maní por más de un año en el mismo terreno, dentro de un ciclo de rotación de tres años.<sup>7</sup>

Las rotaciones se realizan a causa de un descenso de los rendimientos, por el agotamiento químico, degradación física del terreno y desarrollo del parasitismo. Los cultivos empleados para rotación con el maní, son: el maíz, papa, ajonjolí, algodón, sorgo, tabaco, mijo, entre otros.

### **2.1.2. Almacenamiento del maní**

El maní es almacenado en vainas, dentro de sacos de yute amarrados con red de pescar. Regularmente los sacos tienen una capacidad de 50 a 60 kilogramos de maní con cáscara.

---

<sup>7</sup> GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. p. 86.

La cubierta del grano de maní constituye una barrera natural que preserva la semilla contra los agentes de alteración, por eso se acostumbra a efectuar el almacenaje en vainas.<sup>8</sup>

El almacén se realiza en grandes locales secos y ventilados, cuyo suelo y paredes estén tratados previamente con un producto insecticida.

### **2.1.3. Comercialización**

En Guatemala el maní no forma parte de la canasta básica pero su consumo es tradicional; además constituye un cultivo requerido por la industria del país. Las cadenas de supermercados compran productos provenientes de pocos proveedores pero consistentes.

De acuerdo a datos del Banco de Guatemala se registró que, en el 2003, la producción de maní fue de 1 555 toneladas. Así mismo, reportó que el consumo nacional es de aproximadamente 3 209 toneladas por año. En cuanto a las importaciones del país, se estima que el incremento medio anual de maní es de un 18 por ciento, siendo los principales países que exportan maní a Guatemala: Nicaragua y El Salvador.

La distribución de maní en el país inicia con el productor, luego el acopiador transportista, acopiador mayorista, distribuidor minorista, detallista y consumidor final. Cabe mencionar que, a pesar de existir estacionalidad de la producción de maní, no existe fluctuación en los precios del mismo.

### **2.1.4. Caracterización del maní *Arachis Hypogaea***

La primera especie de maní fue la variedad *Arachis Hypogaea* descrita por Carlos Linneo en 1753.

---

<sup>8</sup> GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. p. 87.



Tabla I. **Clasificación taxonómica del maní**

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Tribu	Aechyomeneae
Género	Arachis
Especie	Arachis hypogaea

Fuente: *Clasificación taxonómica del cacahuate*. Disponible en  
 Web:<http://es.scribd.com/doc/52105037/TAXONOMIA-CACAHUATE>.  
 Consultado el 7 de julio de 2011.

Tabla II. **Composición química de la semilla del maní en 100 g de masa fresca**

Componentes	%
Agua	5,0
Proteína	30,0
Grasa	48,0
Carbohidratos	15,5
Fibra cruda	3,0
Ceniza	2,0

Fuente: *Clasificación taxonómica del cacahuate*. Disponible en  
 Web:<http://es.scribd.com/doc/52105037/TAXONOMIA-CACAHUATE>.  
 Consultado el 7 de julio de 2011.

#### 2.1.4.1. Caracterización de la cáscara del maní

La cáscara del maní está formada aproximadamente de 95 por ciento de materia orgánica y 5 por ciento de minerales presentes en las cenizas, que generalmente son: silicio, calcio, magnesio, potasio, aluminio, fósforo, azufre y cloro. La bibliografía muestra que la composición química de la cáscara de maní está formada principalmente de celulosa, lignina y hemicelulosa. Además contiene polisacáridos, lípidos, proteínas, minerales, azúcares libres y resinas.

La cáscara de maní es difícilmente degradable en su exposición al exterior, debido a su alto contenido de lignina y bajo contenido de nitrógeno.

Tabla III. **Composición química de la cáscara de maní descrita por Woodroof (1983)**

Contenido	Cantidad %
Humedad	8-10
Proteína cruda	6-7
Grasa	1-2
Fibra cruda	60-67
Celulosa	35-45
Lignina	27-33
Cenizas	2-4

Fuente: WOODROOF, J.G. *Peanuts. Production, processing, products.* p.229.

Según Yeboah, la composición química típica es la siguiente:

Tabla IV. **Composición química de la cáscara de maní descrita por Yeboah (2003)**

<b>Contenido</b>	<b>Cantidad %</b>
Lignina	34,8
Glucano	21,1
Extractivos	14,2
Proteína	11,1
Xylano	7,9
Cenizas	3,4
Arabinosa	0,7
Galactano	0,2
Mannanos	0,1
Otros (Ej. Carbohidratos)	6,5

Fuente: YEBOAH, Y., *et al. Hydrogen from Biomass for Urban Transportation. Hydrogen, Fuel Cells and Infraestructures Technologies Program Review Meeting.* p. 18.

La cáscara de maní es un material muy liviano, su peso específico es aproximadamente de 100 kilogramos por metro cúbico. Su tamaño no supera los 2,5 centímetros de largo, 1,5 centímetros de ancho y un centímetro de espesor.

## **2.2 Disponibilidad de maní en la aldea Shororaguá, departamento de Chiquimula**

En la producción de cáscara de maní debe considerarse su evaluación en términos de abundancia, concentración de cultivo en regiones determinadas, beneficios para la selección y descascarado de la leguminosa, el período de tiempo del cultivo y la cosecha en áreas específicas. Tal es el ejemplo de la evaluación de la disposición de epicarpio de maní en la aldea Shororaguá del municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula.

### **2.2.1. Producción de maní en el municipio de Chiquimula**

El municipio de Chiquimula es uno de los principales productores de maní a nivel nacional. En 1993 este municipio produjo aproximadamente el 20 por ciento de la producción nacional de maní. En el departamento de Chiquimula se considera que uno de los lugares principales de producción de maní en dicho municipio, es la aldea Shororaguá, en la cual el cultivo más importante es el maní.<sup>9</sup>

En el municipio de Chiquimula el maní es procesado por pequeños y medianos agricultores, los cuales realizan todo el proceso de forma artesanal y luego lo comercializan principalmente en mercados locales.

---

<sup>9</sup> MORÁN VALENZUELA, Luis Eduardo. *Diseño del sistema de agua potable para la aldea Shororaguá y diseño de muro de contención para el Instituto de Telesecundaria de la aldea Shororaguá, Chiquimula, Chiquimula.* p.140.

## 2.2.2. Producción de maní en la aldea Shororaguá

La aldea Shororaguá está localizada a 6 kilómetros de la cabecera municipal de Chiquimula. Está ubicada a una longitud norte de  $14^{\circ} 45' 47''$  y latitud occidental de  $89^{\circ} 34' 43''$ . Su altitud es de 570 metros sobre el nivel del mar. La época seca abarca desde el mes de noviembre a abril y la lluviosa de mayo a octubre. La humedad relativa promedio anual es de 66 por ciento, con intervalos de 61 por ciento a 73 por ciento entre la época seca y la lluviosa. La extensión de la aldea es de aproximadamente 4 kilómetros cuadrados.<sup>10</sup>

Figura 1. Ubicación de la aldea de Shororaguá



Fuente: MORÁN VALENZUELA, Luis Eduardo. *Diseño del sistema de agua potable para la aldea Shororaguá y diseño de muro de contención para el Instituto de Telesecundaria de la aldea Shororaguá, Chiquimula, Chiquimula.* p. 140.

En Shororaguá, el maní es procesado para consumo humano y se prepara en distintas formas, tales como: tostado con cáscara, tostado y salado sin cáscara, con cutícula, tostado y salado sin cutícula, tostado revestido con dulce o azúcar, tostado y salado revestido con harina.

<sup>10</sup> MORÁN VALENZUELA, Luis Eduardo. *Diseño del sistema de agua potable para la aldea Shororaguá y diseño de muro de contención para el Instituto de Telesecundaria de la aldea Shororaguá, Chiquimula, Chiquimula.* p.140.

Para el acopio de la materia prima fue seleccionada la aldea Shororaguá, por ser uno de los lugares más importantes del municipio de Chiquimula, por su producción de maní.

De la aldea Shororaguá fue seleccionado uno de los beneficios de un pequeño productor para la realización de una investigación de campo, en la cual fue posible la recaudación de información de la producción mensual e información técnica sobre el procesamiento.

En el beneficio seleccionado se procesan de 30 a 50 quintales de maní al mes en los meses de enero a octubre, en función del requerimiento por parte de los clientes. En los meses de noviembre a diciembre la producción se incrementa de 75 a 90 quintales al mes aproximadamente. Esto resulta en una producción anual promedio equivalente a 47,08 quintales mensuales y a 565 quintales al año (25,62 toneladas métricas).

En la aldea Shororaguá al menos unas 15 familias se dedican al cultivo y procesamiento artesanal del maní, como pequeños productores, lo cual proporciona una idea de la producción anual de maní en Shororaguá.

### **2.2.3. Disponibilidad de cáscara de maní en el beneficio seleccionado de la aldea Shororaguá**

A partir de la producción anual de maní de 25,62 toneladas métricas, se estima que aproximadamente se obtienen 6,41 toneladas métricas de cáscara, del beneficio seleccionado de la aldea Shororaguá, y tomando como referencia el menor porcentaje encontrado del epicarpio que corresponde a toda la leguminosa, 25 por ciento.

El epicarpio del maní posee una densidad aparente de 0,16 gramos por centímetro cúbico al ser triturado hasta el tamaño de partícula deseado, menores a 2,80 milímetros. A partir de este dato se estima que, si se recuperara toda la cáscara de la producción anual del beneficio seleccionado, sería posible la obtención de aproximadamente 93 500 metros cuadrados de tableros aglomerados de 1 centímetro de espesor.

#### **2.2.4. Proceso de descascarado del maní en el beneficio seleccionado de la aldea Shororaguá**

En Shororaguá el proceso de descascarado es una técnica que se ha perfeccionado con el tiempo. A pesar de ser un procedimiento artesanal, ha resultado ser efectivo para los volúmenes de maní que se procesan en el lugar.

##### **2.2.4.1. Descascarado**

Debido a la cantidad de productores de maní en la aldea Shororaguá y al requerimiento de este tipo de sistemas, existe un taller local que se dedica a la construcción de las máquinas peladoras, en donde actualmente cada una tiene un costo de diez mil quetzales. El pelado por medio de este equipo es un sistema continuo que procesa un quintal de maní en aproximadamente 15 minutos.

Figura 2. **Máquinas peladoras**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

Para el descascarado el maní es dejado en agua durante 24 horas para ablandar la cáscara y al mismo tiempo, para que el agua funcione como lubricante de la máquina peladora.

La máquina peladora es un equipo con motor que funciona a 110 voltios. Originalmente era un sistema manual hasta ser mejorado por medio de un motor, esto provocó aumento significativo en la eficiencia del proceso. El equipo contiene unas aspas de hule que giran y golpean el maní hasta separar la cáscara o al menos quebrantarla.



Figura 3. **Máquina peladora, vista lateral**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

Figura 4. **Aspas giratorias de la máquina peladora**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

De la máquina peladora se recibe maní sin cáscara, cáscara suelta y una porción de maní con cáscara.

**Figura 5. Recepción del material de la máquina peladora**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

#### **2.2.4.2. Aireado con ventilador**

Luego de la recepción del maní y la cáscara de la máquina peladora, el maní es trasladado a una zaranda de malla metálica de 5 milímetros y se somete a un soplado por medio de un ventilador para remover la mayor cantidad de cáscara y material extraño de la leguminosa

#### **2.2.4.3. Selección manual**

En la zaranda se termina de remover la cáscara y material extraño que no pasa por la malla metálica, hasta dejar únicamente el maní.

Figura 6. **Selección manual en zaranda**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

#### **2.2.4.4. Salmuera**

Luego de la selección del maní, éste es llevado a unos recipientes de agua con sal, en donde el maní se dejará durante un día, con el objetivo de obtener un maní sazonado.

Al final del período de la salmuera, el agua residual es una solución de color negro rojizo compuesto por componentes de color del maní, así como de tierra y material extraño. El contenido del recipiente se hace pasar por una cesta para escurrir el agua de salmuera durante 24 horas.

Figura 7. **Maní con cutícula en salmuera**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

#### **2.2.4.5. Horneado**

El maní es horneado en hornos artesanales de leña, elaborados de adobe. Para cada horno se utiliza una bandeja de aluminio de capacidad de un quintal. Este proceso se realiza durante una hora. Luego del horneado se obtiene un maní tostado listo para su consumo.

Figura 8. **Bandeja de aluminio para horneado del maní**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

Figura 9. **Horno artesanal de adobe**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

#### **2.2.4.6. Molido de maní**

Una parte del maní procesado es destinado para comercios que lo utilizan molido, para la elaboración de helados o como recubrimiento de congelados de frutas con chocolate. Para ello se procede a remover la cutícula o cascarilla roja, la cual es almacenada en sacos, y el maní es molido en un molino de maíz de pequeña escala.

Figura 10. **Equipo para molido del maní**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

#### **2.2.4.7. Almacén del epicarpio, cáscara de maní**

La cáscara es almacenada provisionalmente en habitaciones ventiladas. Posteriormente se almacena dentro de sacos. Este material es utilizado para mezclar con alimento de ganado, para proporcionarle fibra cruda y aumentar la

masa del mismo. Si hay disponibilidad de cutícula de maní, también es utilizado de la misma forma.

Figura 11. **Cáscara de maní en almacén provisional**



Fuente: investigación de campo. Aldea Shororaguá, Chiquimula.

### **2.3. Aglomerados**

Los materiales aglomerados son los que, en estado pastoso y con consistencia variable, tienen la propiedad de moldearse, adherirse a otros materiales, unirlos, endurecerlos y luego alcanzar resistencias mecánicas considerables. Estos materiales son de gran importancia en la construcción, formando la mayor parte de los elementos de la misma.

Los aglomerados de uso común son los elaborados a base de madera con virutas, aserrín y otros desperdicios de la misma, utilizando calor, resinas naturales o artificiales y otros elementos aglutinantes, es posible la fabricación de tableros o bloques con gran requerimiento en el mercado.

Por lo general se utilizan maderas blandas más que maderas duras, para facilitar su manipulación y la operación del prensado.

Figura 12. **Tipos de aglomerados de madera**



Fuente: SOILÁN CAÑÁS, Azahara. *Cálculo de Estructuras*. Disponible en  
Web:<http://www.cismadeira.com/construccion/downloads/13.materiales.pdf>.  
Consultado el 21 de julio de 2011.

### **2.3.1. Proceso de elaboración de aglomerados de madera**

Los aglomerados de partículas de madera tales como la viruta, presentan menor dificultad de fabricación que los de madera y un mejor comportamiento mecánico.

Los tableros aglomerados de partículas se elaboran a partir de astillas, virutas de madera y aserrín. Estas fibras son mezcladas con adhesivos tales como resinas sintéticas termoendurecibles y polimerizadas. Para la obtención de las partículas, la madera es desmenuzada. Generalmente la materia es



tamizada para obtener uniformidad de tamaño. Al obtener las partículas de un mismo tamaño se aplica adhesivo a toda la masa.

Luego de la mezcla con adhesivos el material es prensado en placas planas de diversos tamaños y espesores. El prensado puede ser realizado por presión a altas temperaturas.<sup>11</sup>

Los paneles de aglomerados de partículas se basan en dos métodos de fabricación, diferenciados por la disposición seccional de la fibra: tableros por prensado plano y tableros por canto o extrusión.

### **2.3.1.1. Tipos de prensado**

- Sistema de prensado plano

Este sistema da como resultado tres calidades diferentes de paneles:

- Prensado plano homogéneo

Se denominan tableros de una sola capa. Los tableros presentan alta resistencia a la tracción. Sus partículas son homogéneas en todo el material y paralelas en la superficie.

- Prensado plano de tres capas

Presentan alta resistencia a la compresión. Sus caras son de partículas de diferentes tamaños. Las tres capas son de distinta porosidad.

- Prensado plano de capas múltiples

Tiene altas propiedades mecánicas. Sus partículas son más finas en el centro del tablero que en las capas exteriores.

---

<sup>11</sup> SOILÁN CAÑÁS, Azahara. *Cálculo de Estructuras*. Disponible en Web: <http://www.cismadeira.com/construccion/downloads/13.materiales.pdf>. Consultado el 21 de julio de 2011.

- Sistema de prensado por canto o extrusión

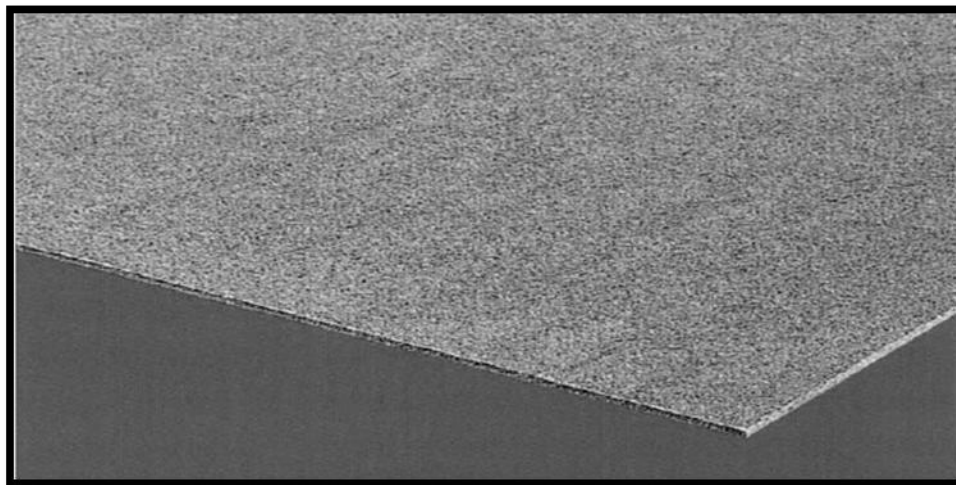
Los tableros fabricados por este sistema deben ser revestidos y chapados, por tener sus virutas en dirección perpendicular a las caras. El sistema da como resultado tableros de dos calidades:

- Tableros macizos

Sus partículas están colocadas en sentido perpendicular a la superficie. El tablero está recubierto de una chapa que le da al material mayor resistencia mecánica.

El otro tipo de tablero obtenido por el método de extrusión, posee ambas caras recubiertas de chapa y tiene huecos longitudinales en el interior del tablero. Esta característica le confiere sus propiedades de aislante térmico y acústico. Tienen menor peso que otros tableros de las mismas dimensiones.

Figura 13. **Aglomerado por prensado plano homogéneo**



Fuente: SOILÁN CAÑÁS, Azahara. *Cálculo de Estructuras*. Disponible en  
Web:<http://www.cismadeira.com/construccion/downloads/13.materiales.pdf>.  
Consultado el 21 de julio de 2011.

El proceso general para la elaboración de tableros aglomerados es el siguiente:

- Triturado y corte de partículas

Las partículas se producen triturando la madera. Estas deben ser de forma plana y normalmente alargada.

- Secado

El secado de las partículas de madera se realiza llevando el material a una humedad entre el 3 y 6 por ciento.

- Tamizado

Se realiza con el objetivo de separar las partículas por su tamaño. Regularmente se utilizan las más gruesas para formar el centro del tablero y las más finas para las caras.

- Encolado

Para el encolado industrial, se utilizan tambores con boquillas que lanzan la cola nebulizada.

- Prensado

El prensado puede ser realizado a presión. Puede realizarse a altas temperaturas con el objetivo de fijar el aglomerado con mayor rapidez y eficacia. Si el prensado se realiza de forma manual, el tablero se debe someter a presión durante varios minutos.

- Secado

El secado puede ser a temperatura ambiente o en hornos. Este proceso permite que el adhesivo fragüe en el material.

- Dimensionamiento

Los tableros son lijados y se afina por medio de sierras para obtener las dimensiones deseadas.

- Almacenamiento

Los tableros son almacenados durante cierto tiempo para que el adhesivo adquiera su máxima resistencia.

### **2.3.2. Tipos de aglomerados de elaborados en la industria nacional**

Existe diversidad de tableros aglomerados de partículas, según su densidad, componentes, con capas de distintas maderas, estructura interna y orientación de las partículas.

Debido a que los paneles de aglomerados son versátiles, en el mercado existe variedad de tipos, lo que permite que sean utilizados para distintos fines, tales como:

- Tableros recubiertos con materiales plastificados para evitar el contacto con la humedad.
- Paneles de pared para absorción acústica, para favorecer la acústica de los lugares.
- Techos y suelos térmicos
- Tabiques móviles
- Elaboración de pisos

### 2.3.2.1. Enchapado y contrachapado

Son tableros de diversas chapas encoladas unas sobre otras. El enchapado es un aglomerado de tres capas al que se le ha pegado en sus caras chapa de madera natural.<sup>12</sup> El número de hojas encoladas del contrachapado debe ser un número impar, construido alternando el sentido de las fibras y pegadas entre sí. Este material tiene mayor resistencia mecánica que la madera sólida de igual superficie y grosor. Su resistencia está dada principalmente por la capacidad de las colas usadas para unir las chapas. Las colas pueden ser a base de caseína, albúminas, resinas de formaldehidos u otras resinas especiales con alta capacidad de cohesión y resistencia a la humedad.

Los chapados tienen una base de aglomerado de partículas o de madera de inferior calidad. Por medio de encolado de chapa y posterior prensado, se adhiere la chapa a la base. El chapado puede realizarse en una o dos caras.

Se puede teñir, barnizar, encerar, pintar y lacar. Los muebles modernos utilizan este tipo de tablero debido a su presentación y estabilidad dimensional. No soporta mucha humedad y no es apto para exterior.

Los tableros de madera enchapada comúnmente se conocen como plywood. Las especies más utilizadas para fabricar enchapados de madera son: pino, cedro y cedrillo. Los espesores manejados son: 4, 6, 9, 12, 15 y 18 milímetros.

---

<sup>12</sup>VIGNOTE PEÑA, Santiago; MARTÍNEZ ROJAS, Isaac. *Tecnología de la madera*. Disponible en Web: [http://books.google.com.gt/books?id=tmY5Z1WVFGwC&pg=PA437&lpg=PA437&dq=aglomerantes+de+madera&source=bl&ots=uKN7pZr48M&sig=XUWvE3\\_9r8gvrt5fpztYt2nElzA&hl=es&ei=RrS5TIIHfFMK78gbA6rCwDg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=9&ved=0CCYQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.gt/books?id=tmY5Z1WVFGwC&pg=PA437&lpg=PA437&dq=aglomerantes+de+madera&source=bl&ots=uKN7pZr48M&sig=XUWvE3_9r8gvrt5fpztYt2nElzA&hl=es&ei=RrS5TIIHfFMK78gbA6rCwDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CCYQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false). Consultado el 7 de julio de 2011.

Figura 14. **Tableros aglomerados enchapados**



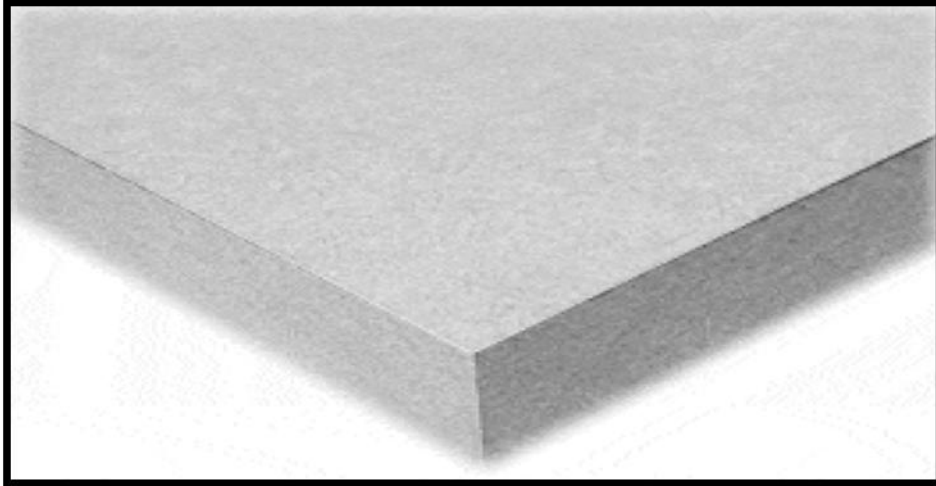
Fuente: SOILÁN CAÑÁS, Azahara. *Cálculo de Estructuras*. Disponible en  
Web:<http://www.cismadeira.com/construccion/downloads/13.materiales.pdf>.  
Consultado el 21 de julio de 2011.

### **2.3.2.2. Aglomerados de fibra de densidad media (MDF)**

Los tableros de fibra de densidad media son láminas compactas de elementos fibrosos de madera prensados en seco. Para este aglomerado se utiliza como aglutinante un adhesivo de resina sintética.

Su estructura es uniforme, fuerte, compacta, estable y homogénea y su textura es fina y lisa por ambas caras. Tiene alta estabilidad dimensional pero su peso específico es más elevado que otros tableros. Es comercializado en grosores desde 2,5 milímetros a 4 centímetros. Es recomendado para todo tipo de muebles funcionales o artísticos. No es un aglomerado apto para exteriores ni para condiciones húmedas.

Figura 15. **Tableros aglomerados de densidad media**



Fuente: SOILÁN CAÑÁS, Azahara. *Cálculo de Estructuras*. Disponible en Web:<http://www.cismadeira.com/construcion/downloads/13.materiales.pdf>. Consultado el 21 de julio de 2011.

### **2.3.2.3. Tablex**

Es un aglomerado a partir de fibras de madera húmedas, sometidas a alta presión y alta temperatura, utilizando para unir sus fibras, resinas naturales. Se caracteriza por ser un material de extremada dureza. Es un tablero barato que se utiliza para partes traseras de muebles y fondos de cajones.

Las resinas utilizadas son para termofraguado y no sufren modificaciones en sus propiedades de adhesión y cohesión por efecto de agentes externos, como la lluvia y los rayos ultravioletas. Por esta razón el tablex resiste humedades ambientales altas y al contacto con el agua.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> VIGNOTE PEÑA, Santiago; MARTÍNEZ ROJAS, Isaac. *Tecnología de la madera*. Disponible en Web: [http://books.google.com.gt/books?id=tmY5Z1WVFGwC&pg=PA437&lpg=PA437&dq=aglomerantes+de+madera&source=bl&ots=uKN7pZr48M&sig=XUWvE3\\_9r8gvr5fpztYt2nElzA&hl=es&ei=RrS5TIHfFMK78gbA6rCwDg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=9&ved=0CCYQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.gt/books?id=tmY5Z1WVFGwC&pg=PA437&lpg=PA437&dq=aglomerantes+de+madera&source=bl&ots=uKN7pZr48M&sig=XUWvE3_9r8gvr5fpztYt2nElzA&hl=es&ei=RrS5TIHfFMK78gbA6rCwDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CCYQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false). Consultado el 7 de julio de 2011.

La superficie del tablex es tersa, fácil de realizar terminados y por su densidad media es fácil de cortar, ranurar o perforar. Tiene una cara lisa y otra rugosa. No tiene glucosa por lo que no desprende malos olores ni atrae insectos.

#### **2.3.2.4. Aglomerados de melamina**

Los tableros de melamina son aglomerados de partículas que está recubierto por ambas caras con resinas melamínicas para obtener superficies libres de poros, duras y resistentes al desgaste.<sup>14</sup>

Las ventajas de estos aglomerados son que no permiten el desarrollo de microorganismos, por lo que se utiliza para ambientes sanitizados, resisten al calor, a los disolventes y ácidos que deterioran otros materiales de madera.

#### **2.3.2.5. Cartón piedra**

El cartón piedra es un tablero que debido a sus propiedades mecánicas es utilizado en la mueblería y construcción.

Su fabricación es en medio húmedo y no utiliza componentes químicos, pues para su aglomeración los agentes que actúan son la temperatura y la lignina de la madera. Son considerados como productos sin efectos de contaminación. Poseen baja absorción de humedad y facilidad de troquelado.

El cartón piedra es utilizado como imitaciones de madera y su principal aplicación es la tabicación, respaldos de muebles y cielos falsos.

---

<sup>14</sup> VIGNOTE PEÑA, Santiago; MARTÍNEZ ROJAS, Isaac. *Tecnología de la madera*. Disponible en Web: [http://books.google.com.gt/books?id=tmY5Z1WVFGwC&pg=PA437&lpg=PA437&dq=aglomerantes+de+madera&source=bl&ots=uKN7pZr48M&sig=XUWvE3\\_9r8gvrt5fpztYt2nElzA&hl=es&ei=RrS5TIHfFMK78gbA6rCwDg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=9&ved=0CCYQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.gt/books?id=tmY5Z1WVFGwC&pg=PA437&lpg=PA437&dq=aglomerantes+de+madera&source=bl&ots=uKN7pZr48M&sig=XUWvE3_9r8gvrt5fpztYt2nElzA&hl=es&ei=RrS5TIHfFMK78gbA6rCwDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CCYQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false). Consultado el 7 de julio de 2011.



## **2.4. Parámetros físicos evaluados en los tableros aglomerados**

### **2.4.1. Densidad**

Se define como la relación que existe entre la masa del material y su volumen, denominado también como peso específico.

Para los materiales sólidos, la densidad puede ser real y aparente. La densidad real es la propiedad intrínseca del cuerpo, sin considerar las cavidades que lo rodean al almacenarse. La densidad aparente es la densidad que toma en cuenta al sólido y las cavidades que lo rodean al almacenarse, por lo que depende de la densidad real y del tamaño, forma y del estado de compactación del sólido en el recipiente. La densidad aparente de un aglomerado que comprende los poros del material es muy variable pues depende también de la humedad del mismo.

### **2.4.2. Humedad**

Esta propiedad se define como la masa de agua contenida en una pieza de un material, expresada como porcentaje de la masa del cuerpo en estado anhidro.

Para materiales tales como los aglomerados de madera, generalmente se utiliza el método gravimétrico para conocer la humedad del material. Este consiste en cortar una probeta en la dirección de las fibras y se pesa; luego la probeta se seca en una estufa, se pesa nuevamente y se calcula el porcentaje de agua.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> HAYDEN, W., et al. *Propiedades mecánicas*. p. 358.

Otra forma para determinar humedad es utilizando un método eléctrico por medio de un xilohigrómetro, el cual mide la propiedad eléctrica del material, así como la resistencia eléctrica y la constante dieléctrica.

El contenido de humedad influye en el volumen y en las dimensiones del material.

### **2.4.3. Hinchazón**

Es la propiedad que define que hay un cambio de volumen de un material, por su contenido de humedad. El hinchamiento se produce cuando un cuerpo absorbe humedad y aumenta su volumen hasta el punto de saturación del material, en el cual ya no aumenta más su volumen aunque siga absorbiendo agua. El aumento de volumen consiste en la hinchazón de las fibras leñosas.

La higroscopicidad o hinchazón del tablero es el índice que mide la absorción de agua que experimenta el tablero al ser sumergido y los cambios de dimensiones que se ocasionan por esta causa. Los factores que determinan la mayor higroscopicidad del tablero son: la proporción de calor empleada, la calidad de la aplicación de la cola y la calidad de la aplicación de las sustancias hidrófugas.

### **2.4.4. Conductividad eléctrica**

Esta propiedad define la facilidad para transmitir la electricidad y el calor a través de su masa. En general los aglomerados son malos conductores del calor y de la electricidad. Los materiales más húmedos son mayores conductores de la electricidad.

#### **2.4.5. Conductividad térmica**

Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducir calor a través del mismo. La magnitud inversa de la conductividad térmica es la resistencia térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

La conductividad térmica también se describe como la cantidad de calor que se transmite a través de la unidad de espesor de un material, cuando la diferencia de temperatura entre ambas caras es de un grado Celsius. El coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ) caracteriza la cantidad de calor necesario por metro cuadrado, para que atravesando durante la unidad de tiempo, un metro de material homogéneo obtenga una diferencia de un grado Celsius de temperatura entre las dos caras.

Esta propiedad se presenta en todos los estados de la materia con predominancia en los sólidos. En mayor o menor medida, todos los materiales oponen resistencia al paso del calor a través de ellos.

La conductividad térmica se expresa en unidades watts por metro por grado Celsius y es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material, dividido entre la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría en condiciones estacionarias

En los aislantes húmedos la propagación del calor puede modificar la distribución de la humedad por efecto de los fenómenos de difusión interna acompañados de evaporaciones y condensaciones. Debido a los movimientos de la humedad dentro de los materiales, los ensayos experimentales requieren que los elementos de estudio estén secos, pues si no están suficientemente secos darán resultados erróneos.

## **2.5. Parámetros mecánicos evaluados en los tableros aglomerados**

### **2.5.1. Dureza**

Se define como la resistencia de un material a la penetración de otros cuerpos, generalmente clavos, tornillo y puntas. También es considerado como dureza, la resistencia al rozamiento.

Esta propiedad depende de la cohesión de las fibras de la estructura del material y aumenta con el secado. Una clasificación de materiales con respecto a su dureza es: materiales muy duros, duros, semiduros, blandos y muy blandos.

Existen varias escalas de dureza que dependen del tipo de penetradores utilizados y las normas que se apliquen. Las principales son: dureza de *Rockwell, Brinell y Vickers*.<sup>16</sup>

### **2.5.2. Resistencia a la tensión paralela a la superficie**

Se conoce también como resistencia máxima o final. Se determina por el estiramiento de los extremos de un material dimensionado como probeta. Al aplicar fuerza en ambos extremos, se mide la deformación hasta que la probeta sobrepasa de su límite de deformación elástica y se deforma permanentemente o se rompe. La carga se aplica y se mide por medio de una prensa universal.

Es posible medir la deformación, por medio del incremento de la longitud del material entre dos puntos marcados en la probeta previo a la prueba.

---

<sup>16</sup> HAYDEN, W., et al. *Propiedades mecánicas*. p. 358.

Durante la prueba de tensión, la deformación del material se concentra en la región central más estrecha, la cual tiene una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud. La muestra es deformada permanentemente y usualmente fracturada.

Figura 16. **Prueba de tensión paralela a la superficie**



Fuente: HAYDEN, W., et al. *Propiedades mecánicas*. p. 362.

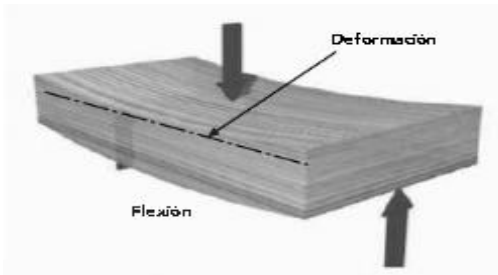
### **2.5.3. Esfuerzo máximo en flexión**

Al forzar un material a un esfuerzo de compresión sobre una sección de la pieza y a esfuerzos de tensión sobre la otra, el material se encuentra a flexión.

Esta propiedad permite que los materiales resistan cargas que tiendan a flectarla cuando se aplican en dirección perpendicular a las fibras.

A lo largo del material al que se aplican los esfuerzos, existe un eje que divide los esfuerzos de tensión y compresión. A este eje se le denomina superficie neutra. Sobre el lado al que se da la compresión, las fibras del material se acortan y sobre las que están bajo tensión se alargan.

Figura 17. **Prueba de resistencia a la flexión**



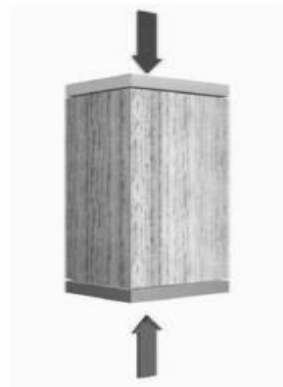
Fuente: HAYDEN, W., et al. *Propiedades mecánicas*. p. 364.

#### 2.5.4. **Compresión**

Es la propiedad que consiste en la resistencia y rigidez a compresión de un cuerpo considerado homogéneo. Se define como la máxima fuerza de compresión aplicada al material por el área inicial de la sección comprimida. La fuerza es aplicada en dirección a su eje longitudinal y la carga es estática.

Experimentalmente la prueba de compresión es lo contrario a la prueba de tensión, con respecto a la dirección de la aplicación de la carga.

Figura 18. **Prueba de resistencia a la compresión**



Fuente: HAYDEN, W., et al. *Propiedades mecánicas*. p. 365.

### **2.5.5. Tenacidad**

Se refiere a la capacidad de la madera para resistir cargas repentinas, tales como golpes o choques. Las fibras de alta tenacidad están entrecruzadas lo que hace que el material sea más difícil de hendir o a la separación de las fibras.<sup>17</sup>

### **2.5.6. Elasticidad**

Es la propiedad de un material de retomar su forma original, luego de haber sido deformado por una fuerza, dentro de su zona elástica. El límite elástico es el punto hasta el cual el material puede ser deformado y regresar a su forma original. La deformación difiere en los materiales de acuerdo con su estructura.

### **2.5.7. Hendibilidad o clivaje**

Se le conoce también como la facilidad a la raja. Es la aptitud del material a dividirse en el sentido de las fibras bajo la acción de una cuña.<sup>18</sup> Los materiales más propensos al hendido son los que están compuestos de fibras largas y carecen de nudos. Esta propiedad es un inconveniente para la manipulación del material.

### **2.5.8. Ensayos de impacto**

Los ensayos de impacto consisten en golpear una probeta con un péndulo colocado a un cierto ángulo del punto de impacto. Las probetas utilizadas para esta prueba, deben contar con una ranura en la parte posterior

---

<sup>17</sup> HAYDEN, W., et al. *Propiedades mecánicas*. p. 370.

<sup>18</sup> *Íbid.*

de donde se genera el impacto, para generar una concentración de esfuerzos y que la energía del choque no se distribuya a lo largo de la probeta sino se concentre en un solo punto. De lo contrario la energía produce una deformación plástica provocando que la probeta se doble y se rompa.

Las principales pruebas de impacto son: la prueba de impacto Charpy y la prueba de impacto Izod. Las principales diferencias entre ambos ensayos son la velocidad con la que se golpea la probeta y la posición de la probeta. En el ensayo de Izod la probeta se sujeta de forma horizontal y es golpeada a una velocidad de 11,5 pies por segundo. Para el ensayo de Charpy la probeta se sujeta de forma horizontal y se golpea a una velocidad de 17,5 pies por segundo. El trabajo obtenido por la probeta se llama resiliencia, y es válido cuando la probeta se rompe de un solo golpe.<sup>19</sup>

Para calcular la energía que absorbe la probeta, se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = W * R(\cos B - \cos A)$$

Donde:

E= Energía absorbida por la probeta (Newton por metro o libras por pie)

W= Peso del péndulo (Newton o libras)

R= Radio de giro del péndulo (metros o pies)

A= Ángulo inicial (grados)

B= Ángulo final (grados)

## 2.6. Aglomerantes

Los aglomerantes o aglutinantes son agentes orgánicos o sintéticos adhesivos, empleados para adherir partículas. Para la fabricación de tableros

---

<sup>19</sup> HAYDEN, W., et al. *Propiedades mecánicas*. p. 372.



aglomerados, los aglomerantes son utilizados como adhesivos de las fibras y como agentes para aumentar la impermeabilidad del material.

### **2.6.1. Métodos de encolado para aglomerados**

- Encolado en caliente

Se aglutinan las partículas a altas temperaturas y bajo presión en prensas hidráulicas. Los paneles encolados en caliente son fuertemente unidos y elaborados en tiempo breve, aproximadamente en un minuto de presión por milímetro de espesor del material.

- Encolado en frío

Consiste en la unión de varias chapas con un porcentaje de humedad inferior al 15 por ciento. Las chapas son sometidas a secado por aire caliente y luego se realiza el encolado fijando el aglomerado a presión por medio de prensas.

- Encolado en húmedo

Este tipo de encolado es aplicable a la fabricación de tableros de chapas de madera aún húmeda. Es económicamente factible pero los tableros resultantes son deficientes en propiedades mecánicas, reducen la capacidad adhesiva de los aglomerantes, y por el contenido de humedad tienden a deformarse.

- Encolado en seco

Consiste en el sistema de encolado más eficiente. Se realiza generalmente utilizando colas líquidas. Luego de realizar el encolado, el material resultante se deja secar hasta que la humedad sea menor al 12 por ciento.

Este proceso puede ser acelerado si el material se somete a compresión en caliente en una prensa a 120 grados Celsius.

## **2.6.2. Tipos de aglomerantes utilizados para aglomerados**

### **2.6.2.1. Resinas ureicas**

Son utilizados para aglutinar fibras de madera para la fabricación de aglomerados y triplay. Son un grupo de resinas termofraguantes. Su síntesis industrial está basada en la oxidación catalítica del metanol, óxidos de metales o la conversión del metanol en hidrógeno elemental y formaldehído en presencia de plata elemental.

Es un adhesivo termofraguante de un intenso color blanco e inodora. Su poder de adherencia es muy fuerte. No ataca a la madera ni a otro tipo de materiales. El encolado final con esta resina es resistente a la humedad, y a la acción de ácidos y álcalis.

El uso de la urea formaldehido resulta práctico cuando se necesita rapidez de encolado, gran poder adherente y resistencia a la humedad. El mayor mercado para estas resinas es la fabricación de tablas de aglomerado.

El proceso de fabricación de la urea formaldehido consiste en la mezcla y disolución en calor, de urea, formaldehído y amoníaco, utilizando un depósito de plancha galvanizada provisto con un agitador y de doble pared, para ser calentado por vapor de agua. En este depósito son introducidos los componentes para que ocurra la reacción.

### **2.6.2.2. Resinas fenólicas**

Se utilizan para el aglutinamiento de algodón, fibras naturales, celulosa, fibra de vidrio y lanas minerales. Estas resinas son de gran resistencia al envejecimiento, empleadas en la fabricación de revestimientos superficiales, productos moldurados y adhesivos.

Las resinas fenólicas son producto de la condensación de moléculas de fenol y formaldehído. El formaldehído reacciona con el fenol produciendo mono, di y trimetilfenoles, que reaccionan entre sí condensando agua, de forma que anillos fenólicos están unidos por puentes metilénicos. La reacción puede ser catalizada por ácidos o bases a alta temperatura.

Las colas fenólicas se pueden usar en frío pero su alto grado de acidez limita dicha aplicación. Su aplicación principal es el encolado en caliente.

### **2.6.2.3. Resina epóxica**

También llamada resina epoxídica. Resina sintética termoestable, de gran tenacidad, resistente a los agentes químicos y de gran poder adherente. Es empleada en la fabricación de revestimientos.

Son polímeros termoestables que se endurecen al ser mezclados con un agente catalizador. Las cantidades en que se adicionan los constituyentes y las condiciones en que se efectúan las reacciones, determinan si se obtienen resinas sólidas, viscosas o líquidas.

Las resinas epóxicas más frecuentes son producto de una reacción entre bisfenol y la epíclorohidrina. El bisfenol se obtiene de fenol y acetona.

Los adhesivos epóxicos se caracterizan por poseer excelente resistencia a los agentes químicos, al calor y a la humedad, además de gran resistencia a

rotura en tracción y cizalla. Su uso es más adecuado para encolar metal, vidrio y porcelana.

#### **2.6.2.4. Resinas melamínicas**

Resina compuesta principalmente de melamina obtenida del carburo de calcio, nitrógeno y formaldehído. Estas resinas se forman por policondensación de la fenilamina y del formaldehído.

Pertenecen al grupo de compuestos termofraguantes llamados aminoplasta. Las resinas melamínicas son solubles en agua y están especialmente diseñada para el encolado de contrachapados. Son compuestos sintéticos y termoestables, resistentes al calor y a la mayoría de los ácidos; empleados en la fabricación de laminados ornamentales y revestimientos superficiales.

#### **2.6.2.5. Elastómeros**

Son colas de contacto cuyo componente básico es el polietileno. Los más importantes de este grupo son el isopreno, el butadieno y el clorobutadieno o Neoprene. Son resistentes a la humedad.

Las colas de Neoprene son sustancias a base de caucho que utilizan una mezcla de cetonas como disolvente, o agua. Esta cola, una vez aplicada se deja secar antes de poner en contacto las superficies a unir.

### **2.6.2.6. Polímeros de vinilo para adhesivos**

Las colas de base vinílica son los adhesivos más efectivos para encolar madera y papel. Existen varios tipos de adhesivos a base de polivinilo, tales como el acetal polivinilo, éter de polivinilo y acetato de polivinilo. El más utilizado para la fabricación de aglomerados de partículas es el adhesivo de PVAC o acetato de polivinilo.

#### **2.6.2.6.1. Adhesivos a base de PVAC**

El PVAC, acetato de polivinilo, es un plástico vinílico que se fabrica a partir de acetileno y ácido acético. Para encolar madera se utiliza agua como disolvente. El proceso de fraguado es físico y la unión es incolora.

Para la aglomeración y encolado de partículas de madera, son los adhesivos más utilizados, por sus buenos resultados en cuanto a fuerza de unión, inalterabilidad o resistencia a la descomposición bacteriana o a otro medio, resistencia a la humedad, resistencia mecánica, rapidez de secado y facilidad de aplicación.

Las colas de acetato de polivinilo, cuando secan en el material, son incombustibles, por lo que evitan la propagación del fuego entre los materiales encolados, pues la cola forma un sistema aislante ignífugo. Básicamente el PVAC forma una emulsión con agua, y cuando la mezcla se deja secar, el agua se evapora, y la cola endurece. El adhesivo más común formulado a base de PVAC es la cola blanca.

#### **2.6.2.6.2. Composición de los adhesivos comerciales a base de PVAC**

Para la elaboración de aglomerados de partículas de madera y de materiales porosos, comúnmente se utilizan adhesivos a base de PVAC como aglomerantes, conocidos como colas blancas.

El componente básico de la cola blanca es el acetato de polivinilo, pero la emulsión está compuesta por otros agentes tales como: un iniciador de la reacción, coloides protectores, usualmente alcohol polivinílico, antiespumantes, tensoactivos, plastificantes y agua. A este adhesivo son agregados cargas a base de calcio y magnesio para estabilizar la solución.

De toda la composición de un adhesivo, es importante la determinación de la cantidad de sólidos totales del mismo. Al estimar la cantidad de agua que contiene, se conoce la cantidad que se evapora durante el periodo de secado.

#### **2.7. Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados**

La elaboración de aglomerados a partir de residuos agrícolas comenzó en la década de los cuarenta. En el 2005 se reportó que el total de material fibroso utilizado a nivel mundial para producir paneles aglomerados es de 3,5 por ciento correspondiente a residuos agrícolas. La resistencia de los paneles a partir de residuos agrícolas depende fundamentalmente del peso específico de las partículas, así como del tipo y forma de aplicación del agente aglomerante.

El residuo del maní generalmente es quemado a cielo abierto, lo cual provoca alteraciones ecológicas en la zona manisera, por la producción de gases tóxicos durante el procedimiento de eliminación, además de la necesidad de disponer grandes superficies de campo exclusivas para la quema.

### **2.7.1. Placas de cielorraso realizadas con cáscara de maní**

El Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE), desarrolló un material para ser utilizado en la construcción. La investigación se realizó a partir de la utilización de cáscara de maní ligadas con resinas poliéster, con el objetivo de obtener un material liviano, poroso y rígido para la elaboración de placas de cielorraso.<sup>20</sup>

#### **2.7.1.1. Procedimiento experimental**

Para la elaboración de los paneles, se seleccionaron partículas de cáscara utilizando una zaranda de 3,5 milímetros de malla, material que presentó un peso específico de 96,5 kilogramos por metro cúbico. Se utilizó como ligante un compuesto de resina polial, monómero de estireno, perly-ox-101 (peróxido de metil etil cetona), y un acelerador OC al 2,5 por ciento (octato de cobalto). La resina fue obtenida realizando reciclado químico de PET (polietilen tereftalato), como insumo principal para su fabricación.<sup>21</sup>

La impregnación de los compuestos: resina, estireno, peróxido y acelerador, a la cáscara de maní, se realizó en dos etapas, utilizando una mezcladora de eje horizontal de paletas rotativas y descarga inferior. Para el moldeo, la mezcla fue volcada en un molde y prensado con una placa de aglomerado durante 24 horas.

El espesor final de la placa fue de 3,3 centímetros. Luego de retirar el molde se dejó fraguar por 24 horas. Todo el procedimiento experimental fue realizado a condiciones ambientales de temperatura y humedad.

---

<sup>20</sup> ARGÜELLO, Ricardo; GATANI, M. *Placas de cielorraso realizadas con cáscara de maní*. p. 2.

<sup>21</sup> *Íbid.*

### **2.7.1.2. Conclusiones de la investigación**

A las placas obtenidas se sometieron a ensayos mecánicos y se determinó el valor de su conductividad térmica para medir la capacidad de aislación térmica. Las placas fueron fijadas al techo por medio de perfiles metálicos y fueron colocadas sin revestimiento, para inferir su composición.

El análisis comparativo de los resultados demostró buenas propiedades de aislación térmica (coeficiente de conductividad térmica de 0,11 watts por metro por grado Kelvin)<sup>22</sup> y liviandad, en relación a materiales similares usados habitualmente como cielorrasos de techo.

### **2.7.2. Paneles de cáscara de maní y madera de pinus taeda**

En el 2005, en la Universidad Nacional de Río IV, Argentina, se realizaron una serie de investigaciones destinadas a establecer aplicaciones de la cáscara de maní, debido al manejo no adecuado de dicho residuo.<sup>23</sup>

La investigación consistió en la elaboración de aglomerados a partir de cáscara de maní con partículas de madera de pino, con el objetivo de determinar en qué porcentaje era posible agregar cáscara de maní sin afectar las propiedades de un aglomerado elaborado con materia prima convencional. Fueron realizados cinco paneles formados por mezclas diferentes, con porcentajes de cáscara adicionados en 0, 30, 50, 70 y 100 por ciento.

---

<sup>24</sup> MEDINA, Juan Carlos; AMBROGI, Alonso. *Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados*. p. 47.

<sup>23</sup> Íbid



### **2.7.2.1. Procedimiento experimental**

La madera de pino fue utilizada, fue molida y secada a una humedad promedio del 5,2 por ciento. La cáscara de maní fue utilizada en las dimensiones y formas en que fue originalmente recibida, secándola previamente a una humedad promedio del 5 por ciento. La misma no fue modificada en dimensiones, a fin de probar la factibilidad de su uso sin necesidad de incorporar trabajo adicional. El encolado se realizó en una encoladora tipo tambor rotativo. La cantidad de cola aplicada fue del 10 por ciento en relación al peso seco de madera, y los únicos componentes de la misma fueron adhesivo fenólico y agua. Una vez formado los paneles, fueron pre-prensados en frío durante 35 segundos promedio, y posteriormente prensados con una temperatura de 160 grados Celsius.

Los paneles elaborados fueron depositados durante dos semanas en una cámara con clima estándar de aproximadamente 20 grados Celsius y 65 por ciento de humedad relativa, para llevar los paneles a las condiciones normales de ensayo. Luego de climatizados, se procedió a retirar por aserrado las muestras para determinar su resistencia a la flexión estática MOR y módulo de elasticidad a la flexión MOE, hinchamiento a 2 y 24 horas, humedad y peso específico. Las determinaciones fueron realizadas según Norma DIN (1985)<sup>24</sup>.

### **2.7.2.2. Conclusiones de la investigación**

Como resultados de la investigación, se concluyó que al aumentar el porcentaje de cáscara de maní, en la producción de aglomerados, en términos de flexión, es posible producir aglomerados de calidad agregando cáscara de

---

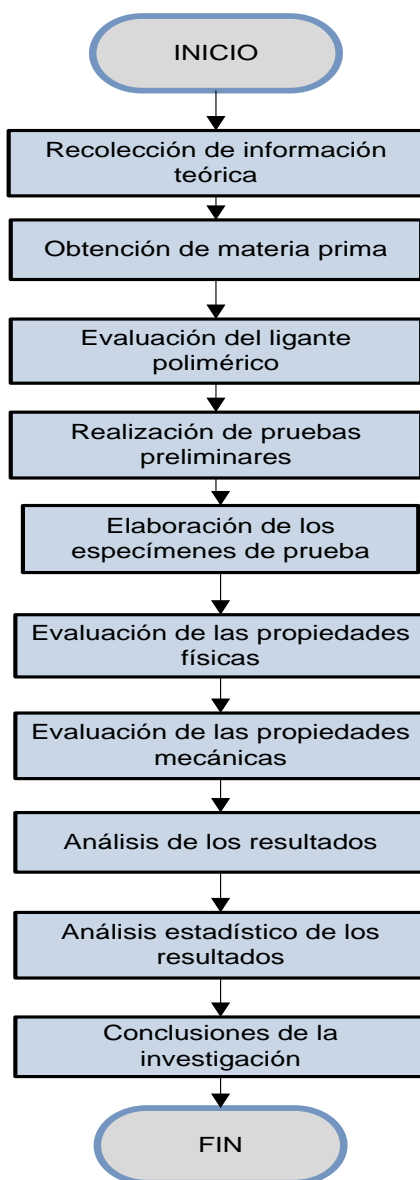
<sup>24</sup> MEDINA, Juan Carlos; AMBROGI, Alonso. *Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados*. p. 49.

maní en una cantidad de hasta 30 por ciento. Para mejorar la calidad de los paneles se debe cambiar la forma de la cáscara reduciéndose su tamaño o aumentando la cantidad de adhesivo. Así mismo el estudio recomienda encolar aumentando los niveles de adhesivo para la cáscara de maní.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

Figura 19. Diseño general de la metodología experimental



Fuente: elaboración propia.

### 3.1. Variables

Las propiedades variables independientes del estudio fueron definidas a partir de los antecedentes del estudio y de las pruebas preliminares.

Tabla V. **Variables independientes y dependientes en la experimentación**

VARIABLES INDEPENDIENTES		
Variable	Dimensión	Indicador
Proporción de aglomerante (PVAC)	Proporción de ligante polimérico en relación a la materia prima	Cantidad de aglomerante utilizado (% masa)
Carga de compactación	Carga aplicada durante el prensado del material	Carga de compactación (kg/cm <sup>2</sup> )
Tiempo de prensado	Tiempo de aplicación de la carga de compactación	Tiempo de prensado (minutos)
VARIABLES DEPENDIENTES		
Propiedades físicas	Densidad	Masa de material por unidad de volumen de muestra (g/cm <sup>3</sup> )
	Hinchazón	Capacidad del material de modificar su volumen en contacto con agua (%)
	Absorción de agua	Porcentaje de agua que absorbe el material durante un tiempo (%)
Propiedades mecánicas	Tensión paralela a la superficie	Carga máxima que soporta el material antes de romperse. (kg/cm <sup>2</sup> )

Continuación de la tabla V.

	Esfuerzo máximo en flexión	Esfuerzo máximo que resiste el material sometido a flexión. (kg/cm <sup>2</sup> )
--	----------------------------	---

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Delimitación del campo de estudio

- Campo de estudio
  - Aprovechamiento de subproductos

Este campo es un conjunto de aplicaciones técnicas que implica investigación y desarrollo de nuevos productos a partir de residuos considerados no aprovechables.

- Área de estudio
  - Aprovechamiento de residuos de productos agrícolas:

Consiste en la transformación de los residuos derivados de productos agrícolas, con el objetivo de ser utilizados como componentes para usos diversos.

- Línea de estudio

Investigación y desarrollo.

- Proyecto de investigación

Evaluación de especímenes de prueba de un material aglomerado a base de un residuo de un producto agrícola.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Investigador:

Br.Tania Sharaim Santa Cruz Orellana

Asesores de la investigación:

Ing. Qco. César Alfonso García Guerra

Ing. Qco. Víctor Manuel Monzón Valdez

### **3.4. Recursos físicos disponibles**

- Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, USAC
- Laboratorio de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, USAC
- Laboratorio del área de Química de la escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, USAC
- Laboratorio de la sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, USAC

### **3.5. Recursos materiales disponibles**

Los materiales que se utilizaron durante la experimentación, fueron determinados a partir de las pruebas preliminares.

Tabla VI. **Insumos disponibles para la experimentación**

<b>Materia prima</b>			
<b>Cantidad</b>		<b>Descripción</b>	
2 quintales		Cáscara de maní cruda	
<b>Reactivos</b>			
Cantidad		Descripción	
5 Galones		Cola blanca Pgallo 900R	
<b>Equipo</b>			
Cantidad	Descripción	Rango	Incertidumbre
1	Balanza analítica Ohaus Modelo Pioneer	0,1-210g	±0,05mg
1	Horno de convección natural LabCompanion ON-11E	50-250°C	±2°C
1	Termómetro	0- 200°C	±1°C
1	Molino de cuchillas escala laboratorio.	0-3000 rpm	---
1	Marco de compresión	1-100 TM	---
1	Calibrador vernier	0-150mm	±0,5mm
5	Recipientes plásticos	3L	±0,25L
4	Moldes	21x6x6 in	---
1	Tamiz	No. 7	---
<b>Cristalería</b>			
2	Probetas	25 mL	±0.1ml

Fuente: elaboración propia.



### **3.6. Técnica cualitativa o cuantitativa**

El estudio utilizó técnica cuantitativa para todo su desarrollo. Está basado en la medición de los niveles de las variables de entrada y de las propiedades físico-mecánicas de los paneles aglomerados.

Las variables cuantitativas implicadas en el desarrollo del estudio, fueron: las proporciones de ligante polimérico utilizado en relación a la masa de epicarpio de maní, las cargas de compactación durante el prensado, el tiempo de aplicación de la carga de compactación, el peso específico del material obtenido, el porcentaje de hinchazón y absorción de agua, la resistencia del material a la tensión paralela a la superficie y el esfuerzo máximo de flexión.

#### **3.6.1. Metodología experimental**

El diseño experimental aplicado será el Diseño Factorial, ya que es un diseño que permitirá la investigación de varias combinaciones en los niveles de los factores, en cada prueba realizada. Por medio de dicho diseño se estudiará el efecto de las condiciones de experimentación y sus interacciones.

#### **3.6.2. Diseño de tratamientos**

La carga de compactación, la proporción de ligante polimérico y el tiempo de prensado, fueron las variables manipuladas en la metodología experimental.

Tabla VII. **Tratamientos aplicados sobre las unidades experimentales**

		Carga de compactación					
		P <sub>A</sub>			P <sub>B</sub>		
		Proporción de ligante polimérico					
		% <sub>01</sub>	% <sub>02</sub>	% <sub>03</sub>	% <sub>01</sub>	% <sub>02</sub>	% <sub>03</sub>
Tiempo de prensado	T <sub>I</sub>	PFM <sub>A,1,I</sub>	PFM <sub>A,2,I</sub>	PFM <sub>A,3,I</sub>	PFM <sub>B,1,I</sub>	PFM <sub>B,2,I</sub>	PFM <sub>B,3,I</sub>
	T <sub>II</sub>	PFM <sub>A,1,II</sub>	PFM <sub>A,2,II</sub>	PFM <sub>A,3,II</sub>	PFM <sub>B,1,II</sub>	PFM <sub>B,2,II</sub>	PFM <sub>B,3,II</sub>

Fuente: elaboración propia.

Donde:

PFM: Propiedades físico-mecánicas

### 3.6.3. Manejo experimental

Debido a que, para el desarrollo de los paneles menores a partir del epicarpio del maní, fue necesario conocer las condiciones de trabajo con las que se obtendrían las mejores propiedades del material, se elaboraron especímenes de prueba con tratamientos en las variables de entrada de la metodología experimental. Las condiciones de operación constantes durante el proceso de elaboración de los aglomerados, fueron:

- Tipo de aglomerante

Para el proceso de encolado fue utilizado acetato de polivinilo (PVAC), conocido comercialmente como cola vinílica o cola blanca.

El agente aglomerante fue seleccionado ya que constituye uno de los adhesivos más utilizados por la industria nacional de aglomerados de partículas de madera, y considerando que el epicarpio del maní tiene características de textura similares a las de las partículas de madera. La cola vinílica es el adhesivo líquido más común en el mercado nacional.

Se seleccionó el aglomerante para madera de nombre comercial Pgalo 900R.

- Tamaño de partícula de la materia prima

Se realizó un estudio preliminar de la granulometría de la materia prima posterior al proceso de molienda, en un molino de dos discos de escala piloto, con el objetivo de seleccionar los tamaños de partícula a utilizar, aprovechando un alto porcentaje de la materia prima producto de la molienda. (Anexo No. 1)

Para obtener la granulometría del material molido, se procedió a un tamizaje de la materia prima en una batería de tamices que comprendió: tamiz No. 0,75, 4, 8, 10, 16, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 140, y 200, utilizando un tamizadora HUMBOLDT.

Los resultados de la granulometría presentados en el Anexo 1, mostraron que el total de partículas mayores a 2,00 milímetros, retenidas en los tamices 0,75 al 10, fue de un 10,86 por ciento de la masa tamizada. Las partículas comprendidas entre los 1,18 y 2,00 milímetros, partículas retenidas en tamices No.10 y No.16, presentaron un rendimiento de 42,47 por ciento de la materia sometida a la molienda. Las partículas retenidas en los tamices 20-200, presentaron un 46,67 por ciento.

Las partículas recuperadas se clasificaron en tres grupos

- Partículas gruesas: fueron las retenidas en los tamices No.0,75, 4 y 8, correspondientes a partículas mayores de 2,00 milímetros.
- Partículas medias: fueron las retenidas en los tamices No.10 y No.16, correspondientes a partículas entre 1,18 y 2,00 milímetros.
- Partículas finas: fueron las retenidas en los tamices No.20, 30, 40, 60, 80, 100, 140, y 200, correspondientes a partículas menores de 1,18 hasta 0,075 milímetros.

Se elaboraron los especímenes utilizando partículas comprendidas entre 0,075 y 2,00 milímetros, que fueron dosificadas en proporciones: 60 por ciento de partículas medianas y 40 por ciento de partículas finas.

Las condiciones de operación variables durante la fase de la elaboración de los aglomerados fueron:

- Cantidad de aglomerante

El ligante polimérico (PVAC) fue utilizado con el epicarpio de maní en tres proporciones, como porcentajes en masa de la materia prima, las cuales fueron obtenidas a partir de la cantidad de sólidos totales presentes en el adhesivo comercial "Pgalo 900R". Los porcentajes de PVAC utilizados fueron: 18, 20 y 22 por ciento. Las cantidades de aglomerante utilizados fueron seleccionadas a partir de pruebas preliminares.

- Carga de compactación

Las cargas de compactación aplicadas para el prensado del material aglomerado, por medio del marco de carga utilizado, fueron: 30 000 y 60 000 libras, y considerando el área del molde utilizado, 148,96 pulgadas cuadradas, las cargas efectivas aplicadas sobre el molde correspondieron a 201,40 y

402,81 libras por pulgada cuadrada. (14,167 y 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado). Dichas cargas de compactación fueron seleccionadas a partir de pruebas preliminares.

- Tiempo de compactación

Los tiempos de aplicación de las cargas de compactación fueron: 12 y 18 minutos de carga sostenida, para promover el acomodamiento de las partículas durante el prensado.

#### **3.6.4. Procedimiento de elaboración de los paneles aglomerados**

Preparación de la materia prima

- Se obtuvo la materia prima de un beneficio de un productor de maní de la variedad *Arachis Hypogaea*, de la aldea Shororaguá, Chiquimula.
- Limpieza de las cáscaras del maní. Remoción del polvo y material extraño.

Elaboración de los aglomerados

- Molienda de la materia prima, utilizando un molino de dos discos de escala piloto.
- Tamizaje de la materia prima en una batería de tamices que comprende: tamiz No. 0,75, 4, 8, 10, 16, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 140, y 200, utilizando un tamizadora HUMBOLDT.

Figura 20. **Tamizadora HUMBOLDT de la sección de Suelos de la facultad de Ingeniería USAC**



Fuente: fase experimental del estudio. Sección de Tecnología de la Madera, USAC.

- Selección de partículas retenidas por el tamiz No.10 y No.16, es decir, comprendidas entre 1,18 y 2,00 milímetros.
- Selección de partículas que pasan el tamiz No.16, es decir, menores de 1,18 milímetros.
- Reprocesado por molienda de las partículas mayores, retenidas en los tamices No. 0,75, 4, y 8.

- Almacén de la materia prima en bolsas de polietileno, clasificada por partículas medianas y partículas finas.
- Etiquetado de las bolsas con materia prima clasificada por tamaño.
- Dosificación de materia prima: 40 por ciento de partículas medianas y 60 por ciento de finas.

Nota: La masa total se dosificó en función de las dimensiones del molde y de la densidad aparente de las partículas con ligante polimérico.

- Dosificación de ligante polimérico para madera “Pgalo 900R” en un recipiente, de acuerdo a los porcentajes de PVAC establecidos: 18, 20 y 22 por ciento.
- Preparación del aglomerante como formulación dispersable, agregando agua en un 30 por ciento de la masa del ligante polimérico. El agua tuvo la función de ser un vehículo de dispersión del ligante, con el fin de lograr que todas las partículas de epicarpio estuvieran en contacto con el acetato de polivinilo y por ende, lograr la homogenización de la mezcla.
- Aplicación de la formulación dispersable al epicarpio de maní.
- Homogenización de la mezcla durante 3 minutos en una mezcladora marca Hobart.
- Colocación de la mezcla en un molde de hierro negro de dimensiones: 31x31x4 centímetros.

- Prensado del material utilizando un marco de carga marca Forney, a las cargas seleccionadas de acuerdo a pruebas preliminares: 14,163 y 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado, equivalentes a 30 000 y 60 000 libras, en el marco y durante los tiempos establecidos: 12 y 18 minutos.

Figura 21. **Marco de carga Forney de la sección de Tecnología de la Madera de la facultad de Ingeniería USAC**



Fuente: fase experimental del estudio. Sección de Tecnología de la Madera, USAC.

- Secado del aglomerado en un horno de convección natural marca Precisión, a una temperatura de 100 grados Celsius hasta alcanzar una humedad menor de 20 por ciento.



Figura 22. **Horno de convección natural Precisión, de la sección de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ingeniería, USAC**



Fuente: fase experimental del estudio. Sección de Tecnología de la Madera, USAC.

- Monitoreo de la humedad de los paneles durante el secado. Los paneles secos alcanzaron humedades relativas comprendidas entre 15 y 17 por ciento.

Figura 23. **Monitoreo de la humedad de los tableros para el control del Secado**



- Fuente: fase experimental del estudio. Sección de Tecnología de la Madera, USAC.

- Recorte del tablero por medio de una sierra, para la obtención de las probetas de ensayo a las dimensiones requeridas.

Figura 24. **Corte de los tableros para la obtención de las probetas a utilizar en los ensayos físico-mecánicos**



Fuente: fase experimental del estudio. Sección de Tecnología de la Madera, USAC.

### Evaluación de las propiedades físicas

Las propiedades físicas evaluadas a los aglomerados obtenidos, fueron:

- Densidad (Procedimiento de acuerdo a norma UNE 56709. Anexo 3.1).
- Hinchazón (Procedimiento de acuerdo a la norma UNE 56713. Anexo 3.2).
- Absorción de agua (Procedimiento de acuerdo a la norma UNE 56713. Anexo 3.2).

## Evaluación de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas evaluadas a los tableros aglomerados obtenidos, fueron:

- Tensión paralela a la superficie. Determinación de la tensión paralela a la superficie de acuerdo a método aplicado en la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería; (metodología basada en norma ASTM D 1037-96a y adaptada a la morfología de las probetas de los paneles de epicarpio de maní. Anexo 3.3).
- Esfuerzo máximo en flexión. Determinación de la resistencia a la flexión de acuerdo a método aplicado en la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería; (metodología adaptada a la morfología de las probetas de los paneles de epicarpio de maní. Anexo 3.4).

### 3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Se realizaron doce tratamientos con tres observaciones de cada uno. Se obtuvo treinta y seis aglomerados como especímenes de prueba.

Tabla VIII. **Datos requeridos para el experimento de acuerdo al número de tratamientos y de observaciones**

Tratamientos	Número de observaciones			Total	Promedio
1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$Y_1$	$\mu_1$
2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$Y_2$	$\mu_2$
3	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	$Y_3$	$\mu_3$
4	$Y_{4,1}$	$Y_{4,2}$	$Y_{4,3}$	$Y_4$	$\mu_4$
5	$Y_{5,1}$	$Y_{5,2}$	$Y_{5,3}$	$Y_5$	$\mu_5$
6	$Y_{6,1}$	$Y_{6,2}$	$Y_{6,3}$	$Y_6$	$\mu_6$
7	$Y_{7,1}$	$Y_{7,2}$	$Y_{7,3}$	$Y_7$	$\mu_7$
8	$Y_{8,1}$	$Y_{8,2}$	$Y_{8,3}$	$Y_8$	$\mu_8$
9	$Y_{9,1}$	$Y_{9,2}$	$Y_{9,3}$	$Y_9$	$\mu_9$
10	$Y_{10,1}$	$Y_{10,2}$	$Y_{10,3}$	$Y_{10}$	$\mu_{10}$
11	$Y_{11,1}$	$Y_{11,2}$	$Y_{11,3}$	$Y_{11}$	$\mu_{11}$
12	$Y_{12,1}$	$Y_{12,2}$	$Y_{12,3}$	$Y_{12}$	$\mu_{12}$
				$Y_i$	$\mu_n$

Fuente: elaboración propia.

Donde:

$Y_i$ : Número total de observaciones bajo el i-ésimo tratamiento.

$\mu_n$ : Promedio de las observaciones bajo el i-ésimo tratamiento.

### 3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información necesaria fue recopilada de tal forma que permitiera obtener los resultados requeridos, de una forma ordenada.

Tabla IX. **Hoja de toma de datos**

Proporción de ligante polimérico (PVAC):

Tiempo de prensado:

Presión de compactación:

No. de observación	Densidad		Hinchazón		Absorción de agua		Propiedades mecánicas	
	Masa (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Espesor antes de inmersión (mm)	Espesor después de inmersión (mm)	Masa antes de inmersión n (g)	Masa después de inmersión n (g)	Carga máxima de tensión (kg)	Carga máxima de flexión (kg)

Fuente: elaboración propia.

### **3.9. Análisis estadístico**

Los análisis estadísticos fueron aplicados para la interpretación de los resultados, con el objetivo de concluir sobre el rechazo o aceptación de la hipótesis nula propuesta en el estudio.

#### **3.9.1. Análisis ANOVA y análisis de Tukey**

Con el objetivo de rechazar o aceptar la hipótesis nula, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de los grupos, para la comparación de las medias de las variables de salida obtenidas por las repeticiones de la experimentación.

Para determinar si la variación del porcentaje de PVAC, la carga de compactación y el tiempo de la carga sostenida, produjo un efecto significativo sobre las propiedades físico-mecánicas desde el punto de vista estadístico, se utilizó un análisis de varianza ANOVA. Por medio de un ANOVA factorial 2x2x3 y en un diseño completamente al azar se analizó la variabilidad de los factores respuesta, estudiando las variables de entrada de forma individual, así como las posibles interacciones entre las mismas. Para el análisis ANOVA se utilizó un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$ .

Este análisis fue reforzado por medio de una comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para determinar en qué tratamientos se encontró la significancia estadística de los efectos, y los grupos homogéneos entre tratamientos en cuanto a efectos significativos sobre los resultados de las propiedades físico-mecánicas.

Tabla X. Hoja de cálculo para el análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad G.L.	Cuadrados medios MS	Contraste de la hipótesis de medias iguales F
Entre grupos: tratamientos	$SS_A$	$k-1$	$MS_A = \frac{SS_A}{k-1}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Dentro de grupos: error	$SS_E$	$(n-1)k$	$MS_E = \frac{SSE}{k(n-1)}$	
Total	$SS_T$	$kn-1$	$MS_T = \frac{SS_T}{kn-1}$	

Fuente: elaboración propia.

- Si  $F > F_{\alpha(k-1,(n-1)k)}$  tabulada Entonces la hipótesis nula es rechazada.

Donde:

$SS_T =$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

$$SS_T = SS_A + SS_E$$

$SS_A =$

$$\sum_{i=1}^i n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$$

$SS_E =$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Resultado individual de la observación

$\bar{Y}$  = Media de los resultados

$i$  = Grupo al que pertenece

$j$  = Número de observación

El análisis presenta el modelo de varianza de efectos fijos.

\*\*Justificación: Se busca conocer el aumento o disminución de la media de las variables de respuesta, según los niveles de los factores y no el efecto sobre la variabilidad.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación de la réplica a evaluar

$M$  = Media global

$\alpha_i$  = Constante

$\varepsilon_{ij}$  = Término aleatorio

$i$  = Grupo al que pertenece (1, ..., k)

$j$  = Número de observación (1, ..., n)





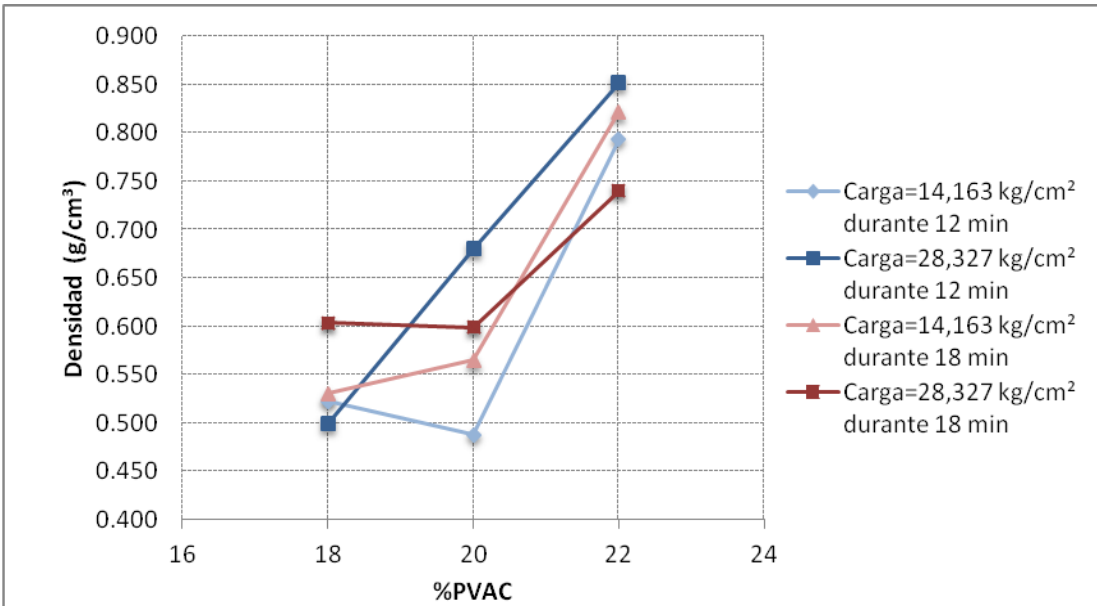
## 4. RESULTADOS

Tabla XI. **Composición química del adhesivo marca comercial Pgallo 900R**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
pH (dilución 3:1 agua-Pgallo 900 R)	5,16
Densidad	1,17 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	69,48 %
Sólidos totales	30,52 %
Contenido de Calcio	601,17 ppm
Contenido de Magnesio	243,05 ppm
Carbonato de Calcio	0,601 %
Carbonato de Magnesio	0,337 %
Contenido estimado de PVAC	29,582 %

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 25. **Peso específico de los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

(Ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE 56,709: Determinación del peso específico de tableros de partículas)

Tabla XII. **Peso específico presentado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados**

Tratamiento	%PVAC	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación estándar (g/cm <sup>3</sup> )
1	18%	14,163	12	0,5225	0,0094
2	18%	28,327	12	0,4991	0,0192
3	18%	14,163	18	0,5306	0,0500
4	18%	28,327	18	0,6034	0,0324
5	20%	14,163	12	0,4881	0,0279
6	20%	28,327	12	0,6805	0,1190
7	20%	14,163	18	0,5654	0,0454
8	20%	28,327	18	0,5991	0,0055
9	22%	14,163	12	0,7932	0,0128
10	22%	28,327	12	0,8520	0,0534
11	22%	14,163	18	0,8220	0,0105
12	22%	28,327	18	0,7401	0,0413

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XIII. **Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el peso específico de los especímenes de prueba ( $\alpha = 0,05$ )**

Variable	F	P	Ho
%PVAC	110,29	0,0000	Rechaza
Carga	7,38	0,0120	Acepta
Tiempo	0,07	0,7883	Acepta
%PVAC*Carga	5,72	0,0093	Acepta
%PAVC*Tiempo	3,37	0,0514	Acepta
Carga*Tiempo	4,79	0,0385	Acepta
%PVAC*Carga*Tiempo	7,04	0,0039	Rechaza

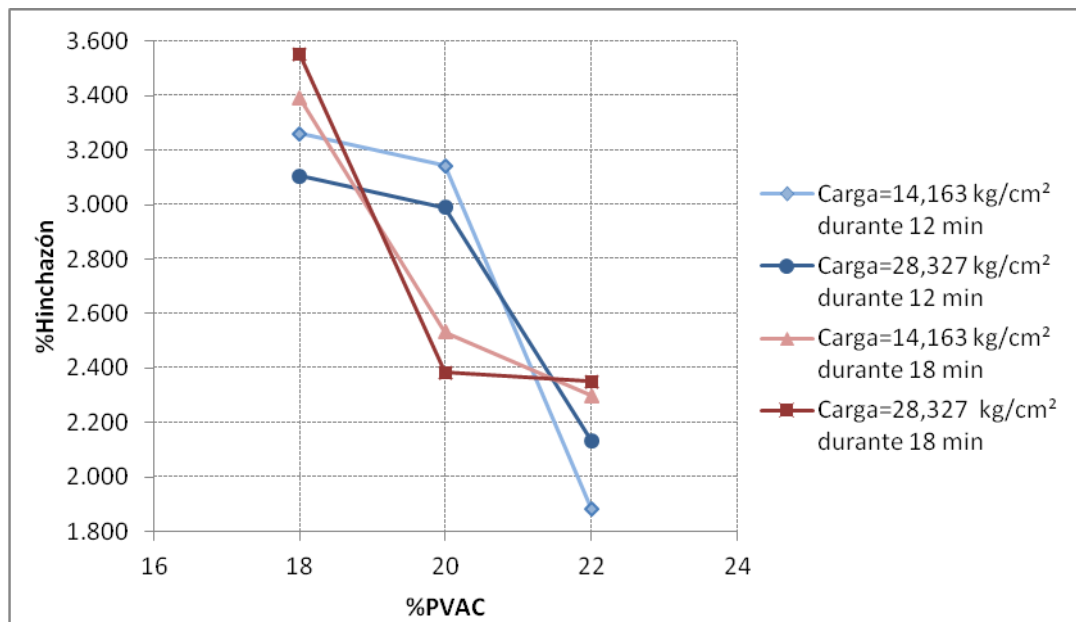
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XIV. **Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de peso específico de los especímenes de prueba**

<b>%PVAC</b>	<b>Carga (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Peso específico (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Grupos homogéneos</b>
22	28,327	12	0,8520	A
22	14,163	18	0,8220	A
22	14,163	12	0,7932	AB
22	28,327	18	0,7401	AB
20	28,327	12	0,6805	BC
18	28,327	18	0,6034	CD
20	28,327	18	0,5991	CD
20	14,163	18	0,5654	CD
18	14,163	18	0,5306	D
18	14,163	12	0,5225	D
18	28,327	12	0,4991	D
20	14,163	12	0,4881	D

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 26. **Porcentaje de hinchazón presentado por los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

(Ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE 56,713:

Determinación de la hinchazón y de la absorción de agua

por inmersión total de tableros de partículas, durante 2 horas)

Tabla XV. **Porcentaje de hinchazón presentado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados**

Tratamiento	%PVAC	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	%Hinchazón	Desviación estándar
1	18%	14,163	12	3,2613	0,2588
2	18%	28,327	12	3,1059	0,5359
3	18%	14,163	18	3,3899	1,6788
4	18%	28,327	18	3,5500	0,3969
5	20%	14,163	12	3,1438	0,0756
6	20%	28,327	12	2,9884	0,4549
7	20%	14,163	18	2,5333	0,2363
8	20%	28,327	18	2,3833	0,8949
9	22%	14,163	12	1,8833	0,4311
10	22%	28,327	12	2,1333	0,1258
11	22%	14,163	18	2,3000	0,2646
12	22%	28,327	18	2,3500	1,2757

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XVI. **Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el porcentaje de hinchazón de los especímenes de prueba ( $\alpha = 0,05$ )**

Variable	F	P	Ho
%PVAC	7,69	0,0026	Rechaza
Carga	0,00	0,9996	Acepta
Tiempo	0,00	0,9948	Acepta
%PVAC*Carga	0,13	0,8779	Acepta
%PAVC*Tiempo	1,58	0,2273	Acepta
Carga*Tiempo	0,01	0,9342	Acepta
%PVAC*Carga*Tiempo	0,10	0,9086	Acepta

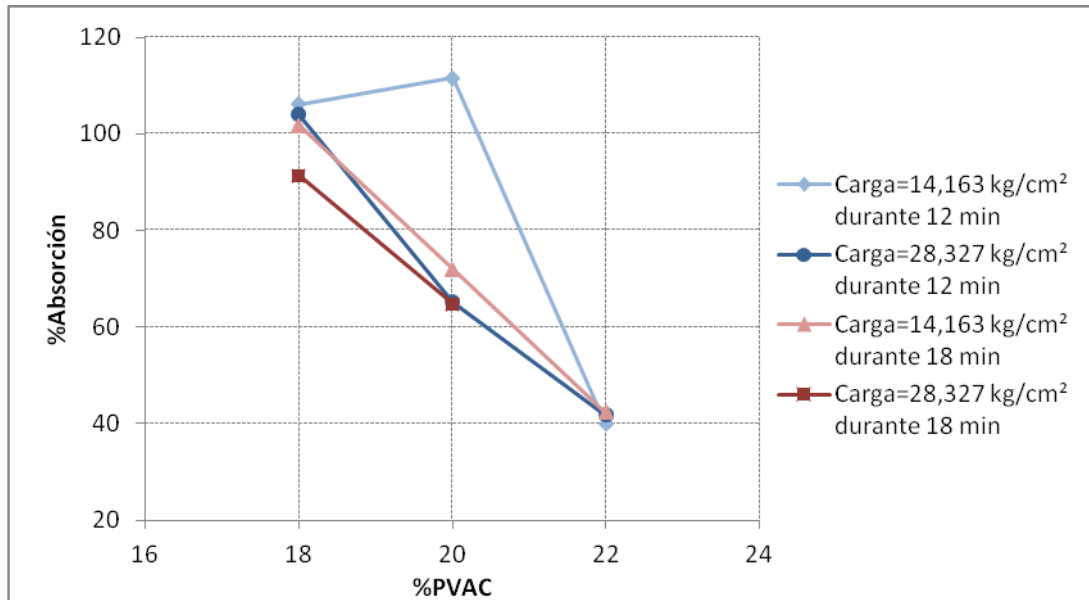
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XVII. **Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de porcentaje de hinchazón de los especímenes de prueba**

%PVAC	% Hinchazón	Grupos homogéneos
18	3,3268	A
20	2,7622	AB
22	2,1667	B

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 27. **Porcentaje de absorción presentado por los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

(Ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE 56,713: Determinación de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total de



tableros de partículas, durante 2 horas)  
 Tabla XVIII. **Porcentaje de absorción presentado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados**

Tratamiento	%PVAC	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	%Absorción	Desviación estándar
1	18%	14,163	12	106,1268	19,1218
2	18%	28,327	12	104,0417	5,5997
3	18%	14,163	18	101,6998	5,9263
4	18%	28,327	18	91,3863	2,6848
5	20%	14,163	12	111,5756	9,8779
6	20%	28,327	12	65,1432	30,1447
7	20%	14,163	18	71,9647	10,4886
8	20%	28,327	18	64,7858	12,6735
9	22%	14,163	12	39,9426	2,8948
10	22%	28,327	12	41,7376	4,7197
11	22%	14,163	18	42,2552	1,7506
12	22%	28,327	18	50,2031	3,9576

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XIX. **Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el porcentaje de absorción de los especímenes de prueba ( $\alpha = 0,05$ )**

Variable	F	P	Ho
%PVAC	67,94	0,000	Rechaza
Carga	5,38	0,0292	Rechaza
Tiempo	3,64	0,0685	Acepta
%PVAC*Carga	5,27	0,0127	Rechaza
%PAVC*Tiempo	3,29	0,0545	Acepta
Carga*Tiempo	2,35	0,1385	Acepta
%PVAC*Carga*Tiempo	3,02	0,0675	Acepta

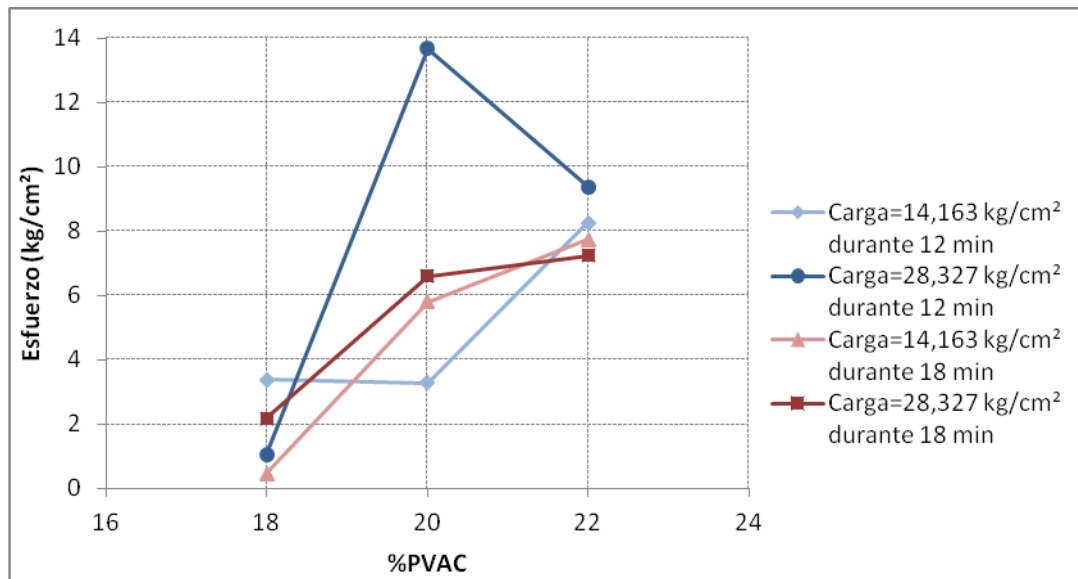
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XX. **Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de porcentaje de absorción de los especímenes de prueba**

%PVAC	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	% Absorción	Grupos homogéneos
18	14,163	103,91	A
18	28,327	97,71	A
20	14,163	91,77	A
20	28,327	64,96	B
22	28,327	45,97	BC
22	14,163	41,10	C

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 28. **Esfuerzo máximo soportado por los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XXI. **Esfuerzo máximo soportado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados**

Tratamiento	%PVAC	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )
1	18%	14,163	12	3,3809	1,9712
2	18%	28,327	12	1,0575	0,8848
3	18%	14,163	18	0,4545	0,1580
4	18%	28,327	18	2,1765	0,9776
5	20%	14,163	12	3,2880	2,1916
6	20%	28,327	12	13,6702	8,5889
7	20%	14,163	18	5,7986	3,3998
8	20%	28,327	18	6,5910	2,7339
9	22%	14,163	12	8,2592	0,4294
10	22%	28,327	12	9,3786	1,5676
11	22%	14,163	18	7,7343	0,5302
12	22%	28,327	18	7,2380	2,2308

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XXII. **Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el esfuerzo máximo soportado por los especímenes de prueba ( $\alpha = 0,05$ )**

Variable	F	P	Ho
%PVAC	15,64	0,0000	Rechaza
Carga	3,38	0,0783	Acepta
Tiempo	2,21	0,1505	Acepta
%PVAC*Carga	3,39	0,0503	Acepta
%PAVC*Tiempo	0,16	0,8516	Acepta
Carga*Tiempo	1,38	0,2510	Acepta
%PVAC*Carga*Tiempo	3,80	0,0368	Rechaza

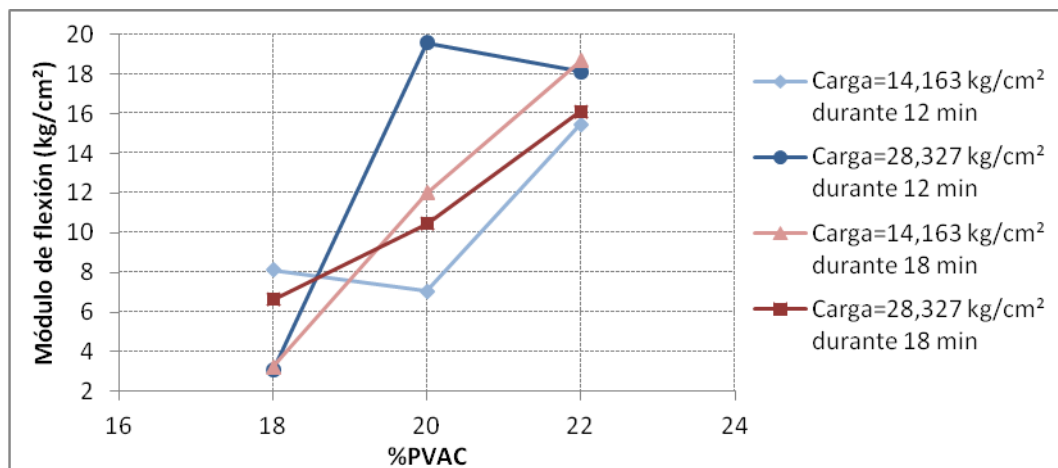
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XXIII. **Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de esfuerzo máximo soportado por los especímenes de prueba**

%PVAC	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Grupos homogéneos
20	28,327	12	13,670	A
22	28,327	12	9,379	A
22	14,163	12	8,259	AB
22	14,163	18	7,734	AB
22	28,327	18	7,238	BC
20	28,327	18	6,591	CD
20	14,163	18	5,799	CD
18	14,163	12	3,381	CD
20	14,163	12	3,288	D
18	28,327	18	2,177	D
18	28,327	12	1,057	D
18	14,163	18	0,454	D

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 29. **Módulo de flexión presentado por los especímenes de prueba, en función del porcentaje de ligante polimérico PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XXIV. **Módulo de flexión presentado por los especímenes de prueba en cada uno de los tratamientos aplicados**

Tratamiento	%PVAC	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo (min)	Módulo de flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )
1	18%	14,163	12	8,1100	3,6063
2	18%	28,327	12	3,0732	1,5472
3	18%	14,163	18	3,2364	1,0221
4	18%	28,327	18	6,6462	1,2207
5	20%	14,163	12	7,0593	3,2840
6	20%	28,327	12	19,5591	8,6154
7	20%	14,163	18	12,0040	6,9947
8	20%	28,327	18	10,4365	5,6346
9	22%	14,163	12	15,4671	3,7224
10	22%	28,327	12	18,1166	2,0313
11	22%	14,163	18	18,6564	3,1768
12	22%	28,327	18	16,1074	2,4835

Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XXV. **Análisis ANOVA. Probabilidades para el efecto de las variables principales y combinadas, sobre el módulo de flexión presentado por los especímenes de prueba ( $\alpha = 0,05$ )**

Variable	F	P	Ho
%PVAC	23,35	0,0000	Rechaza
Carga	1,22	0,2807	Acepta
Tiempo	0,25	0,6186	Acepta
%PVAC*Carga	1,91	0,1693	Acepta
%PAVC*Tiempo	0,30	0,7457	Acepta
Carga*Tiempo	1,61	0,2164	Acepta
%PVAC*Carga*Tiempo	5,31	0,0123	Rechaza

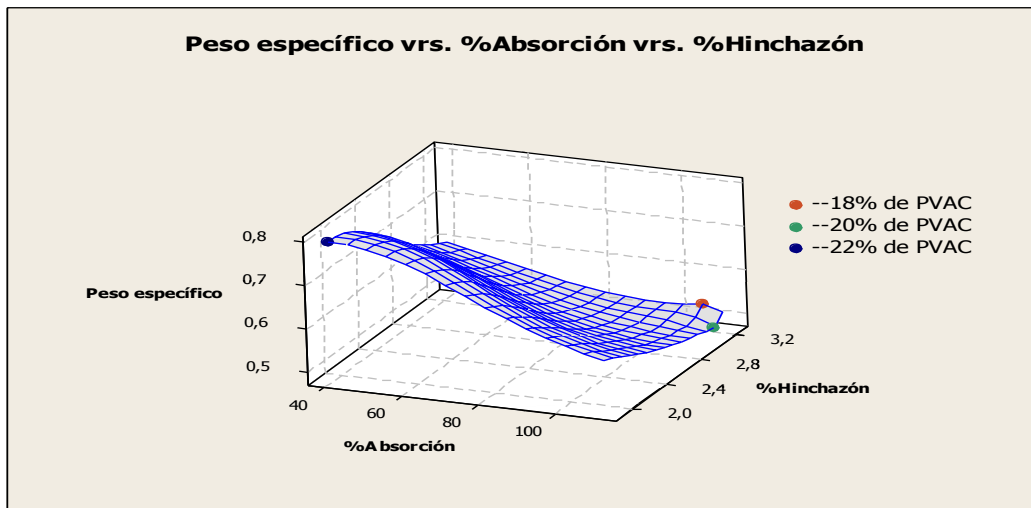
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Tabla XXVI. **Comparación múltiple de medias o análisis de Tukey, para los resultados de módulo de flexión presentados por los especímenes de prueba**

<b>%PVAC</b>	<b>Carga (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Módulo de flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Grupos homogéneos</b>
20	28,327	12	19,559	A
22	14,163	18	18,656	A
22	28,327	12	18,117	AB
22	28,327	18	16,107	AB
22	14,163	12	15,467	BC
20	14,163	18	12,004	CD
20	28,327	18	10,436	CD
18	14,163	12	8,110	CD
20	14,163	12	7,059	D
18	28,327	18	6,646	D
18	14,163	18	3,236	D
18	28,327	12	3,073	D

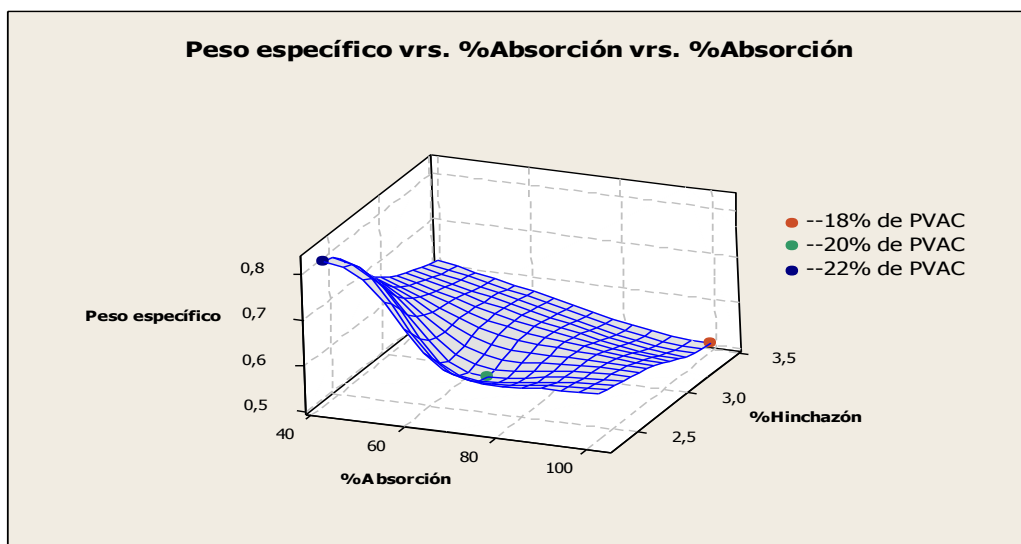
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 30. **Correlación de las propiedades físicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 14,163 kg/cm<sup>2</sup> durante 12 minutos**



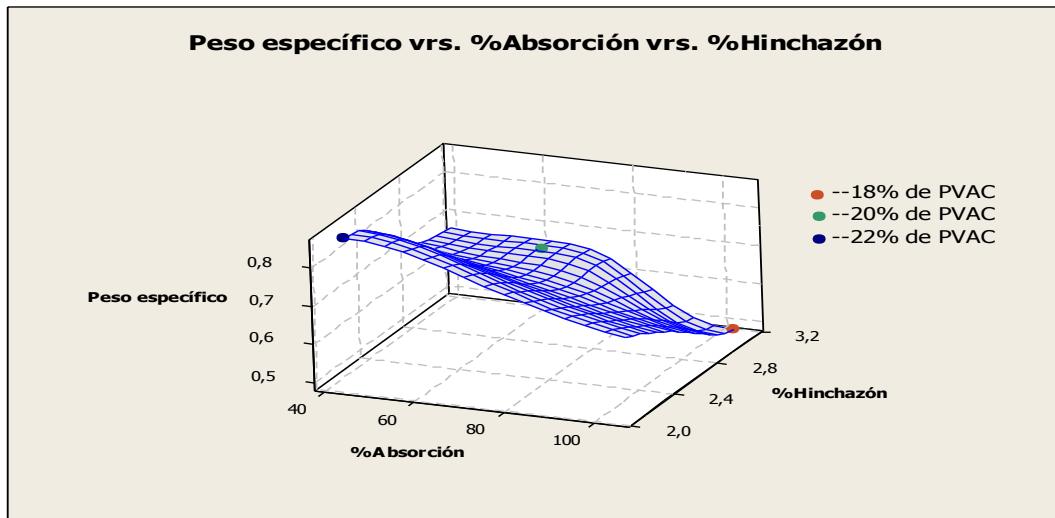
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 31. **Correlación de las propiedades físicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 14,163 kg/cm<sup>2</sup> durante 18 minutos**



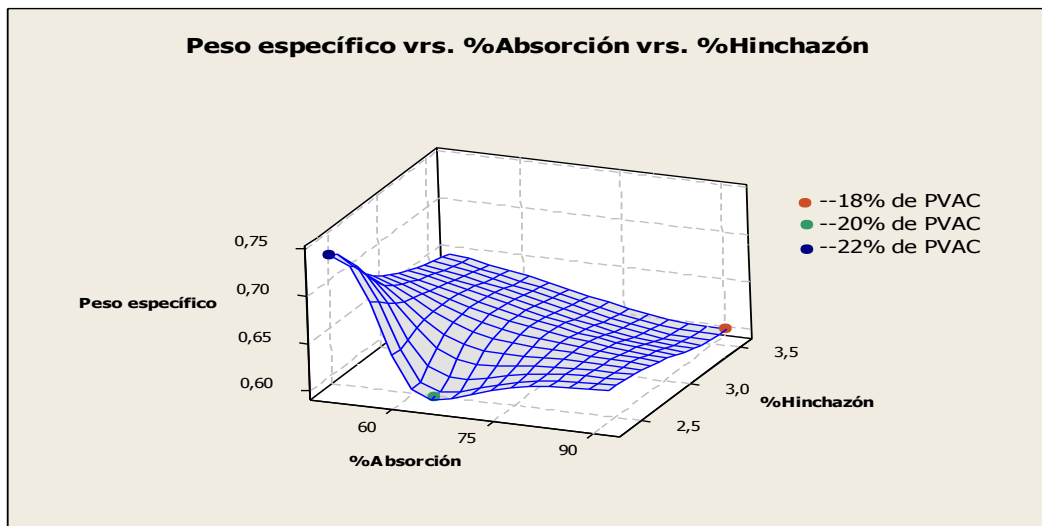
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 32. **Correlación de las propiedades físicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 28,327 kg/cm<sup>2</sup> durante 12 minutos**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

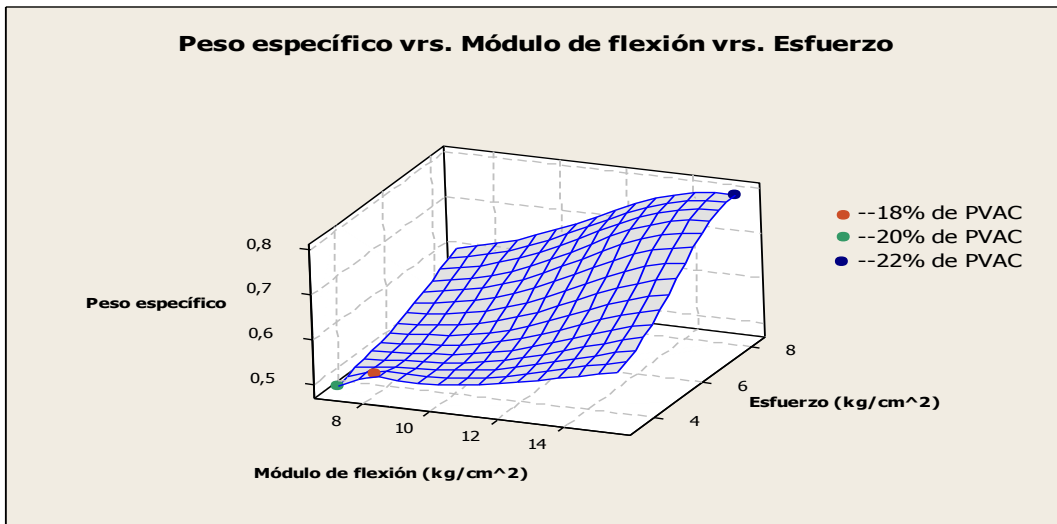
Figura 33. **Correlación de las propiedades físicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 28,327 kg/cm<sup>2</sup> durante 18 minutos**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

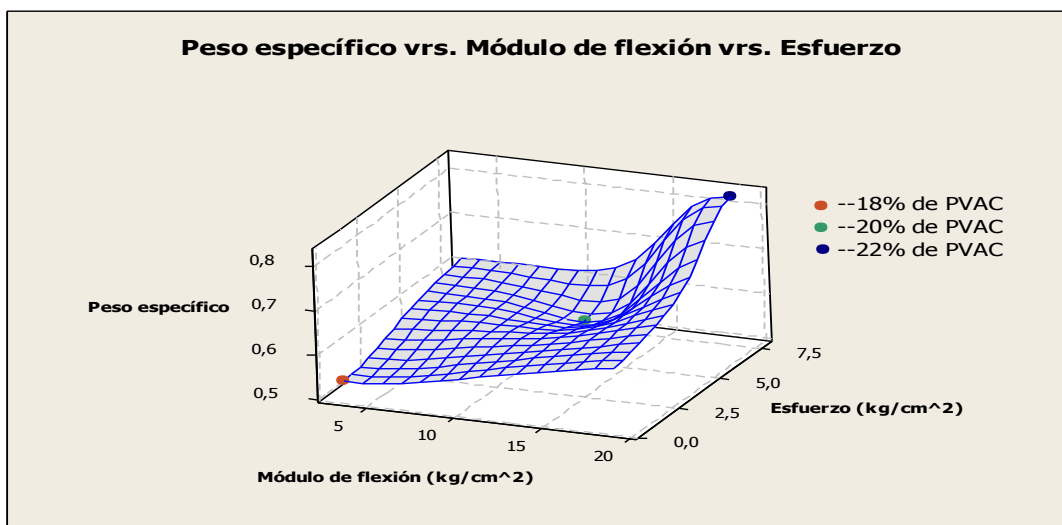


Figura 34. **Peso específico vrs. esfuerzo y módulo de flexión, presentados por los especímenes de prueba, compactados a 14,163 kg/cm<sup>2</sup> durante 12 minutos**



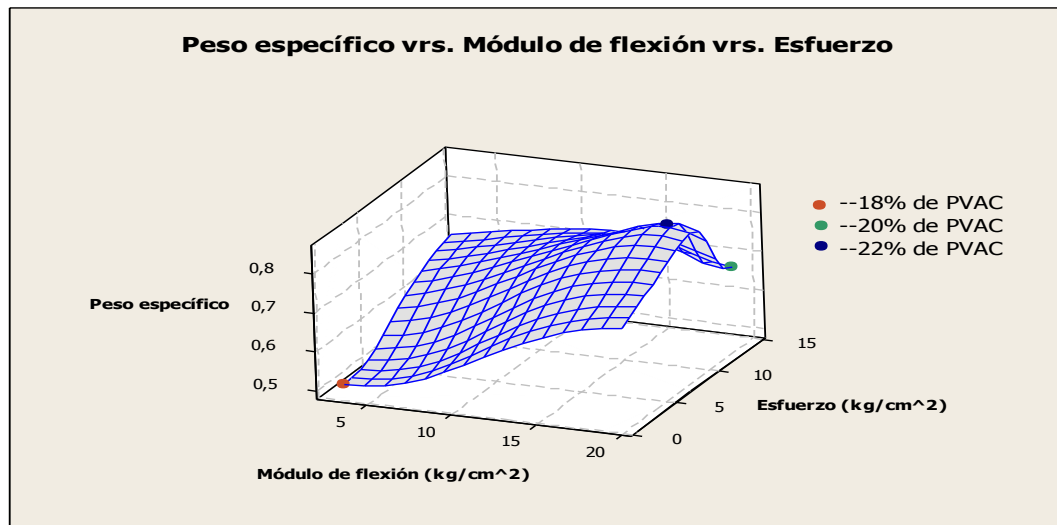
Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 35. **Correlación de las propiedades mecánicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 14,163 kg/cm<sup>2</sup> durante 18 minutos**



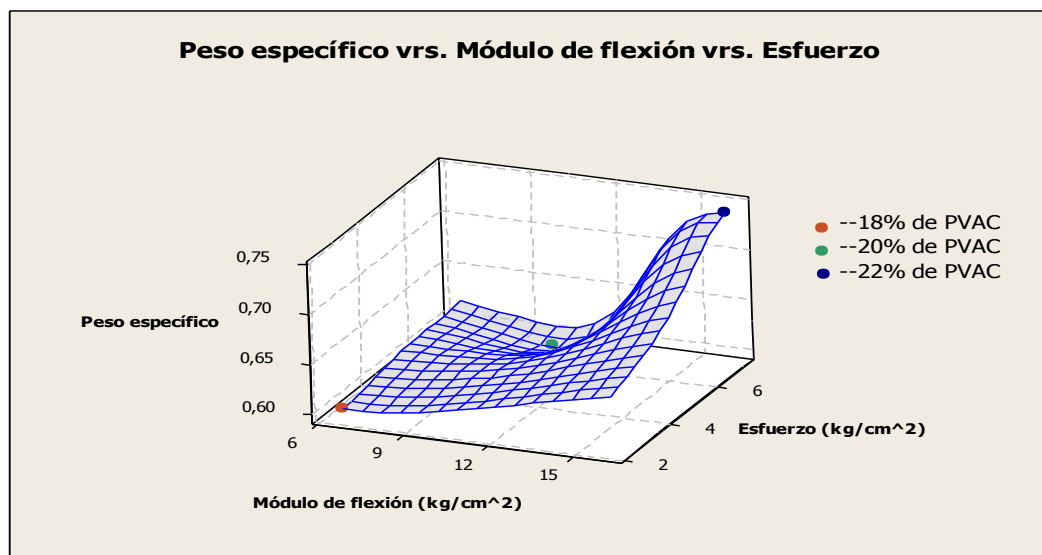
Fuente: Fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 36. **Correlación de las propiedades mecánicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 28,327 kg/cm<sup>2</sup> durante 12 minutos**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Figura 37. **Correlación de las propiedades mecánicas presentadas por los especímenes de prueba compactados a 28.327 kg/cm<sup>2</sup> durante 18 minutos**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Fue posible la elaboración de paneles menores o especímenes de prueba de 31x31x4 centímetros, a partir de epicarpio de maní y acetato de polivinilo PVAC como aglomerante, compactados en un marco de carga y secados en un horno de convección natural.

Figura 38. **Paneles menores elaborados a partir de epicarpio de maní y acetato de polivinilo**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Para disponer de un aglomerante adecuado, se caracterizó el adhesivo de marca comercial “Pgalo 900R”, por medio de un análisis físico-químico presentado en la Tabla IX, con el fin de decidir las cantidades de ligante polimérico, acetato de polivinilo, a utilizar con el epicarpio. A partir de pruebas preliminares se obtuvieron los volúmenes necesarios para obtener paneles aglomerados, y por ende los porcentajes de PVAC: 18, 20 y 22 por ciento. Así mismo se obtuvo un porcentaje de agua (30 por ciento) para utilizar como vehículo de dispersión del ligante, con el objetivo de homogenizar la mezcla.

Se estudió el efecto del porcentaje de PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la misma en los especímenes de prueba, analizando el efecto sobre las propiedades físicas resultantes: peso específico (ensayo realizado de acuerdo a norma UNE 56,709 para tableros de partículas), y porcentaje de hinchazón y de absorción de agua (ensayo realizado por inmersión total en agua durante 2 horas, de acuerdo a norma UNE 56,713 para tableros de partículas). Así mismo analizando el efecto de las mismas variables sobre las propiedades mecánicas: esfuerzo y módulo de flexión presentado por los paneles.

A partir de los tratamientos aplicados en la elaboración de los paneles y su efecto sobre el peso específico de los mismos, se generó la serie de resultados presentados en la Tabla X y correlacionados en la Figura 21.

El peso específico de los especímenes de prueba, presentó un incremento de tendencia lineal al aumentar el porcentaje de ligante polimérico, PVAC, al utilizar la mayor de las cargas, 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 minutos, mostrando un incremento de aproximadamente 0,17 gramos por centímetro cúbico para cada aumento de 2 por ciento de PVAC. Este efecto se adjudica a que con una mayor cantidad de adhesivo, el

panel fue más compacto y por lo tanto con menor porosidad, y al forzar las partículas a estar más unidas unas con otras, aplicando una mayor carga, se obtienen paneles más densos. El aumento del tiempo de aplicación de la carga, únicamente incrementó la densidad en los paneles compactados con la carga más baja.

Para el caso de los especímenes que contenían 18 y 20 por ciento de PVAC y fueron compactados a 14,163 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 y 18 minutos, no se presentó una diferencia significativa en su densidad. Sin embargo al aumentar el porcentaje de acetato a un 22 por ciento, se dio un incremento mayor de 0,14 unidades en el peso específico.

Los especímenes elaborados con los doce tratamientos presentaron pesos específicos comprendidos entre 0,48-0,85 gramos por centímetro cúbico. Al comparar dichos valores con los paneles aglomerados comerciales, fue posible determinar que los paneles elaborados con 18 y 20 por ciento de PVAC a cualquiera de las cargas durante ambos tiempos manejados, corresponden a la clasificación de paneles de densidad media, como por ejemplo el MDF.

Los especímenes elaborados con 22 por ciento de PVAC, compactados a 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 minutos y compactados a 14,163 kilogramos por centímetro cuadrado durante 18 minutos, de acuerdo a su peso específico corresponden a la clasificación de tableros de alta densidad tales como el tablex y otros no clasificados como tableros de fibra tales como el cartón piedra y la madera plástica.

Tabla XXVII. **Clasificación de los tableros de fibra especificados por la FAO, en base a su peso específico**

Tableros de baja densidad	Tableros de densidad media	Tableros de alta densidad (Hardboard)
$\leq 0,4 \text{ g/cm}^3$	$0,4 \text{ g/cm}^3 - 0,8 \text{ g/cm}^3$	$0,8 \text{ g/cm}^3 - 1,120 \text{ g/cm}^3$

Fuente: Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. (1991). Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales.

Figura 39. **Determinación del peso específico de acuerdo a norma UNE 56,709 para tableros de partículas**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

Por medio del análisis estadístico fue posible determinar que, para los resultados del peso específico de los paneles, fue rechazada la hipótesis nula para el efecto del porcentaje de PVAC y para el efecto de la interacción porcentaje de PVAC\*Carga\*Tiempo, pues presentaron valores de probabilidad  $P \leq \alpha$ , los cuales se presentan en la Tabla XI. Sabiendo que las interacciones anulan los efectos principales, se obtuvo que el peso específico de los especímenes fue afectado significativamente por la interacción de las tres variables seleccionadas en el estudio, produciendo un sinergismo sobre esta propiedad del material.

El análisis de Tukey para los resultados del peso específico de los especímenes de prueba, presentado en la Tabla XII, muestra que los valores mayores pertenecen a los paneles elaborados con un 22 por ciento de PVAC, con ambas cargas sostenidas y a los dos tiempos manejados.

Para las cuatro combinaciones de las variables, los resultados de peso específico fueron homogéneos estadísticamente, es decir que entre los grupos no hubo una diferencia significativa en los resultados. De la misma manera, el análisis presentó que en los paneles de 18 y 20 por ciento de PVAC compactados a cualquiera de las cargas durante los tiempos utilizados, no hubo una diferencia estadísticamente significativa en los resultados de peso específico.

Se realizaron los ensayos para la determinación de los porcentajes de hinchazón o aumento porcentual de volumen y de absorción o aumento porcentual en la masa, sometiendo los paneles a inmersión total en agua, durante dos horas. Luego de la inmersión en agua, fue posible observar que todos los paneles elaborados con 18 por ciento de PVAC resultaron deleznales, es decir que se disgregaron luego de mantener contacto con el



agua durante las dos horas. Los paneles compuestos de 20 y 22 por ciento de PVAC, mostraron mejor impermeabilidad al no disgregarse y soportar la manipulación.

Los valores de hinchazón del material por la inmersión en agua, decrecieron en todos los casos al incrementar el porcentaje de PVAC, la carga de compactación y el tiempo de aplicación de la carga. Esto corresponde a que al mejorar la densidad del material, se lograron mejores resistencia a la deformación del mismo y al incremento de su volumen por absorción de agua. Cabe mencionar que aunque sí hubo hinchazón de los especímenes en todos los tratamientos, los porcentajes fueron menores al 4 por ciento, y los mayores valores fueron presentados en los paneles cuya composición contenía bajo porcentaje de PVAC. Los paneles compuestos de 22 por ciento de PVAC hincharon en aproximadamente 2 por ciento.

**Figura 40. Determinación del porcentaje de hinchazón y absorción por inmersión total en agua durante 2 horas, de acuerdo a norma UNE 56,713 para tableros de partículas**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

La norma UNE 56,776 establece que para tableros alistonados de madera y su resistencia luego de inmersión en agua durante 2 horas, el valor máximo aceptable es de 3 por ciento de hinchazón. Por lo tanto, basándose en dicha referencia, es posible concluir que los paneles compuestos de 22 por ciento de PVAC cumplen con dicha especificación.

Maderas El Alto S.A. establece características técnicas para sus tableros aglomerados de fibra de madera, en las cuales fue posible observar que se aceptan porcentajes de hinchamiento de 4-8 por ciento. A partir de estos datos proporcionados fue posible concluir que todos los paneles elaborados durante el estudio, cumplen la especificación de dicha industria guatemalteca.

Figura 41. **Especificaciones técnicas para tableros aglomerados de fibra de madera**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											
UNIDADES MÉTRICAS						UNIDADES INGLASAS					
Esesor en mm	9	12	15	18	25	Esesor pulgada	3/8	1/2	5/8	3/4	1
Densidad KG/ m3	660 +/-5%	670 +/-5%	650 +/-5%	650 +/-5%	650 +/-5%	Densidad lbs/ pie3	41.15	41.77	40.52	40.52	39.9
Ruptura kg/ cm2	>200	>200	>200	>200	>200	Ruptura P.S.I.	>2838	>2,554	>2,554	>2,554	>2,554
Tracción kg/ cm2	>/=4	>/=4	>/=4	>/=4	>/=4	Tracción P.S.I.	>57	>57	>57	>57	>57
Absorción % 2h	25-35	25 - 35	25 - 35	25 - 35	25 - 35	Absorción % 2h	25 - 35	25 - 35	25 - 35	25 - 35	25 - 35
Hinchamiento %	4-8	4 - 8	4 - 8	4 - 8	4 - 8	Hinchamiento %	4 - 8	4 - 8	4 - 8	4 - 8	4 - 8
Tornillo canto kgf	-	>/=80	>/=80	>/=80	>/=80	Tornillo canto kgf	-	>176	>176	>176	>176

Fuente: industria Maderas El Alto S.A.

En el porcentaje de absorción de agua, se presentó una tendencia decreciente al aumentar el porcentaje de PVAC, la carga y el tiempo de compactación. Sin embargo la absorción fue más afectada al variar el porcentaje de PVAC y la carga, y los mayores porcentajes de absorción

correspondieron a los especímenes compuestos de bajos porcentajes del ligante y una baja carga aplicada, paneles que alcanzaron más del cien por ciento de su masa inicial luego de la absorción. Este efecto se atribuye a que un material poroso y poco compacto, es propenso a que el agua penetre en su composición y llene los espacios vacantes dentro del material.

Basados en las características técnicas proporcionadas por Maderas El Alto S.A., se concluyó que ningún tratamiento cumplió con la especificación, pues a pesar que los paneles que reportaron menores resultados fueron los compuestos de 22 por ciento de PVAC, estos valores oscilaron entre 39 y 50 por ciento de absorción de agua.

Para el efecto de las variables sobre el porcentaje de hinchazón, fue rechazada la hipótesis nula únicamente para el efecto producido por el porcentaje de PVAC, como se observa en la Tabla XIV, lo cual indica que es la única variable que atribuye un efecto significativo sobre los resultados de deformación por hinchazón del material. Sobre los porcentajes de absorción de agua, es la interacción porcentaje de PVAC\*Carga la que produce un efecto estadísticamente significativo.

Luego de obtener que la variable que tuvo un efecto significativo sobre los valores del porcentaje de hinchazón fue el porcentaje de PVAC, el análisis de comparación de medias mostró que los mejores valores de hinchazón fueron presentados por los paneles compuestos por 22 y 20 por ciento de PVAC (Tabla XV). Para las variables de efecto significativo sobre los porcentajes de absorción, el análisis de Tukey mostró los grupos homogéneos para los mejores resultados, los cuales pertenecieron a los especímenes compuestos de 22 por ciento de PVAC y elaborados a una carga de 14,163 kilogramos por centímetro

cuadrado, y a los paneles compuestos de 22 por ciento de PVAC y compactados a una carga de 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado.

A partir del ensayo mecánico de tensión, se obtuvo valores de esfuerzo, los cuales presentaron una tendencia decreciente cuando en los aglomerados se aumentó la carga, el tiempo de compactación y al aumentar el porcentaje de PVAC de 18 a 20 por ciento. No se observó la misma tendencia en los paneles compuestos por 22 por ciento de PVAC y compactados a una carga de 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 minutos, pues en este tratamiento la resistencia mecánica declinó.

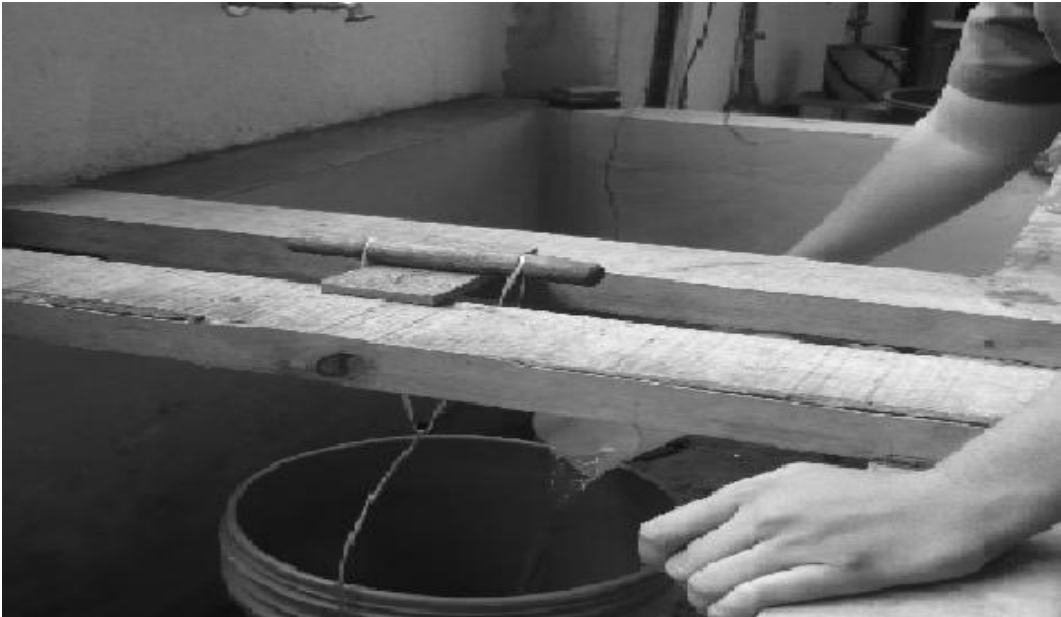
Esto se debe a que el acetato de polivinilo al secarse, adquiere una consistencia vítrea y quebradiza, por lo tanto al formar parte de la composición de los paneles y en mayor cantidad, le adjudicó a éstos la misma propiedad, logrando que los especímenes fueran más quebradizos y por lo tanto se fragilizaron.

De acuerdo a las características de resistencia a la tracción proporcionadas por Maderas El Alto S.A., presentadas en la Figura 37, fue posible concluir que los paneles de epicarpio de maní que cumplen con la especificación fueron los elaborados con 20 por ciento de PVAC y compactados a 28.327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 y 18 minutos, y todos los paneles elaborados con 22 por ciento de PVAC, pues dichos tratamientos reportaron valores de esfuerzo comprendidos entre 6-13 kilogramos por centímetro cuadrado, mientras que la especificación de la industria referida acepta resistencias mayores a 4 kilogramos por centímetro cuadrado.

El comportamiento del módulo de flexión, fue el mismo que el presentado por el esfuerzo. El módulo de flexión depende de la elasticidad del material, en

donde influye el tipo de partículas utilizadas en el aglomerado y la compactación de las mismas. Cabe mencionar que las partículas de epicarpio de maní son duras y quebradizas. Así mismo influyó el ligante polimérico que permitió la aglomeración, por lo que al estar presente en mayor cantidad, contribuyó a la pérdida de resistencia de los paneles.

Figura 42. **Determinación del módulo de flexión de los especímenes**



Fuente: fase experimental del estudio. Elaboración propia.

En cuanto al efecto producido sobre las propiedades mecánicas, se obtuvo rechazo de la hipótesis nula para el efecto producido por la interacción de porcentaje de PVAC\*Carga\*Tiempo, sobre los valores de esfuerzo y módulo de flexión, lo cual indica que es la interacción de las tres variables la que produce un significativo efecto sobre dichas propiedades, desde el punto de vista estadístico. Dichos resultados se presentan en la Tabla XX y Tabla XXIII.

Los grupos homogéneos para los resultados de resistencia mecánica se presentan en las Tablas XXI y XXIV. En dichas tablas se muestra como grupos homogéneos para los valores mayores de esfuerzo y módulo de flexión, a los especímenes elaborados con 20 por ciento de PVAC y compactados a 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 minutos, y todos los paneles compuestos de un 22 por ciento de PVAC. A pesar de que en los tratamientos de 22 por ciento de PVAC se presentó una declinación en la resistencia mecánica de los paneles, el análisis estadístico demostró que no consistió en un efecto significativo en los resultados.

Se realizaron correlaciones entre las propiedades físicas analizadas: peso específico, porcentaje de absorción y porcentaje de hinchazón, las cuales se presentan en las figuras 26-29. Se concluyó a partir de los resultados y el análisis de Tukey para grupos homogéneos, que las mejores propiedades físicas se obtuvieron en el tratamiento No. 10, el cual consistió en paneles aglomerados compuestos por 22 por ciento de PVAC y compactados a 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 minutos. Estos paneles presentaron un peso específico alto y menor efecto ante la humedad por reducción de la permeabilidad.

En las figuras 30-33 se presentan correlaciones entre las propiedades mecánicas evaluadas: esfuerzo y módulo de flexión con el peso específico de los especímenes. A partir de dichos resultados y del análisis estadístico, se concluyó que los mejores resultados de resistencia mecánica y de densidad, fueron los presentados por los paneles aglomerados compuestos por 22 por ciento de PVAC y compactados a 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 minutos, es decir el décimo tratamiento aplicado en la experimentación.



## CONCLUSIONES

1. Los porcentajes del ligante polimérico utilizado, acetato de polivinilo, fueron adecuados para su aplicación como aglomerante en los paneles a partir de epicarpio de maní, pues dieron como resultado especímenes con propiedades físicas aceptables.
2. El peso específico de los especímenes se ve afectado significativamente por la interacción de las tres variables seleccionadas en el estudio, produciendo un sinergismo sobre esta propiedad del material.
3. El porcentaje de PVAC es la única variable que atribuye un efecto estadísticamente significativo sobre los resultados de deformación por hinchazón del material.
4. Los porcentajes de absorción de agua en los paneles fueron afectados por las variaciones en el porcentaje de PVAC y la carga de compactación, y estadísticamente la interacción de ambas variables produce un efecto significativo sobre dicha propiedad.
5. Las propiedades mecánicas, esfuerzo y módulo de flexión de los especímenes, fueron afectadas de forma significativa por la interacción de las tres variables seleccionadas, aunque el incremento en el porcentaje de acetato de polivinilo resultó en un efecto negativo sobre estas propiedades, ya que produjo la fragilización de los paneles.
6. Los especímenes que presentaron el mayor peso específico, las mayores resistencias mecánicas y la menor permeabilidad al agua, fueron los



elaborados con 22 por ciento de PVAC y compactados a 28,327 kilogramos por centímetro cuadrado durante 12 minutos.

7. A partir de la clasificación de tableros aglomerados proporcionada por la FAO, en base al peso específico de los mismos, los paneles que presentaron las mejores propiedades físico-mecánicas pertenecen a la categoría de tableros duros o hardboards (HB).
8. Los paneles que presentaron las mejores propiedades físico-mecánicas cumplen con las características técnicas de porcentajes de hinchazón y resistencia a la tracción, especificadas por la industria guatemalteca Maderas El Alto S.A., para tableros aglomerados de madera.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio sobre la elaboración de paneles a partir de epicarpio de maní, ampliando la correlatividad en cargas de compactación aplicadas y tiempos de la carga sostenida.
2. Llevar a cabo un estudio sobre la elaboración de paneles de epicarpio de maní, utilizando otros adhesivos como aglomerantes.
3. Realizar un estudio de rentabilidad económica para la elaboración de paneles mayores a partir de epicarpio de maní utilizando la metodología propuesta por el presente estudio.
4. Llevar a cabo un estudio sobre las propiedades de aislamiento acústico de los paneles elaborados con la metodología propuesta.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ARGÜELLO, Ricardo; GATANI, M. *Placas de cielorraso realizadas con cáscara de maní*. Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Córdoba, Argentina: 2003. 2-10 p.
2. Asociación Nicaragüense de Arroceros- ANAR. Boletín Informativo 2009, No.8. Nicaragua: ANAR, Julio de 2009. 4 p.
3. AZURDIA, C., et al. *Diversidad genética de maní (Arachis Hypogaea) en Guatemala*. Guatemala: Organización y redes nacionales CONAP, 1999. 2 p.
4. CABALLEROS, Roberto. *Desechos sólidos: fuente de energía y material de construcción*. Trabajo de graduación de Arquitectura, Universidad Francisco Marroquín. Guatemala, 2003. 93 p.
5. Centro Guatemalteco de Producción más Limpia. Reporte nacional de manejo de residuos en Guatemala. Guatemala: PROARCA, 2004. 15-16 p.
6. *Clasificación taxonómica del cacahuete* [en línea], [ref. de 7 de julio de 2011]. Disponible en Web:  
<http://es.scribd.com/doc/52105037/TAXONOMIA-CACAHUATE>

7. ESCOBAR, Oscar C.; RODRÍGUEZ, Jorge; CORREA, Javier. *Conceptos básicos sobre la resistencia de las maderas*. Medellín, Colombia: Centro Colombo Canadiense de la Madera, 1993. 78 p.
8. *Estudio de oportunidades comerciales de frijol negro, cebolla blanca, maní descascarado, soya y carne bovina. Mercado de Guatemala*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Managua, Nicaragua: IICA, 2004. 38 p.
9. GATANI, Mariana; ARGÜELLO, Ricardo. *Materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas*. Revista Materiales de construcción. Córdoba, Argentina, 2010. Vol. 60, 137-147 p.
10. GUERRA, Jordán; ALCIDES, Rolando. *Importancia del cultivo del maní para mejorar su comercialización en el mercado guatemalteco*. Trabajo de graduación de Lic. en Administración de empresas. Facultad de Ciencias de la Administración, Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, 2007. 84 p.
11. HAYDEN, W., et al. *Propiedades mecánicas, Ciencia de los materiales*. México, D.F: Limusa, 1982. 358-372 p.
12. MEDINA, Juan Carlos; AMBROGI, Alonso. *Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados*. Grupo de Investigación y Desarrollo en Productos Oleaginosos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto. Revista Quebracho No.2. Argentina, 1994. 47-53 p.

13. MORÁN VALENZUELA, Luis Eduardo. *Diseño del sistema de agua potable para la aldea Shororaguá y diseño de muro de contención para el Instituto de Telesecundaria de la aldea Shororaguá, Chiquimula, Chiquimula*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 140 p.
14. SÁNCHEZ ACOSTA, Martín. *Usos alternativos de la madera de Eucalyptus grandis*. J.4/1986. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1986. 171-178 p.
15. SAZO, Sergio Estuardo. *Implementación del uso de aglomerados de madera, como alternativa en la industria de muebles*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 250 p.
16. SOILÁN CAÑÁS, Azahara. *Cálculo de estructuras* [en línea]. España: Galicia, [ref. de 21 de julio de 2011]. Disponible en Web:<http://www.cismadeira.com/construcion/downloads/13.materiales.pdf>
17. VIGNOTE PEÑA, Santiago; MARTÍNEZ ROJAS, Isaac. *Tecnología de la madera* [en línea]. 3ª ed. España: Madrid, 2005, [ref. de 7 de julio de 2011]. Disponible en Web:  
[http://books.google.com.gt/books?id=tmY5Z1WVFGwC&pg=PA437&lpg=PA437&dq=aglomerantes+de+madera&source=bl&ots=uKN7pZr48M&sig=XUWvE3\\_9r8gvrt5fpztYt2nElzA&hl=es&ei=RrS5TIHfFMK78gbA6rCwDg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=9&ved=0CCYQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.gt/books?id=tmY5Z1WVFGwC&pg=PA437&lpg=PA437&dq=aglomerantes+de+madera&source=bl&ots=uKN7pZr48M&sig=XUWvE3_9r8gvrt5fpztYt2nElzA&hl=es&ei=RrS5TIHfFMK78gbA6rCwDg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CCYQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false)

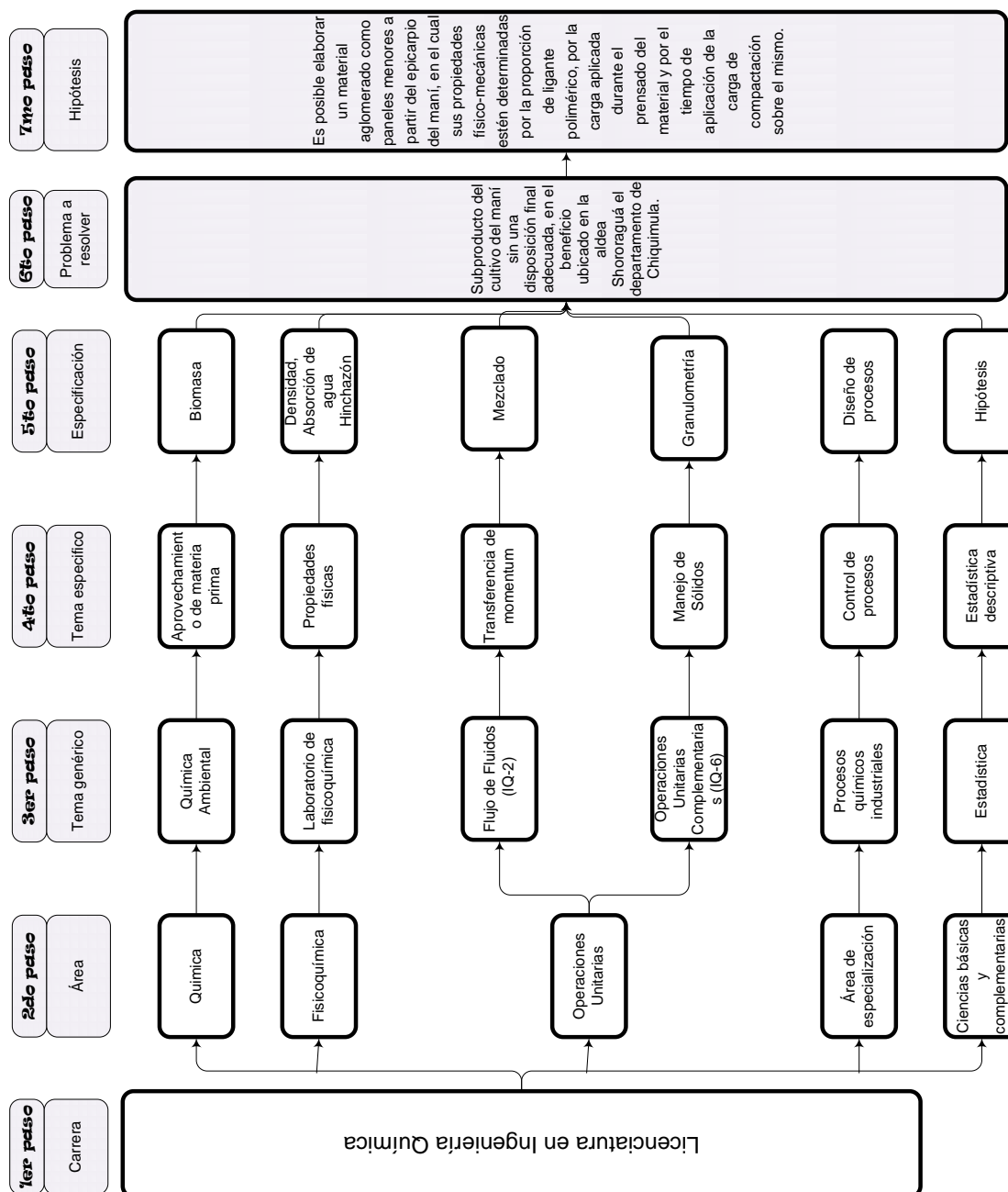
18. WOODROOF, J.G. *Peanuts. Production, processing, products*. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Company, 1983. 229 p.
19. YEBOAH, Y., et al. *Hydrogen from biomass for urban transportation*. Hydrogen, fuel cells and infrastructures technologies program review meeting. Berkeley: The AVI Publishing Company, 2003. 18-22 p.
20. ZANUTTINI, M.; MARZOCCHI, V. *Pulpa quimimecánica alcalina de álamo. Relación entre su estado químico, su hinchamiento y sus propiedades* [en línea], [ref. de 15 de julio de 2011]. Disponible en Web:  
<[http://ciadicyp.unam.edu.ar/trabajos/trabajos/pulpa\\_y\\_pulpados/Zanuttini-14-ITC-Arg.pdf](http://ciadicyp.unam.edu.ar/trabajos/trabajos/pulpa_y_pulpados/Zanuttini-14-ITC-Arg.pdf)>

## **APÉNDICES**



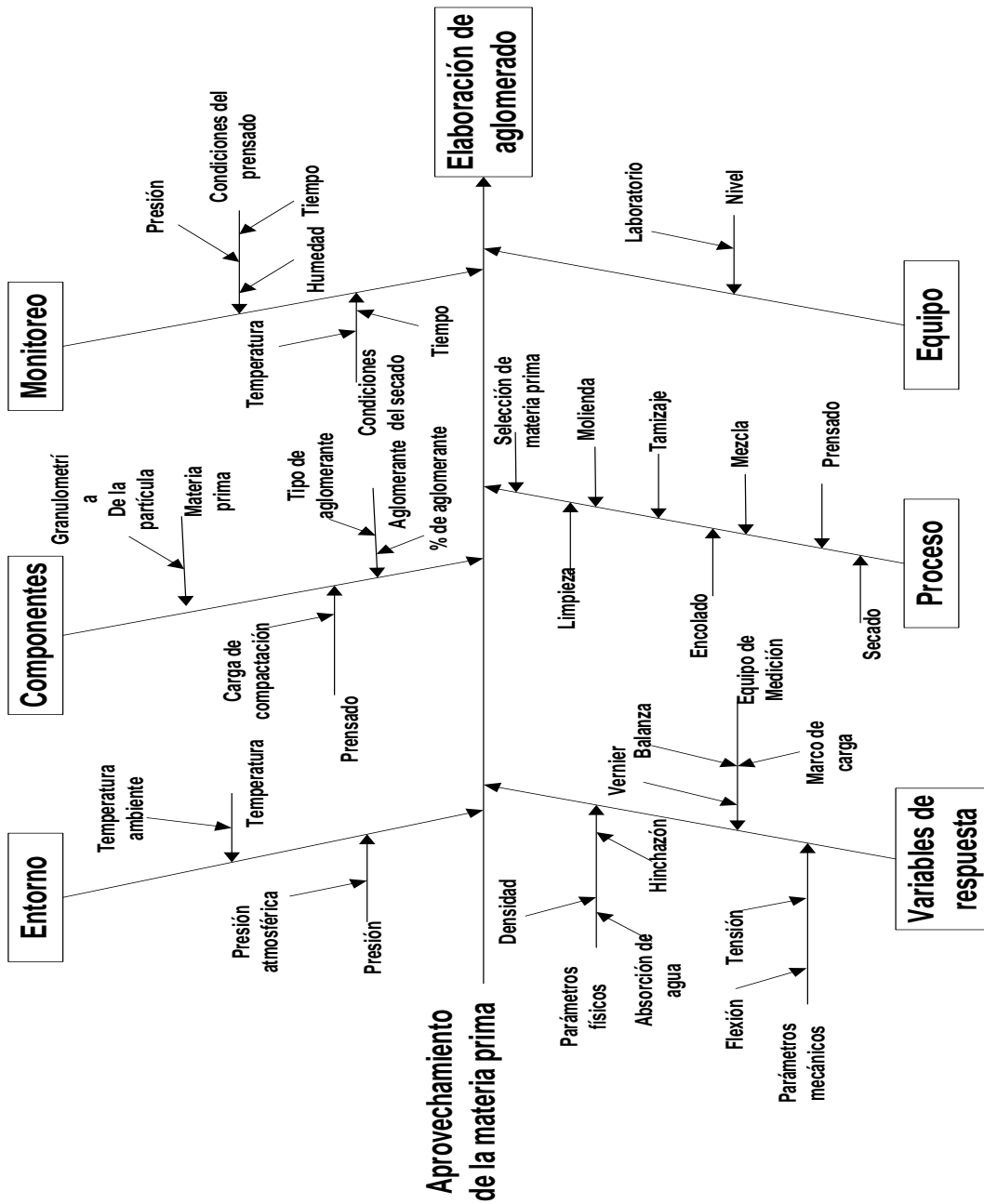


# 1. Tabla de requisitos académicos



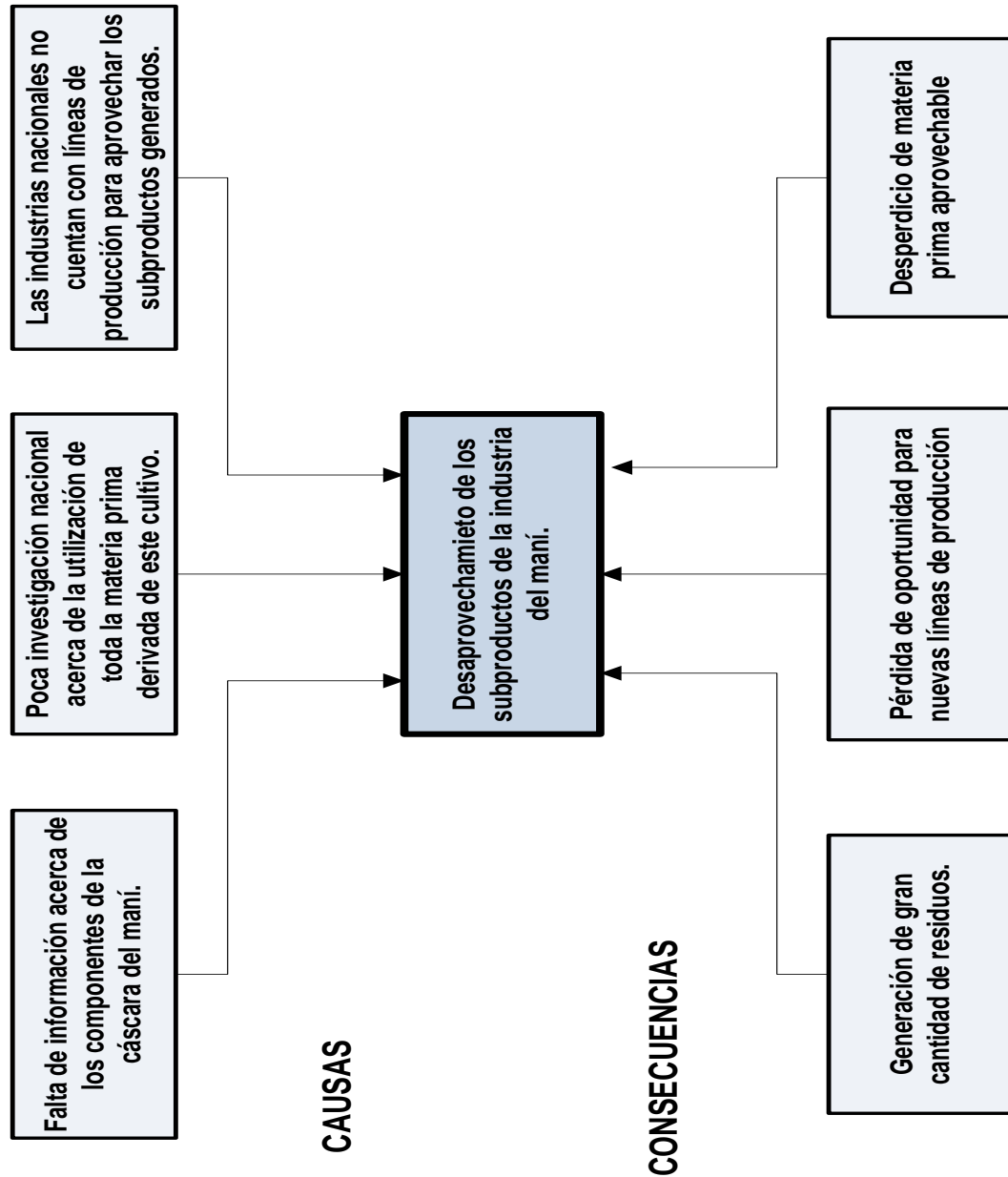
Fuente: protocolo de la investigación. Elaboración propia.

2. Diagrama de Ishikawa para el desarrollo del proceso de elaboración de un aglomerado, a partir del epicarpio del maní



Fuente: protocolo de la investigación. Elaboración propia.

3. Árbol de problemas para el desarrollo del proceso de elaboración de un aglomerado, a partir del epicarpio del maní



Fuente: protocolo de la investigación. Elaboración propia.



## **ANEXOS**



## 1. Estudio de la granulometría de la materia prima sometida al proceso de molienda

Para la selección de los tamaños de partícula del epicarpio de maní, se realizó un estudio de la granulometría del material, producto de la molienda. A partir de los mayores rendimientos de la molienda por tamiz y de las pruebas preliminares realizadas, se seleccionó dos grupos de partículas: partículas medianas y partículas finas.

Tabla XXVIII. **Resultados del estudio de la granulometría de las partículas de epicarpio de maní, luego de la molienda**

Tamiz No.	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido por tamiz	Clasificación de las partículas
0,75	19	0,0700	0,0280	Partículas grandes (10,86%)
4	4,75	9,0800	3,6291	
8	2,36	18,0200	7,2022	
10	2	31,4854	12,5841	
16	1,18	74,7765	29,8867	Partículas medianas (42,47%)
20	0,85	39,7198	15,8752	Partículas pequeñas (46,67%)
30	0,6	28,3995	11,3507	
40	0,425	21,7400	8,6890	
60	0,25	13,2771	5,3066	
80	0,18	8,4417	3,3740	
100	0,15	4,2700	1,7066	
140	0,106	0,5200	0,2078	
200	0,075	0,4000	0,1599	
Partículas tamizadas:		250,2000	100,0000	

Fuente: pruebas preliminares del estudio. Elaboración propia.



## **2. Métodos utilizados para el análisis físico-químico de la cola blanca Pgallo 900 R**

### **2.1. Determinación de porcentaje de humedad y sólidos totales en la muestra**

- Se tomó una muestra de un gramo de cola blanca en un plato de aluminio.
- Se distribuyó toda la muestra por el plato para lograr una capa uniforme de la misma en el plato.
- Se midió el porcentaje de humedad en la balanza de humedad del LIXVE a 105 grados Celsius.
- El resultado se reportó como porcentaje de humedad y por diferencia del 100 por ciento se obtuvo el resultado del porcentaje de sólidos totales en la muestra.

### **2.2. Metodología para determinación del porcentaje de carbonatos de calcio y magnesio en muestra de cola blanca**

- Se preparó una solución de KOH 1 M
- Se preparó una solución buffer pH=10
- Se preparó una solución de EDTA 0,05 M

#### **Solución buffer pH=10**

- Solución equimolar (0,05 M): cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) e hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ).

Nota: Para 50 mililitros de cada solución (1litro de solución buffer): 0,3259 mililitros de  $\text{NH}_4\text{OH}$  al 30 por ciento de pureza y 0,0876 gramos de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

### **2.3. Determinación del contenido de Carbonato de calcio en la muestra por método volumétrico**

Titulación de Calcio:

- Se preparó la solución muestra, realizando una dilución 3:1, agua desmineralizada y cola blanca.

Nota: Para 100 mililitros de solución, 25 mililitros de muestra.

- Se tomó una muestra de 10 mililitros en un earlenmayer.
- Se agregó 10 mililitros de KOH 1 molar.
- Verificar que pH=12 luego de agregar KOH.
- Se agregó 4 gotas de indicador Calcón.
- Se tituló la muestra con EDTA 0,05 molar hasta el viraje del indicador.
- Por estequiometría se determinó la cantidad de carbonato de calcio contenida en la muestra.

### **2.4. Determinación del contenido de Carbonato de magnesio en la muestra por método volumétrico**

Titulación de Calcio y Magnesio:

- Se tomó una muestra de 10 mililitros en un earlenmayer.
- Se agregó 15 mililitros de solución buffer pH=10.
- Se verificó el pH de la solución con un pHímetro.
- Se agregó 10 mililitros de agua desmineralizada.
- Se agregó 4 gotas de indicador Negro de Ericromo T.
- Se tituló la muestra con EDTA 0,05 molar hasta el viraje del indicador.

- A la cantidad de mililitros de EDTA consumidos, se restó la cantidad de EDTA consumido en la titulación de calcio, para obtener la cantidad de EDTA consumido en la titulación de magnesio.
- Por estequiometría se determinó la cantidad de carbonato de magnesio contenida en la muestra.

## **2.5. Determinación del porcentaje de PVAC en el adhesivo**

- Al porcentaje de sólidos totales contenidos en el adhesivo, se restó el porcentaje de carbonatos de calcio y de magnesio, para obtener un estimado del porcentaje de acetato de polivinilo del adhesivo.

## **3. Ampliación de métodos y procedimientos a utilizar en la evaluación de las probetas**

### **3.1. Determinación del peso específico de tableros de partículas (UNE 56,709)**

- Aparatos necesarios:

Se requieren aparatos para la medición de las dimensiones de las probetas. Se utilizará un calibrador o cualquier otro aparato cuyas puntas de medición tengan una anchura de 5 milímetros como mínimo, y una graduación que permita realizar las lecturas con una aproximación de 0,1 milímetros.

- Probetas:

Las probetas deberán tener forma de cuadrado de 100 milímetros de lado. Sus bordes serán rectos, limpios y sin protección.

- Procedimiento operatorio:
  - Se pesa la probeta con una aproximación de 0,1 gramos.
  - Se mide el espesor en cuatro puntos diferentes, obteniéndose la media aritmética de las cuatro medidas, que se considerará como grosor efectivo de la probeta.
  - Se mide la longitud y la anchura paralelamente a los lados. La media aritmética de cada dos medidas paralelas, se considerará como longitud o anchura efectivas de la probeta.
  - Con las medidas anteriores se obtendrá el volumen del material con una aproximación de 0,1 centímetros cúbicos.
  
- Obtención de los resultados:

El peso específico de la probeta se calculará por la ecuación:

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico, expresado en gramos por centímetro cúbico

G= Masa expresada en gramos

V= Volumen expresado en centímetros cúbicos

### **3.2. Determinación de la hinchazón y de la absorción de agua por inmersión total, de tableros de partículas (UNE 56.713)**

- Aparatos necesarios:

Se requieren aparatos para la medición de las dimensiones de las probetas. Se utilizará un recipiente con agua, provisto de un dispositivo de calefacción con un termostato que permita mantener una temperatura de la misma de 20 grados Celsius  $\pm$  1 grado Celsius.

- Probetas:

Las probetas deberán tener forma de cuadrado de 100 milímetros de lado. Sus bordes serán rectos, limpios y sin protección. Las medidas del tablero se indicarán sobre ellas para facilitar su identificación.

- Procedimiento operatorio:
  - Se pesa la probeta con una aproximación de 0,1 gramos.
  - Se mide el grosor en cuatro puntos diferentes. La media aritmética de las cuatro medidas, se considerará como grosor efectivo.
  - Se mide el espesor en cuatro puntos diferentes, obteniéndose la media aritmética de las cuatro medidas, que se considerará como grosor efectivo de la probeta.
  - Se mide la longitud y la anchura entre dos puntos de cada lado con una precisión de 0,1 milímetros. La media aritmética de cada dos medidas paralelas, se considerará como longitud o anchura efectivas de la probeta.
  - Se sumergen las probetas verticalmente en el recipiente, de forma que estén separadas las unas de las otras y que no toquen ni las paredes ni

el fondo. El agua debe estar limpia y en reposo y su temperatura será de 20 grados Celsius  $\pm$  1 grado Celsius.

- Al principio de cada ensayo, se comprobará que el pH del agua sea de 6  $\pm$  1, corrigiéndose en caso contrario.
- Los bordes superiores deben estar unos 20 milímetros por debajo de la superficie del agua.
- Se mantienen sumergidas las probetas durante 2 horas, haciéndolas girar verticalmente alrededor de su eje horizontal al cabo de la primera hora.
- Se vuelven a pesar y se miden su grosor, su longitud y su anchura del mismo modo que antes de la inmersión.
- Obtención de los resultados:

La hinchazón correspondiente a cada dimensión, se calculará por la fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de hinchazón} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} * 100$$

Donde:

$L_1$  = Medida (grosor, longitud o anchura) después de la inmersión

$L_0$  = Medida antes de la inmersión

La hinchazón en el grosor, se expresará con una aproximación del 0,5 por ciento.

La hinchazón en la longitud y en la anchura, se expresará con una aproximación del 0,05 por ciento.

La hinchazón de un tablero, será la media aritmética de la hinchazón de las probetas obtenidas a partir del mismo.

- Cálculo de la absorción de agua. La absorción de agua se calculará por la fórmula siguiente:

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{G_1 - G_0}{G_0} * 100$$

Donde:

$G_1$  = Peso después de la inmersión

$G_0$  = Peso antes de la inmersión.

El resultado se expresará con una aproximación del 1 por ciento

La absorción de un tablero, será la media aritmética de la absorción de las probetas obtenidas a partir del mismo.

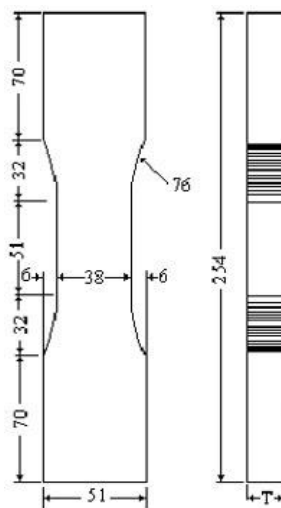
**3.3. Determinación de la tensión paralela a la superficie de acuerdo a método aplicado en la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería. (Metodología basada en norma ASTM D 1037-96a y adaptada a la morfología de las probetas de los paneles de epicarpio de maní)**

- **Ámbito de aplicación**

La prueba de resistencia a la tensión paralela a la superficie se realiza en muestras de materiales de 1 pulgada de espesor (25 milímetros) o menos.

- **Muestras de ensayo:**

La dimensión y confección de las probetas deben ser semejantes a la geometría establecida por la norma ASTM D1037-96a, donde la letra T, indica el espesor de la probeta, el cual no debe ser inferior a 6,0 milímetros ni mayor que 25,4 milímetros.





Las dimensiones de la probeta fueron modificadas: 7 centímetros de grosor y 30 centímetros de longitud. Esto fue necesario debido a la dificultad a realizar los cortes especificados por la norma en los paneles elaborados a partir de 18 por ciento de PVAC, los cuales eran deleznable.

- Método de carga:

Ajustar el sistema de agarre dentado en por lo menos 2 pulgadas (50 mm) de longitud del material, para transmitir la carga de la máquina de ensayo a la muestra.

- Velocidad de la prueba:

Aplicar la carga constante durante la prueba, a una velocidad uniforme de movimiento de la cruceta móvil de la maquinaria de prueba, de 4 mm/min.

- Datos obtenidos y reporte:

Se obtienen las cargas máximas de tensión. Si la falla es de ½ pulgada (12 mm) en los agarres, se ignora el valor de prueba. Se reporta como cargas máximas, y la ubicación y descripción de la ruptura.

La resistencia a la tensión paralela a las caras, fue obtenida por la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{máx}}}{A}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Esfuerzo soportado por tensión, en kilogramos por centímetro cuadrado

$C_{\text{máx}}$  = Carga máxima alcanzada en kilogramos

$A$  = Área de la sección transversal, en centímetros cuadrados

**3.4. Determinación de la resistencia a la flexión de acuerdo a método aplicado en la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería; (metodología adaptada a la morfología de las probetas de los paneles de epicarpio de maní)**

- Aparatos necesarios:

Para la realización del ensayo se necesitó de cilindro para colocar a la mitad de la probeta y ser el punto de carga para flexionar, dos apoyos para sostener la probeta y contenedores de agua previamente tarados.

- Probetas:

Las probetas fueron de forma rectangular con dimensiones: 7 centímetros de ancho y 14 centímetros de longitud.

Procedimiento operatorio:

- Luego de preparar las probetas, se colocan centradas en los apoyos.
  - Se regula la distancia entre los soportes, de modo que sobresalga la probeta en su mayor parte.
  - Los extremos del cilindro que aplicó la carga fueron atados con cuerdas a un recipiente.
  - Se colocó el cilindro en el punto medio de la probeta.
  - Se fue agregando agua hasta ocasionar la ruptura de la probeta.
  - Se midió la carga soportada, como masa de agua.
- Obtención de los resultados:

La resistencia a la flexión se calcula por medio de la ecuación:

$$\sigma = \frac{3C.L}{2b.h^2}$$

Donde:

$\sigma$  = Módulo de flexión, en kilogramos por centímetro cuadrado

C = Carga de rotura, en kilogramos

L = Luz o distancia entre los apoyos, en centímetros

b = Anchura efectiva de la probeta, en centímetros

h = Grosor efectivo de la probeta, en centímetros