UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

"INFLUENCIA DE TRES PROPORCIONES DE ADHESIVOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE *Guazuma crinita* Mart. (BOLAINA BLANCA) EN PUCALLPA – UCAYALI, 2020"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

LORENA ESCRIBA PEZO

PUCALLPA – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE APROBACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

N° 413/2021-CGyR-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa a las 12:15 p.m. del día martes 30 de marzo de 2021, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en forma virtual, mediante la plataforma unificada de comunicación y colaboración Microsoft Teams, los mismos que estuvo designados con Memo Múltiple N° 045-2021-UNU-FCFyA-CGyT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera	Presidente
Ing. M.Sc. Julian Robert Pérez Vigilio	Miembro
Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco	Miembro

Se procedió a evaluar la sustentación de tesis denominada: **"INFLUENCIA DE TRES PROPORCIONES DE ADHESIVOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE *Guazuma crinita* Mart. (BOLAINA BLANCA) EN PUCALLPA – UCAYALI, 2020**", presentado por la bachiller: **ESCRIBA PEZO, LORENA,** asesorado por el **Dr. MANUEL IVÁN SALVADOR CÁRDENAS.** Habiendo finalizado la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por el sustentante, en consecuencia la tesis fue **APROBADO POR UNANIMIDAD Y RECOMENDACIÓN DE PUBLICACIÓN,** quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL,** después de las correcciones respectivas de la tesis. Siendo las 02:00 p.m. horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Presidente

Ing. M.Sc. Julian Robert Pérez Vigilio
Miembro

Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

La presente tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera

Presidente

Ing. M.Sc. Julian Robert Pérez Vigilio

Miembro

Ing. M.Sc. Moisés Torres Velasco

Miembro

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas

Asesor

Bach. Lorena Escriba Pezo

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N° V/0106-2021

La **Dirección de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el **Informe Final (Tesis) Titulado:**

"INFLUENCIA DE TRES PROPORCIONES DE ADHESIVOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE Guazuma crinita Mart. (BOLAINA BLANCA) EN PUCALLPA – UCAYALI, 2020".

Cuyo autor (es)	:	**ESCRIBA PEZO, LORENA**
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional	:	INGENIERIA FORESTAL
Asesor(a)	:	Dr. SALVADOR CARDENAS, MANUEL IVAN

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 10 %.**
En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.
En señal de conformidad y verificación se entrega la presente constancia.

Fecha: 15/03/2021

Dr. ABRAHAM ERMITANIO HUAMAN ALMIRON
Dirección de Producción Intelectual

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, LORENA ESCRIBA PEZO

Autor de la TESIS titulada:

"INFLUENCIA DE TRES PROPORCIONES DE ADHESIVOS EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE TABLEROS DE PARTICULAS DE Guazuma crinita Mart. (BOLAINA BLANCA) EN PUCALLPA. UCAYALI, 2020"

Sustentada el año: 2021

Con la asesoría de: DR. MANUEL IVÁN SALVADOR CÁRDENAS

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Carrera Profesional de: INGENIERÍA FORESTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] Significa que se publicará en el repositorio institucional solo La caratula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar **si su tesis o documento presenta material patentable**, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPI cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL [X] Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la **tesis es una creación de mi autoría** y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali y del Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 30 / 03 / 2021

Email: dloren6@hotmail.com

Firma: Lorena P.

Teléfono: 997697582

DNI: 71039698

DEDICATORIA

A Dios, por concederme el privilegio de la vida, guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentan, enseñándome a superar las adversidades sin perder la dignidad y no darme por vencida.

A mis padres Eusebio y Leni, por haberme dado la vida, su apoyo incondicional, consejos, amor, ayudarme con los recursos necesarios para estudiar y enseñarme que las metas son alcanzables y que una caída no es una derrota, sino el principio de una lucha que siempre termina en logros y éxitos.

A mis hermanos: Alan, Pierre y Grace, porque son cómplices de las cosas que hacemos desde niños, este logro también es para ustedes queridos hermanos.

A mis hijos Adriano y Darían, que me dan fortaleza para seguir adelante y ser ejemplo para ellos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali, mi alma mater, que me permitió formarme como profesional.

A la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, por la formación profesional durante los años como estudiante.

Al Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas, asesor principal de este trabajo, que confío en mí y me dio la oportunidad de ejecutar la presente tesis.

Al Ing. Lenin Vladimir Vargas Villa, amigo y co-asesor que apostó por este trabajo y acompañó durante la ejecución.

Al Ing. Edson Maca, por permitirme realizar los tableros aglomerados en los ambientes de la carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali. Al Sr. Ney Paredes, por realizar los cortes de las probetas para los ensayos.

Al Ing. Cristhian Fachin Vargas, por apoyarme en la realización de los ensayos mecánicos y físicos.

A los empresarios dedicados a la venta de tablillas de bolaina, por permitir recolectar virutas necesarias para la elaboración de tableros aglomerados.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE DE CONTENIDO viii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xiv

RESUMEN xvi

ABSTRACT xvii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3

1.2. OBJETIVOS 5

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 6

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 6

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA 9

2.2.1. Tableros aglomerados 9

2.2.2. Clasificación 10

2.2.3. Adhesivos para tableros aglomerados 15

2.2.4. Usos de tableros aglomerados 17

2.2.5. Característica físico mecánicas de los tableros 19

2.2.6. Descripción de la *Guazuma crinita* (bolaina blanca) 20

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 26

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 28

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 28

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 28

3.2.1. Población 28

3.2.2. Muestra 28

3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS 29
3.3.1. Obtención del aserrín 29
3.3.2. Tamizado de las partículas 29
3.3.3. Secado de la viruta 29
3.3.4. Formación del colchón y encolado de las partículas 29
3.3.5. Prensado 30
3.3.6. Elaboración de probetas 30
3.3.7. Ensayos físicos 31
3.3.8. Ensayos mecánicos 35
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 38
3.4.1. Técnicas 38
3.4.2. Instrumentos 38
3.4.3. Materiales y equipos 39
3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS 40
3.6. TRATAMIENTO DE DATOS 40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42
4.1. PROPIEDADES FÍSICAS 42
4.1.1. Densidad seca al aire 43
4.1.2. Densidad anhidra 47
4.1.3. Contenido de humedad 50
4.1.4. Absorción de agua 53
4.1.5. Hinchamiento volumétrico 57
4.1.6. Expansión lineal 61
4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS 67
4.2.1. Ensayo de flexión estática 68
4.2.2. Dureza 76
4.2.3. Compresión 79

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 85
5.1. CONCLUSIONES 85
5.2. RECOMENDACIONES 86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 87
ANEXOS 94

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Clasificación de los tipos de tableros según Flamand (1961)…….…….…….	10
Tabla 2.	Clasificación de los diferentes tipos de tableros y sus valores correspondientes. ……..…….	14
Tabla 3.	Clasificación de los tableros aglomerados tomado de Pascual Cortés (2013)……...	14
Tabla 4.	Cuadro de Análisis de varianza…….……	40
Tabla 5.	Resumen de las propiedades físicas de tableros aglomerados de la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)…….…….	42
Tabla 6.	Análisis de varianza de densidad seca al aire por efecto de 3 proporciones de adhesivo……..…….	43
Tabla 7.	Prueba ce comparación de Tukey (α=0,05) de la densidad seca al aire por efecto de 3 proporciones de adhesivo…….……	44
Tabla 8.	Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la densidad seca al aire……..	46
Tabla 9.	Análisis de varianza de densidad anhidra por efecto de 3 proporciones de adhesivo……..	47
Tabla 10.	Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la densidad anhidra…….	48
Tabla 11.	Análisis de varianza de contenido de humedad por efecto de 3 proporciones de adhesivo…….	50
Tabla 12.	Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y contenido de humedad……..…	52
Tabla 13.	Análisis de varianza de absorción de agua (24 horas) por efecto de 3 proporciones de adhesivo……..	53
Tabla 14.	Prueba de comparación de tukey (α=0,05) de la absorción de agua por efecto de 3 proporciones de cola.....	53
Tabla 15.	Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la absorción de agua……..…	56

Tabla 16. Análisis de varianza de hinchamiento volumétrico (24 horas) por efecto de 3 proporciones de adhesivo…….. 57
Tabla 17. Prueba de comparación tukey (α=0,05) de hinchamiento volumétrico por efecto de 3 proporciones de adhesivo…….....……. 57
Tabla 18. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y el hinchamiento volumétrico……... 59
Tabla 19. Análisis de varianza de expansión longitudinal (24 horas) por efecto de 3 proporciones de adhesivo……. 61
Tabla 20. Prueba de comparación de tukey (α=0,05) de la expansión longitudinal por efecto de 3 proporciones de adhesivo…… 61
Tabla 21. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la expansión longitudinal……. 63
Tabla 22. Análisis de varianza de expansión en espesor (24 horas) por efecto de 3 proporciones de adhesivo…….. 64
Tabla 23. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la expansión en espesor…….. 66
Tabla 24. Resumen de los valores de las propiedades mecánicas del tablero aglomerado…….. 67
Tabla 25. Análisis de varianza del MOR (kg/cm^2) por efecto de 3 proporciones de adhesivo……... 68
Tabla 26. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y el módulo de ruptura……. 72
Tabla 27. Análisis de varianza del MOE (kg/cm^2) por efecto de 3 proporciones de adhesivo……. 73
Tabla 28. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y el módulo elasticidad…… 75
Tabla 29. Análisis de varianza de la dureza (kg) por efecto de 3 proporciones de adhesivo…….. 76
Tabla 30. Prueba de comparación de tukey (α=0,05) de la dureza por efecto de 3 proporciones de adhesivo…….. 77

Tabla 31. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la dureza…… 78
Tabla 32. Análisis de varianza de compresión a la cara por efecto de 3 proporciones de adhesivo……. 79
Tabla 33. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la compresión a la cara…….….. 80
Tabla 34. Análisis de varianza de compresión al canto por efecto de 3 proporciones de adhesivo…….……. 81
Tabla 35. Prueba de comparación de tukey (α=0,05) de la compresión al canto por efecto de 3 proporciones de adhesivo……. 82
Tabla 36. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la compresión al canto……..… 83

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Tablero de partículas…….…	12
Figura 2.	Tablero OBS……...	12
Figura 3.	Tablero de una y tres capas…….	13
Figura 4.	Tableros de fibra……	14
Figura 5.	Prueba de flexión mecánica a tablero aglomerado……..	36
Figura 6.	Prueba de compresión a probetas de tablero aglomerado.	37
Figura 7.	Prueba de dureza a probetas de tablero aglomerado……..	38
Figura 8.	Promedio de densidad seca al aire de tres tipos de tableros aglomerados……...	44
Figura 9.	Relación entre las variables proporción de adhesivos y la densidad seca al aire…….	46
Figura 10.	Promedios de densidad anhidra de tres tipos de tableros..	48
Figura 11.	Relación entre las variables proporción de adhesivos y la densidad anhidra……	49
Figura 12.	Promedio de contenido de humedad de 3 tipos de tableros.	51
Figura 13.	Relación entre las variables proporción de adhesivos y el contenido de humedad…….	52
Figura 14.	Promedio de absorción de agua en 24 horas de 3 tipos de tableros……	54
Figura 15.	Relación entre las variables proporción de adhesivos y absorción de agua…….	56
Figura 16.	Promedio de hinchamiento volumétrico de 3 tipos de tableros……	58
Figura 17.	Relación entre las variables proporción de adhesivos y hinchamiento volumétrico…….	60
Figura 18.	Promedio de expansión longitudinal de 3 tipos de tableros.	62
Figura 19.	Relación entre las variables proporción de adhesivos y expansión longitudinal	63
Figura 20.	Promedio de expansión en espesor de tres tipos de tableros……	65

Figura 21. Relación entre las variables proporción de adhesivos y expansión en espesor…… 66
Figura 22. Promedio de módulo de ruptura de 3 tipos de tableros…… 69
Figura 23. Relación entre las variables proporción de adhesivos y módulo de ruptura…….. 73
Figura 24. Promedio de módulo de elasticidad de 3 tipos de tableros 75
Figura 25. Relación entre las variables proporción de adhesivos y el módulo de elasticidad…… 76
Figura 26. Promedio de la dureza de 3 tipos de tableros…… 77
Figura 27. Relación entre las variables proporción de adhesivos y la dureza…….. 78
Figura 28. Promedio de resistencia a compresión a la cara de tres tipos de tablero……... 80
Figura 29. Relación entre las variables proporción de adhesivos y la compresión a la cara……. 81
Figura 30. Promedio de compresión al canto de 3 tipos de tableros… 82
Figura 31. Relación entre las variables proporción de adhesivos y la compresión al canto…….. 83

RESUMEN

La industria de transformación mecánica produce importantes volúmenes de residuos, con dimensiones y formas inferiores a la mínima tolerada como productos comerciales, razón por lo que se fijó como objetivo principal del trabajo determinar la influencia de las proporciones de adhesivos en las propiedades físicas y mecánicas de tableros aglomerados de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca); con la finalidad de generar información base para las personas o empresas que utilizan en distintas actividades la madera de bolaina blanca. El trabajo se llevó a cabo en la carpintería para la realización de los tableros y en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali para los ensayos físicos y mecánicos según lo indicado en la Norma Técnica Peruana, de donde se tomaron las probetas respectivas para cada ensayo. Los resultados indican que existe relación significativa, directamente proporcional entre la proporción de adhesivo y las propiedades físicos como la densidad seca al aire y densidad anhidra, mientras que inversamente proporcional con el contenido de humedad, absorción de agua, hinchamiento volumétrico, expansión lineal (longitud y espesor). Así mismo se encontró que no existe relación significativa entre la proporción de adhesivo y las propiedades mecánicas como módulo de elasticidad, módulo de ruptura y compresión a la cara del tablero; en tanto que, con la dureza y la compresión al canto del tablero, se encontró una relación significativa.

Palabras clave: Propiedades Físicas, Propiedades mecánicas, tablero aglomerado, tableros de partículas, partículas de *Guazuma crinita.*

ABSTRACT

The mechanical transformation industry produces significant volumes of waste, with dimensions and shapes below the minimum tolerated as commercial products, which is why the main objective of the work was to determine the influence of the proportions of adhesives on the physical and mechanical properties of chipboards from Guazuma crinita Mart. (White ball); with the purpose of generating basic information for the people or companies that use white bolaina wood in different activities. The work was carried out in the carpentry for the realization of the boards and in the Wood Technology Laboratory of the National University of Ucayali for the physical and mechanical tests as indicated in the Peruvian Technical Standard, from which the respective specimens for each test. The results indicate that there is a significant relationship, directly proportional between the proportion of adhesive and physical properties such as air-dry density and anhydrous density, while inversely proportional with moisture content, water absorption, volumetric swelling, linear expansion (length and thickness). Likewise, it was found that there is no significant relationship between the proportion of adhesive and the mechanical properties such as modulus of elasticity, modulus of rupture and compression to the face of the board; while with the hardness and compression at the edge of the board, a significant relationship was found.

Keywords: Physical properties, mechanical properties, chipboard, particle board, Guazuma crinite particles.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente en la elaboración de los tableros de partículas se utilizaba como materia prima las virutas de madera provenientes del astillado de trozos, generalmente descortezados (Kollmann, Kuenzi y Stamm, 1975). Sin embargo, en la elaboración de tableros de partículas también se utilizan otros materiales como los residuos de las industrias de transformación de la madera, aserrín, virutas y despuntes entre otros. (Poblete, 1979)

La industria de transformación mecánica de la madera es relativamente antigua en nuestro país, agregando que todavía no se ha podido superar deficiencias. Según Cornejo (1991), los problemas de la actividad maderera pueden agruparse en cuatro categorías: a) accesibilidad, disponibilidad y calidad de los recursos usados en la producción (básicamente madera rolliza); b) baja eficiencia de uso de los recursos actualmente disponibles; c) marco socio-político legal en el que se desenvuelve la producción; y d) los referentes al mercado y normalización de productos terminados (principalmente ausencia de canales formales y constantes de comercialización y carencias de normas técnicas).

Otero (1985), indica que la industria de transformación mecánica produce importantes volúmenes de residuos, con dimensiones y formas inferiores a la mínima tolerada como productos comerciales.

Los residuos generados en las industrias contaminan el planeta, poniendo en riesgo la supervivencia de la humanidad, agregando la falta de conciencia que hace que surja la necesidad de que las nuevas generaciones emprendan proyectos que aporten ideas atractivas para las empresas y proporcionen alternativas que no sólo contribuyan al cuidado del medio ambiente como parte de la responsabilidad social, sino que, a su vez, permitan obtener un valor agregado con el aprovechamiento de los residuos generados. (González, Mejía y Méndez, 2018)

Es importante plantear alternativas que no solo beneficien a las industrias, sino que a su vez ayuden a crear conciencia ambiental por medio de la reutilización de los residuos de una manera rentable, lo que a futuro dará un valor

agregado a todas las empresas que incluyan dentro de sus procesos la transformación de estos residuos en productos nuevos.

El trabajo de investigación el propósito de ofrecer una idea para la reutilización de la viruta de la especie de bolaina blanca que se generan en las operaciones de cepillado y/o garlopado, y que esta incida en un futuro mejorar la calidad de vida, principalmente de los pobladores que habita alrededor de estas empresas ya que se ven afectadas por el mal manejo de los residuos.

En ese sentido el trabajo de investigación tiene como objetivo general, determinar la influencia de tres proporciones de adhesivos en las propiedades físicas y mecánicas de tableros de partículas de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca), siendo los objetivos específicos: determinar las propiedades físicas de los tableros de partículas de *Guazuma crinita* (Bolaina blanca) y determinar las propiedades mecánicas de los tableros de partículas de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca).

Con la información generada las personas o empresas que utilizan en distintas actividades la viruta podrán tomar decisiones para el uso consciente de este residuo en función a sus propiedades físicas y mecánicas del tablero aglomerado, además creara una alternativa de producto de las personas o empresas que visionan fabricar tableros aglomerados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La ciudad de Pucallpa es considerada como la capital forestal del Perú, porque en ella se encuentra instalada la industria maderera más grande del país, en ella se genera un gran volumen de residuos como aserrín, viruta, corteza y abundante residuo sólido, la contaminación generada por las industrias forestales en sus procesos ha sido un problema serio a lo largo de la historia, el avance de la tecnología ha promovido mejorar las falencias que se presentaban en el manejo de las materias primas que son extraídas de la naturaleza, pero en cierta forma continua, por lo tanto, las empresas pueden buscar nuevos métodos y estrategias de producción que ayuden a mitigar esa contaminación y aunque actualmente se está impulsando más y creando la conciencia de ser más amigables con el medio ambiente, existen aún ciertos contaminantes en la producción como son los “residuos” de los cuales no se hace un uso correcto, en ciertas empresas madereras botan o regalan los residuos (aserrín, virutas, entre otros) y es parte de materia prima que puede ser utilizada de una forma útil elaborando nuevos productos, es ahí donde se plantea el aprovechamiento de los residuos de madera. (González, Mejía y Méndez, 2018)

La industria de la madera tiene la característica de generar grandes volúmenes de residuos durante el proceso de explotación y elaboración de la misma, esto ocurre antes de la madera ser introducida en el proceso propiamente dicho hasta la obtención del producto final. (Álvarez, Dorado, y Fernández, 2010)

Decir residuo es relativo. Lo que hoy es llamado residuo mañana puede ser materia prima si adquiere un valor en el mercado. A partir de esta visión la utilización de los residuos forestales en los diferentes servicios, así como en la esfera residencial, es una necesidad social en aras de disminuir el consumo de combustibles fósiles, y su utilización puede ser una solución no solo a los problemas medioambientales, sino que a su vez aporta mayor

valor agregado a la madera en la industria forestal. (Ortiz, Tejada y Vázquez, 2004)

En la actualidad la utilización de los residuos forestales tiene un alto grado de desaprovechamiento. El aserrín, virutas, despuntes, entre otros se almacenan en grandes cerros o se quema en calderas sin dar un valor agregado, la quema de estos ocasiona pérdidas energéticas. (Soto y Núñez, 2008)

En la Ciudad de Pucallpa, los llamados bolaineros, al momento de procesar los tucos para la realización del tablillado genera aserrín en grandes cantidades donde queda expuesta al medio ambiente sin darle un uso adecuado a dicho residuo, además (Guevara, Reyes y Bocanegra, 1993), menciona que el aserrín en muchos casos es quemado o arrojados a los ríos provocando costos adicionales de limpieza, transporte y contaminación ambiental.

El uso de estos residuos establece una fuente de materia prima importante en la fabricación de nuevos productos en la industria del tablero, el cual puede obtener propiedades muy superiores a la madera y otros materiales que en condiciones de intemperismo sufren fuertes daños. (Martínez, García y Martínez, 2014)

Uno de los factores de contaminación en la ciudad de Pucallpa es la acumulación de viruta producto del proceso de cepillado y/o garlopado que se les da a las tablillas de bolaina, esta al descomponerse brinda olores que en su mayoría incomoda a la población circundante.

Una de las soluciones de este problema es generar un producto como tablero aglomerado utilizando la viruta de madera de la especie bolaina con la finalidad de darle un valor agregado a este residuo, para que posteriormente pueda ser utilizado en diferentes trabajos como carpintería, construcciones u otros, y de esa manera contribuir con reducir la contaminación generada por la viruta de la especie bolaina.

En tal sentido con el presente trabajo de investigación se resolvió los siguientes interrogantes:

1.1.1. Problema general

- ¿Cómo influye la proporción de adhesivo en las propiedades físicas y mecánicas de tableros de partículas de *Guazuma crinita* Mart (Bolaina blanca)?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye la proporción de adhesivo en las propiedades físicas de los tableros de partículas de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca)?

- ¿Cómo influye la proporción de adhesivo en las propiedades mecánicas de los tableros de partículas de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca)?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de tres proporciones de adhesivos en las propiedades físicas y mecánicas de tableros de partículas de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca).

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de tres proporciones de adhesivo en las propiedades físicas de los tableros de partículas de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca).

- Determinar la influencia de tres proporciones de adhesivo en las propiedades mecánicas de los tableros de partículas de *Guazuma crinita* Mart. (Bolaina blanca).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. A Nivel Internacional

En el trabajo de investigación: Propiedades físico - mecánicas de tableros aglomerados de partículas de 12, 16 y 19 mm en una empresa del Estado de Durango, cuyos resultados fueron: Las densidades normales medias para tableros de 12, 16 y 19 mm fueron de 0.79, 0.75, y 0.74 g/cm^3 respectivamente los cuales los ubican en el rango de clasificación de densidad media. Los contenidos de humedad en equilibrio evaluados entre los tableros, se encuentran en un rango promedio de 7.76 a 8.75%. La absorción de humedad que presentaron los tableros mostró que a mayor espesor mayor porcentaje de absorción se registra. En flexión estática, se obtuvo un valor más alto en el ELP en los tableros de 12 mm, siguiendo los tableros de 19 mm y posteriormente los tableros de 16 mm. En cuanto al MOR y MOE se presentaron los valores más altos en los tableros de 19 mm, seguidos por los de 12 mm y presentando valores más bajos los tableros de 16 mm. En el MOR los resultados de esta propiedad superan en todos los tratamientos, las exigencias de la Norma DIN, así como los valores especificados por REXCEL®. La resistencia a la tracción perpendicular a la superficie fue mayor en los tableros de 19 mm y menor en los tableros de 12 mm con valores que rebasan los valores del MOR especificados por la Norma DIN 68761. (Manzano, 2000)

Londoño, Domínguez, Cardona y Álvarez (2013), en su trabajo “Evaluación de Propiedades Físico – Mecánicas de tableros aglomerados usando diferentes formulaciones adhesivas de proteína de soya”, se emplearon como adhesivo una dispersión de proteína de soya, ayudada por un entrecruzante Poliamino Amida Epiclorhidrina (PAAE) y adicionando un agente modificante como la urea y el alcohol furfurílico. Los resultados

mostraron buena adhesión, además de un incremento en propiedades como la tracción con el uso de la proteína y el entrecruzante. La adición del modificante mostró buenos resultados en cuanto mejora la apariencia física del tablero.

En su estudio de las Propiedades de tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de *Eucalyptus urophylla* donde su objetivo era determinar las propiedades físico mecánicas del tablero. En donde los resultados fueron qué Para los tableros de densidad real de 731 kg/m3, la absorción de agua promedio a 2 y 24 horas no cumple de acuerdo a las normas, para el caso de los tableros de densidad real 831 kg/m3 cumple con la norma. La variación del espesor (hinchamiento) promedio por inmersión en agua a 2 horas para los tableros con densidad de 731 kg/m^3 no cumple con lo exigido en ambas normas, pero si cumple con los requerimientos para 24 horas. Para el caso de los tableros con densidad de 838 kg/m3 la variación de espesor a 2 y 24 horas cumplió con las normas. Respecto de las propiedades mecánicas, tanto el módulo de ruptura en flexión estática como la tensión perpendicular (adhesión interna) para ambos niveles de densidad superaron el valor mínimo aceptado en las normas, demostrando que las partículas de madera *de Eucalyptus urophylla* presentan características tecnológicas adecuadas para la fabricación de tableros de partículas de densidad media. (Rangel, Moreno, Trejo y Valero, 2017)

2.1.2. A Nivel Nacional

Tello (2006), en su trabajo Caracterización Tecnológica de tableros de partículas de mediana densidad elaborados con residuos de madera Marupa (*Simarouba amara*) proveniente de la plantación de Jenaro Herrera y Bosque Natural. Se analizaron la influencia de la edad de la madera de 16 y 27 años. Se evaluaron las propiedades mecánicas y físicas: flexión, tracción, densidad, hinchamiento y absorción; siguiendo la metodología de las Normas DIN. Donde los resultados fueron:

- Se obtuvieron valores de densidad de tablero por debajo de las densidades teóricas preestablecidas, esto afecta a las propiedades del tablero ya que evidencia que no hubo una adecuada compactación del “mat” o colchón.
- En los ensayos de resistencia a la flexión, no superaron los mínimos exigidos por las normas DIN, lo cual puede ser consecuencia de una deficiente distribución y fraguado de la resina; así como una mala calidad de las partículas.
- Los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción, éstos no superaron en promedio las normas DIN; sin embargo, existen algunas probetas de la edad de 16 años y bosque natural que superan los valores exigidos. Ello indica que los tableros muestran variaciones en la gradiente de densidad vertical, producto de una deficiente adherencia entre la resina y las partículas, y otros parámetros como la temperatura y tiempo de fraguado.
- Respecto a las propiedades físicas, tanto en el hinchamiento como la absorción, se cumple la teoría de que a menor densidad de la madera empleada el cual está relacionada con la edad, se dan mayores valores en los tableros; esto ocurre sólo para los tableros elaborados con partículas de madera de plantación.
- Luego de observar los valores obtenidos en los ensayos mecánicos y físicos, se puede concluir que la edad de la madera proveniente de plantaciones está directamente relacionada a su densidad, el cual influye en las propiedades del tablero. Sin embargo, ocurrió un comportamiento irregular con los tableros elaborados con partículas de bosque natural, lo cual distorsiono los comportamientos afirmados por estudios previos.

2.1.3. A Nivel Local

Castro, Iwakiri, Trianoski, Gonzales y Córdova (2019), en su trabajo de investigación titulada Producción de tableros de partículas con Bolaina (*Guazuma crinita* Mart) procedente de una plantación de cuatro años. En

donde se elaboraron tableros de partículas de tres capas, 12 mm de espesor y 0,65 g.cm^{-3} de densidad con madera de “bolaina” (*Guazuma crinita* Mart), de una plantación de cuatro años localizada en Neshuya, - Ucayali, Perú. Las partículas fueron encoladas con Urea Formaldehído. Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los tableros según la metodología propuesta por las Normas Europeas (EN). Los valores de masa específica y pH de la madera son los adecuados para la elaboración de tableros de partículas; el hinchamiento sin parafina a las 2 y 24 horas de inmersión en agua fue 26,45% y 36,40% respectivamente; con parafina a las 2 horas el hinchamiento disminuyó en un 5.29% sin embargo a las 24 horas de inmersión en agua el hinchamiento se incrementó en 1.88%. La flexión estática promedio sin parafina fue de 158,56 kgf/cm^2, valor cercano al encontrado con parafina. La tracción perpendicular promedio sin parafina fue de 9,89 kgf/cm^2 con un descenso de 15.46% cuando de utilizó parafina. La evaluación de los resultados obtenidos, permiten apreciar que es posible fabricar tableros de partículas con la madera bolaina blanca de cuatro años de edad.

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL PROBLEMA

2.2.1. Tableros aglomerados

Los tableros aglomerados son materiales elaborados a partir de partículas o fibras vegetales homogeneizadas, que son aglomeradas con diferentes resinas y prensadas, para brindar diferentes propiedades, dependiendo del tipo de aplicación al que vaya a ser sometidos. (Dominguez y Londoño, 2014). Una de las características más importantes de los tableros aglomerados es su resistencia a la humedad, los arañazos, golpes o suciedad, lo cual es debido a una capa de recubrimiento que confiere la resistencia requerida. (Dominguez y Londoño, 2014)

Los tableros aglomerados de partículas pueden definirse como los formados por partículas de madera u otro material fibroso lignocelulósico aglomerado con resina sintética, moldeados en forma de lámina,

solidificados y en los cuales el fraguado de la resina se logra aplicando calor y presión. La estera o lámina acabada presenta uniformidad en el plano de la hoja y la resina sintética sirve de aglutinante de las partículas. Las láminas pueden ser homogéneas o bien representar caras de mejor calidad o de distinta textura a la del alma del tablero. (Flamand, 1961)

Manzano (2000), los tableros aglomerados de partículas difieren de los tableros de fibra en que están compuestos de partículas de madera u otras substancias lignocelulósicas fibrosas aglomeradas mediante una resina sintética aglutinante. La gran evolución de la industria de las resinas sintética termo endurecibles, ha hecho posible y económico el desarrollo de toda la industria manufacturera de tableros aglomerados de partículas, En general, los tableros aglomerados de partículas presentan un aspecto bastante distinto al de los tableros de fibra, salvo en el caso de los productos muy duros, en los tableros acabados pueden apreciarse la forma y tamaño de las partículas. Aun cuando los tableros de madera aglomerada no se fabrican en una gama de densidades (relación peso seco/volumen normal) tan amplia como los de fibra, cabe clasificarlos atendiendo a sus diferentes densidades en la forma que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los tipos de tableros según Flamand (1961).

Tableros de madera aglomerada	Densidad (g/cm^3)
De baja densidad o aislantes	0.25 – 0.40
De densidad media	0.40 – 0.80
De gran densidad o duros	0.80 – 1.2

2.2.2. Clasificación

Entre las principales formas de clasificación de los tableros aglomerados de partículas con respecto a la diversidad de tipos se encuentran: el tamaño de las partículas, tamaño de las partículas en las superficies y en el centro y la densidad del tablero. Así, FAO (1959) presenta la clasificación de la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los diferentes tipos de tableros y sus valores correspondientes.

Propiedad	Valor	Unidad
*Tableros de madera (tipo) aglomerada Tipo aislante		
Densidad	0.25 -0.40	g/cm^3
Módulo de ruptura	15-55	kg/cm^2
Módulo de elasticidad en flexión	1700-8800	kg/cm^2
Resistencia a la tracción paralela a la superficie	15-35	kg/cm^2
Absorción de agua (inmersión 24 h.)	15-60	% peso
Hinchamiento	5-15	% vol.
Expansión lineal (inmersión 24 h)	0.50	%
*Tableros de madera aglomerada de densidad media		
Densidad	0.40-0.80	g/cm^3
Módulo de ruptura	100-500	kg/cm^2
Módulo de elasticidad en flexión	10000-50000	kg/cm^2
Resistencia a la tracción paralela a la superficie	50-250	kg/cm^2
Absorción de agua (inmersión 24 h.)	20-75	% peso
Hinchamiento	5-15	% vol.
Expansión lineal (inmersión 24 h)	0.2-0.6	%
*Tableros de madera aglomerada tipo duro		
Densidad	0.80 - 1.05	g/cm^3
Módulo de ruptura	200- 530	kg/cm^2
Módulo de elasticidad en flexión	28000 - 70000	kg/cm^2
Resistencia a la tracción paralela a la superficie	20 - 175	kg/cm^2
Absorción de agua (inmersión 24 h.)	15 - 40	% peso
Hinchamiento	15 - 40	% vol.
Expansión lineal (inmersión 24 h)	0.85	%

Fuente: FAO (1959), tomado de Becerra (1976).

- **Tableros de partículas**

Los tableros de partículas, como su nombre lo indica, son materiales elaborados a partir de partículas de madera aglomeradas con diferentes tipos de adhesivos a altas temperaturas y presiones (Kelly, 1997). A continuación, en la figura 1. Se muestra un tablero de partículas.



Fuente: Domínguez y Londoño (2014).

Figura 1. Tablero de partículas.

Dependiendo del tamaño de las partículas, la orientación y disposición de las mismas, los tableros pueden tener una nueva clasificación (figura 2). Los Tableros OSB, también conocidos por su sigla en inglés como Oriented strand board son materiales elaborados a partir de virutas de gran tamaño orientadas paralelamente a la superficie del tablero. Normalmente, constan de varias capas homogéneas.



Fuente: Domínguez y Londoño (2014).

Figura 2. Tablero OBS.

Existen además tableros que usan aserrín o partículas de menor tamaño; estos se pueden configurar en una sola capa o en tres capas (figura 3). Como aglutinantes, se empelan resinas sintéticas o naturales, siendo las sintéticas las más usadas debido a las propiedades físico-mecánicas que éstas le brindan a los tableros (Arriola, 2003). Los tableros son prensados de forma que la densidad oscile alrededor de 0,65 g/cm^3 (Vignote y Martínez, 2005). Los tableros una capa las virutas son de tamaño semejante y están distribuidas de manera uniforme, resultando una superficie relativamente basta por lo que no admite bien ningún acabado, mientras que el de tres capas tiene el núcleo formado por virutas dispuestas entre dos capas exteriores de partículas muy finas de alta densidad y con alta proporción de resina, lo que da lugar a una superficie muy suave y apta para recibir la mayor parte de los acabados y recubrimientos. (Buenaventura, 1982)



Fuente: Domínguez y Londoño (2014).

Figura 3. Tablero de una y tres capas.

- **Tableros de fibra**

Los tableros de fibra son fabricados mediante la compresión de fibras de madera que han sido refinadas previamente (ver figura 4). De acuerdo a la densidad estos se clasifican en tableros de densidad media (MDF) y tableros de densidad alta (HDF). Pueden ser aglomerados utilizando resinas sintéticas o productos naturales, o mediante procesos termo mecánicos a altas temperaturas (Muttil, y otros, 2014). Estos paneles

se fabrican mediante un proceso con fibra seca y sus espesores pueden variar desde 2,5 mm a más de 40 mm. Las propiedades de los paneles de MDF dependen de las fibras utilizadas y el adhesivo que se usa para que se unan. (Halvarsson, Edlund y Norgrena, 2008)

Estos tableros son utilizados generalmente en una variedad de aplicaciones no estructurales, tales como muebles, laminados, lienzo de pintura, base para maquetas, posters, puzles, puertas de armarios, entre otros. (Bowyer, Shmulsky y Haygreen, 2007)



Fuente: Domínguez y Londoño (2014).

Figura 4. Tableros de fibra.

Además de los tableros de fibras y de partículas, estos materiales se pueden clasificar de diferentes maneras, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los tableros aglomerados tomado de Pascual Cortés (2013).

Clasificación	Tipo de tablero	Características
Por densidad	Ligero	250-450 kg/m^3
	Semipesado	451-750
	Pesado	>750
Por acabado	Lijado	
	No lijado	
	Revestido	
Por tratamiento	Hidrófugo	Resistente a la humedad
	Ignífugo	Resistente al fuego

2.2.3. Adhesivos para tableros aglomerados

2.2.3.1. Generalidades

Generalmente los adhesivos están conformados por dos o más componentes; un enlazante, el cual contiene las moléculas activas que interactúan con las superficies con la que estarán en contacto, un solvente o agente dispersante (generalmente es agua) que permite humedecer las superficies, y por último un agente entrecruzante, que reacciona con las moléculas del adhesivo y de la superficie o sustrato, buscando que éstas se conecten. (Cardona, 2013)

Los adhesivos pueden ser de diferente naturaleza: poliméricos, cerámicos, entre otros. Los materiales poliméricos se pueden clasificar a su vez en sintéticos, tales como resinas termoplásticas, resinas termoestables y compuestos elastómeros; y naturales tales como proteínas de origen animal y vegetal (caseína, sangre, soja), extractos lignocelulósicos, taninos, entre otros. (Charles, 2012 y Ebnesajjad, 2011)

Entre las diversas aplicaciones que se le pueden dar a los adhesivos en las diferentes industrias, se destacan la producción de muebles, gabinetes, construcción de casas, tableros de mesa, consolas de juegos electrónicos, mesas de tenis de mesa, estanterías, mesa de oficina y muchos otros productos. (Prasittisopin, 2009)

2.2.3.2. Clasificación de los adhesivos

- **Adhesivos naturales**

Los adhesivos naturales son aquellos que se extraen de la naturaleza, vegetales o animales, algunos de estos adhesivos son, el almidón, las colas de caseína, el caucho natural, la dextrina y el colágeno. Los adhesivos naturales fueron los primeros pegamentos que se descubrieron y se utilizaron en la historia y evolución de los adhesivos, Asociación española de fabricantes de colas y adhesivos (citado por

Domínguez y Londoño, 2014; Verdezoto, 2016). Los egipcios utilizaban los adhesivos de almidón, caseína y azúcar para unir las hojas de papiro. Una de las mayores fuentes para la elaboración de adhesivos naturales son las proteínas de origen vegetal, disponibles a partir de cultivos tales como la yuca, la papa, la soya y el trigo. Los adhesivos naturales presentan varias ventajas ambientales, pero deben ser mejorados para igualar las características de los aglutinantes tradicionales. (Dominguez y Londoño, 2014).

- **Adhesivos sintéticos**

Los adhesivos sintéticos son utilizados en la industria dedicada a la elaboración y desarrollo de derivados del petróleo, se clasifican en resinas termoplásticas (son moldeadas por calor y presión y pueden ser re ablandadas y nuevamente prensadas), resinas termoestables (se moldean por calor y presión, pero no pueden ser re ablandadas y prensadas, son resinas infusibles), y resinas elastoméricas según la naturaleza del polímero. (Dominguez y Londoño, 2014)

La industria ha utilizado tradicionalmente resinas a base de formaldehído, como urea formaldehído (UF), melanina-formaldehído (MF) y fenol-formaldehído (PF) (Dominguez y Londoño, 2014). Se usan principalmente por las propiedades fisicoquímicas que presentan, ya que al entrar en contacto con materiales a base de madera brindan a estos una disminución en la afinidad por el agua, incrementando de esta manera las propiedades físico-mecánicas de los mismos. (Dominguez y Londoño, 2014).

- **Cola sintética ultra rápida**

Producto para uso profesional con formulación de última generación. Cola de pegado muy rápido. Indicado para la unión de todos los tipos de madera, contra placados, puertas, aglomerados, machihembrados y todo tipo de mueble de madera, carpintería y ebanistería.

- Sólidos: 49,5-51%.

- Aplicación: brocha, espátula dentada y rodillo.
- Secado: prensa 30 – 120 minutos.
- Presión: presionar ambas superficies, prensas, abrazaderas u objetos pesados.
- Rendimiento teórico: 160 a 200 g/^{2}
- Vida útil: 09 meses.

2.2.4. Usos de tableros aglomerados

2.2.4.1. Aplicaciones de los tableros aglomerados de partículas según su densidad

- **Tableros de baja densidad o aislantes**

La fabricación o el aprovechamiento de los tableros aglomerados de partículas tipo aislante son limitados hasta la fecha, este tipo de tableros puede considerarse rival del tablero aglomerado de partículas de densidad media o del tablero de fibra aislante en alguna de sus aplicaciones corrientes. Por ser ligero de peso y eficaz aislador del calor, se tenderá a emplearlo cuando estos factores constituyan consideraciones importantes y resulte superflua la mayor resistencia de los tableros más duro. (Flamand, 1961; citado por Manzano, 2000)

Algunas propiedades que pueden afectar la utilización de los tableros aglomerados de partículas tipo aislante para almas de piezas son la resistencia al desplazamiento lateral y la resistencia a la extracción de tornillos y a otros elementos de sujeción mecánica. Debido a su porosidad superficial, los tableros aglomerados de partículas tipo aislante resultan eficaces para absorber las ondas sonoras, por lo que es probable que se empleen en gran escala para acabado de interiores en casas y otros edificios en que es necesario el tratamiento acústico. Todo induce a creer que este tipo de tablero será objeto del máximo aprovechamiento en el ramo de la construcción. (Manzano, 2000)

- **Tableros de densidad media**

Casi todas las aplicaciones de los tableros aglomerados de partículas han girado y siguen girando en torno a los productos de densidad media. En términos generales, los tableros con esta densidad se emplean como material para almas o para paneles cuando sólo hace falta una resistencia y rigidez moderadas. Hasta la fecha se aprovechan principalmente para interiores, es decir, en condiciones en que no es rigurosa su exposición a la humedad. También como alma de muebles chapados, entrepaños de escritorio, fondo de cajones, tapas de armario y cubiertas de mesa. Otro uso es para revestir muros, aunque sus principales aplicaciones esta en los acabados de interiores de techos y paredes, contrapisos, ristreles, componentes para interiores de trabajos de carpintería en general como cocinas, guarda ropa, en los almacenes, puertas corredizas en armarios y guardarropas y algunos tipos se emplean también como material d revestimiento para moldes de hormigón. (Manzano, 2000)

- **Tableros de gran densidad**

Los tableros aglomerados de partículas tipo duro se dividen en dos grupos. Unos están hechos de finos componentes de madera producidos más o menos en la misma forma que los de fibras para tableros duros corrientes, pero debido al modo en que la hojuela se refina, se forman las láminas o se prensa el tablero, la resina sintética constituye el principal agente de aglutinación. Se emplean como material especial para almas o paneles pues su densidad constituye una ventaja. Un exponente y uno de los principales usos lo constituye el procedimiento de laminación simultánea “papel de plástico” en el cual, mediante una sola operación, realizada en una prensa caliente se aplican al alma un revestimiento y refuerzo de papeles impregnados de resina. En este caso se requiere un tablero de superficie lisa, de partículas finas para eliminar el traspintado. Otro requisito que es necesario llenar y que es debido a los esfuerzos que se desarrollan cuando el plástico de papel fragua y se enfría a la

temperatura ambiente después del prensado en caliente, es el que los tableros tengan gran poder de aglutinación (tensión perpendicular a la superficie del tablero). Se han desarrollado otros usos más o menos especializados de los tableros de gran densidad, e incluso tablas para bancos de trabajo, placas para preparación de moldes en fundiciones, partes de armarios y gavetas y otros elementos de carpintería en general en que se requiere una gran resistencia a la extracción de tornillos. (Manzano, 2000)

2.2.5. Características físico mecánicas de los tableros

Densidad: Su densidad es variable dependiendo del tipo de partícula, normalmente varían de 600 a 680 kg/m^3. (Consejo Superior de Arquitectos, 2011 y «Tableros de partículas», 2011)

Contenido de humedad: Se suministra con un contenido de humedad comprendido entre el 5 y el 13%. (Consejo Superior de Arquitectos, 2011)

Salvador (2019), la Resistencia a la flexión (kg/cm^2) para grosor (mm) de 5 – 13 su resistencia a la flexión es de 200 kg/cm^2, para grosor de 13 – 20 mm su resistencia a la flexión es de 180 kg/cm^2, para grosor de 20 – 25 mm su resistencia a la flexión es de 160 kg/cm^2 y para grosor de 25 – 40mm su resistencia a la flexión es de 120 kg/cm^2.

La resistencia a la tracción para grosor de 5 – 13 mm su resistencia a la tracción es de 4 kg/cm^2, para grosor de 13 – 20 mm su resistencia a la tracción es de 3.5 kg/cm^2, para grosor de 20 – 25 mm su resistencia a la tracción es de 3.2 kg/cm^2 y para grosor de 25 – 40mm su resistencia a la tracción es de 2 kg/cm^2. (Salvador, 2019)

Hinchazón (inmersión en agua) para grosor de 5 – 40 mm es de 6%. (Salvador, 2019)

2.2.6. Descripción de la *Guazuma crinita* (bolaina blanca)

2.2.6.1. Aspectos taxonómicos

Según Mostacero, Mejía y Gamarra (2002), la clasificación es la siguiente:

Clase: Dicotyledoneae
Orden: Malvales
Familia: STERCULIACEAE
Género: *Guazuma*
Especie: *Crinita*
Nombre común: Bolaina blanca

2.2.6.2. Características de la madera *Guazuma crinita* Mart (bolaina blanca)

Describe a la especie de la bolaina blanca (Rosa Melania y Javier Juan De Dios, 2017), como se muestra a continuación:

Altura total de 20 a 25 m., altura comercial de 25 m., D.A.P. de 50 cm., corteza externa lisa y luego agrietada afirmada superficialmente, de color grisáceo pálida o casi negruzca.

Poros visibles a simple vista, solitarios redondeados y múltiples radiales, porosidad difusa, disposición radial, parénquima apotraqueal, paratraqueal y radios medianos visible a simple vista, promedio de radios/5 mm mucho, altura de radios más de 1 mm, no estratificados, anillos de crecimiento diferenciados.

Es una madera de fácil aserrío; se comporta bien al cepillado, mucho mejor cuando se reduce el ángulo de ataque en los tres planos de corte. Tiene un buen comportamiento al lijado, taladrado y moldurado. La trabajabilidad es moderada. Es una madera estable y de buen comportamiento al secado.

Como madera redonda para la construcción de viviendas, revestimiento de viviendas y en cielo raso, se asierra para construcción de interiores. Carpintería en general: Cajonería, laminado, juguetería, palos de fósforo, paletas de consultorios médicos, palitos de helados.

2.2.6.3. Características tecnológicas y físicas

La *Bolaina blanca* es una madera liviana, que presenta contracciones lineales medias y la contracción volumétrica estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría baja con la categoría media. Sus propiedades físicas son de Densidad básica 0.41 g/cm^3, Contracción tangencial 5.50%, Contracción radial 3.50%, Contracción volumétrica 10.75% y Relación T/R 1.60. Con propiedades mecánicas de valores como Módulo de elasticidad en flexión 97,860 kg/cm^2, una partícula de forma óptima corresponde a un elemento plano cortado paralelamente a la dirección de las fibras, cuya relación entre longitud y espesor afecta la buena transmisión de la resistencia de la madera al tablero. Módulo de rotura en flexión 507.00 kg/cm^2, Compresión paralela (RM) 270.60 kg/cm^2, Compresión perpendicular (ELP) 50.91 kg/cm^2, Corte paralelo a las fibras 50.59 kg/cm^2, Dureza en los lados 303.43 kg/cm^2, Tenacidad (resistencia al choque) 0.98 kg-m. (INIA, s.f)

2.2.6.4. Factores que influyen en la propiedad del tablero

La especie y su densidad: Maloney (1977) citado por (Tello Cochache, 2006), indica que todas las variables presentes en el proceso de elaboración de tableros, la especie es una de las más significativas ya que interactúa con otras variables de proceso e influyen en la gravedad específica del tablero, la formulación de la resina y la humedad del tablero. Señala que se prefiere rangos de densidad entre 0.30 a 0.50 g/cm^3 por su mejor comportamiento a la compactación.

Moslemi (1974), citado por Tello (2006), agrega que entre las características inherentes a la especie deben destacarse la influencia de la

densidad de la madera, pH, humedad y contenido de extractivos, señalando la de mayor importancia a la densidad de la madera. De tal modo que para una misma densidad de tablero se obtienen mejores valores de módulo de ruptura (MOR) cuando se trabaja con partículas de maderas de menor densidad.

Geometría de las partículas: Es importante conocer la relación que existe entre el tamaño de partículas y las propiedades de los tableros, ya que se pueden cambiar las propiedades de los paneles con sólo cambiar las características geométricas de las virutas, como su longitud y espesor.

Una partícula de forma óptima corresponde a un elemento plano cortado paralelamente a la dirección de las fibras, cuya relación entre longitud y espesor afecta la buena transmisión de la resistencia de la madera al tablero. (Poblete, 1979; citado por Tello, 2006)

De este modo, la resistencia a la flexión puede ser mejorada al aumentar la longitud de las partículas (Ginzel y Peraza, 1966) citado por (Tello, 2006), mientras que un aumento del espesor de las virutas favorece la tracción, disminuyendo simultáneamente la flexión. (Poblete, 1985; citado por Tello, 2006)

La forma y el tamaño de las partículas: Influye en la superficie encolable. Esto significa una mayor superficie de encolado al disminuir el tamaño de la partícula, obteniéndose para una misma cantidad de adhesivo un encolado defectuoso o insuficiente. Otro factor negativo es la superficie rugosa del material que disminuye el área de contacto entre “los gránulos”. (Ginzel y Peraza, 1966; citado por Poblete, 1979 y Tello, 2006)

El tipo y forma de la partícula es determinante en cuanto a la calidad del panel a producir, la resistencia del aglomerado depende de la propia resistencia de la partícula y de su capacidad para transmitir la misma al panel. La resistencia de la partícula depende fundamentalmente de su peso específico y su capacidad de transmisión depende del tipo y forma de aplicación de la cola, así como de las características de las partículas. La

relación longitud/espesor denominándolo “coeficiente de esbeltez”. (Ginzel y Peraza, 1966; citado por Medina y Ambrogi, 1994 y Tello, 2006)

Características de los adhesivos: Referente a este tema (Moslemi, 1974; citado por Tello, 2006), indica que actualmente los elementos aglomerantes utilizados en la fabricación de tableros de partículas, corresponden a productos sintéticos derivados principalmente del petróleo; éstas corresponden a los polímeros de urea formaldehído y fenol-formaldehído. El de más uso industrial es la urea formaldehído por su bajo costo, versatilidad y facilidad de aplicación.

Según, Poblete (1979) citado por Tello (2006), los adhesivos de urea-formaldehído son formulados para fraguados en altas temperaturas y para temperatura ambiente, correspondiendo su formulación a copolímeros de urea y formaldehído que, por cambios de estructura y eliminación del medio portador, generalmente agua, producen el fraguado. Es común la aplicación de catalizadores a los adhesivos ureicos, ya que el fraguado es acelerado cuando ocurre en un medio ácido. Los adhesivos de urea-formaldehído cuya formulación es de fraguado a alta temperatura, 8 y 9 requieren temperaturas entre 120 y 160 °C, debiendo mantenerse ésta hasta que el centro del tablero haya alcanzado 100 °C.

El contenido de sólidos de la resina y la temperatura de aplicación tiene pocos efectos en la fuerza y estabilidad de los tableros. Generalmente, los mejores resultados se obtienen con altos contenidos de sólidos y temperatura ambiente. La viscosidad, el cual está directamente relacionada al contenido de sólidos y la temperatura, tiene ligeros efectos en las propiedades, aun cuando cambios drásticos se hacen al reducir la viscosidad. (Lehmann, 1965; citado por Tello, 2006)

Encolado de las partículas: El factor más importante en la fuerza y estabilidad de los tableros es la distribución de la resina. Una fina atomización y un adecuado período de aplicación son los factores más importantes para controlar la óptima distribución de la resina; produciendo así tableros de alta calidad. (Lehmann, 1965; citado por Tello, 2006)

Estudios realizados por Kelly (1977) citado por Tello (2006), afirma que durante el encolado las virutas se mantienen en agitación, produciendo con ello el total recubrimiento de las virutas con una delgada película de cola. Esta película va a depender del sistema de inyección usado, así como el tamaño de las partículas. Otro efecto durante el encolado es el aumento del contenido de humedad de las virutas, puesto que las resinas se aplican mediante aspersión de emulsiones en soluciones acuosas. (Moslemi, 1974; citado por Tello, 2006)

Señala que para las mismas cantidades de resina aplicada, la disponibilidad de resina por unidad de área de partículas está en función de su área superficial específica, o sea, una superficie más densa presentará menor área superficial específica y, por tanto, la mayor disponibilidad de resina por unidad de área de partículas. (Moslemi, 1974 citado por Santillán y Canchucaja, 2007 y Tello, 2006)

Para, Maloney (1977) citado por Tello (2006), el nivel de resina aplicado a las partículas, ya sea en base a su peso anhidro o en base a la superficie específica depende del tipo de resina usado. Cuando se emplea urea formaldehído, normalmente la aplicación se hace en soluciones acuosas, concentradas entre 40 y 70%, aplicándose en rangos de humedad entre 4 y 6% y, en niveles que varían entre 6 y 10% en base al peso anhidro de las virutas.

Actualmente la mayoría de las fábricas encolan las partículas mediante la pulverización, este sistema permite que las partículas estén en contacto unas con otras, repartiendo la cola mediante la dispersión que sufren en las pulverizaciones de aire a presión; de esta forma las gotitas de cola se adhieren a la superficie de las partículas, constituyendo una película uniforme y continua. (Ginzel y Peraza, 1966; citado por (Tello, 2006). Por lo tanto, el uso de virutas homogéneas asegura un encolado uniforme.

Finalmente mejorando el método de suministro y distribución de la resina se puede obtener un mejor producto al que se está fabricando sin incrementar el contenido de resina, con el cual se incrementaría la calidad

sin incremento del costo del tablero. (Lehmann, 1965; citado por Tello Cochache, 2006)

Prensado con temperatura: En este punto se debe tener en cuenta el contenido de humedad del colchón, la velocidad de cierre de la prensa, el tiempo de prensado y la temperatura; siendo éstas las condiciones de prensado más significativas que afectan las propiedades del tablero (Kelly, 1977) citado por (Tello, 2006). El mismo autor señala que en la operación de prensado se consolida a la partícula de madera al espesor deseado y polimeriza el sistema de encolado entre las partículas individuales; la primera función elimina mucho de los vacíos de las planchas y comprime las estructuras de la madera, la última función asegura la retención de una masa sólida cuando se quita la presión.

Maloney (1977) Citado por Tello (2006), indica que, si el contenido de humedad del colchón es más alto que el convencional, los problemas de delaminación aumentan, debido a la mayor presión que ejerce el vapor en el pegamento, afectando la polimerización del adhesivo. Para contrarrestar los problemas de delaminación, es necesario prolongar el tiempo de prensado de los tableros.

Añadiendo, Kelly (1977) citado por Tello (2006), indica que el contenido de humedad actúa directamente sobre la resistencia de la madera a la compresión, la cual en presencia de una temperatura alta se torna en un material plástico y por lo tanto ofrecerá menor resistencia a la compactación. Entre tanto un excesivo contenido de humedad interfiere en la reacción química de polimerización de la resina especialmente en las capas más internas. El mismo autor señala que el contenido de humedad óptimo se encuentra entre 11 y 15%.

La velocidad de cierre de la prensa afecta las propiedades de los tableros y están vinculadas al gradiente de densidad vertical. (Moslemi, 1974; citado por Tello, 2006)

El gradiente de densidad vertical indica que la densidad de un panel no es uniforme en la dirección del espesor (vertical), ya que depende de la

configuración de las partículas, distribución de la humedad del material que entra a la prensa, tasas de cierre de la prensa, temperatura de la prensa caliente, reactividad de la resina y la resistencia a la compresividad de las partículas. Finalmente, la densidad vertical incrementa significativamente la resistencia al curvamiento, mientras que la resistencia a la tensión perpendicular es adversamente afectada. (Kelly, 1977; citado por Tello, 2006)

La función básica de la temperatura en el prensado de tableros de partículas es polimerizar el adhesivo y densificar el material al espesor deseado. La densificación se produce por el contacto entre las partículas; mientras se eleva la temperatura de los platos, disminuye la tensión superficial de los adhesivos, facilitando la penetración de éste en la madera. (Moslemi, 1974 citado por Tello, 2006)

La aplicación de presión y temperatura no sólo acelera el fraguado, sino que logra mejorar la eficiencia del adhesivo, lo que permite que se puedan aplicar menores cantidades. (Malone, 1977; citado por Tello, 2006)

La temperatura de prensado no debe ser superior a 210 °C, ya que por sobre esta temperatura se pueden producir cambios de estructura en la madera y que, en todo caso la temperatura de prensado debe ser inferior a 130 °C (Moslemi, 1974; citado por Tello, 2006). Recomienda temperaturas de prensado entre 135 °C a 160 °C para adhesivos fenólicos, y 120 °C para adhesivos ureicos, debiendo mantenerse esta temperatura durante un tiempo de dos a tres minutos. (Poblete, 1979; citado por Tello, 2006)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Adhesivos**: Un adhesivo es una sustancia utilizada para unir la superficie de materiales sólidos a fin de otorgarles diversas propiedades tales como flexibilidad, dureza, resistencias a la tracción, resistencia química, entre otros. (Ebnesajjad, 2011)

- **Aserrín:** Resto del aserrío en las industrias de transformación mecánica de la madera de diámetro no superior a 3.5 mm. El aserrín es el desperdicio del proceso de aserrado de la madera, como el que se produce en un aserradero (Hernandez, 2000). Los residuos forestales, sobre todo el aserrín, son altamente contaminantes para el medio ambiente. (Arostegui, 1990)

- **Bolainero:** Personas dedicadas al rubro de la venta de especies netamente de bolaina blanca. (Trujillo, 2021)

- **Densidad:** Es la relación entre el peso y volumen de la madera a un determinado contenido de humedad. (Norma Técnica Peruana - NTP 251.001, 2003)

- **Residuos forestales:** Los residuos forestales son aquellos que se producen como consecuencia de actividades forestales principalmente destinadas al aprovechamiento de la madera. Los residuos forestales, pueden proceder por una parte del mantenimiento y mejora de las montañas y masas forestales, cuando se hacen podas, limpiezas, etc. y, por otra, de los residuos resultantes de cortar los troncos de los árboles para hacer productos de madera. (Ochoa, 2014)

- **Tuco:** Secciones (trozas) del árbol de bolaina blanca producto del aserrado. (Trujillo, 2021)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El método utilizado en la investigación fue tipo experimental, porque la variable proporción de cola varió a voluntad del investigador y las otras variables permanecieron constantes.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población para el análisis de las propiedades físicas y mecánicas fue una población finita, lo constituyeron todos los tableros fabricados de 25 cm x 25 cm es decir 12 tableros por cada proporción de cola haciendo un total de 36 tableros aglomerados.

- 12 tableros aglomerados donde se aplicó el 20% de cola en relación al peso total de la viruta.
- 12 tableros aglomerados donde se aplicó el 25% de cola en relación al peso total de la viruta.
- 12 tableros aglomerados donde se aplicó el 30% de cola en relación al peso total de la viruta.

3.2.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 6 tableros aglomerados de 25 cm x 25 cm por proporción de cola, elegidos al azar, haciendo un total de 18 tableros aglomerados para todas las propiedades físicas y mecánicas.

3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Obtención del aserrín

Para la elaboración de los tableros aglomerados se utilizó la viruta originados durante el cepillado y garlopado de las tablillas de la madera de *Guazuma crinita* Mart. (bolaina blanca). Se verificó que esté limpio, que no esté combinado con otros compuestos, para el fácil transporte se utilizó costales para acumular la viruta necesaria.

3.3.2. Tamizado de las partículas

Se separó las partículas más finas de las partículas más grandes mediante el tamizado. El orden de los tamices fue 9,5mm; 6,30mm; 3,35mm y 850 µm. Las partículas que se utilizó fueron los que pasaban del último tamiz. Total se tamizó 18 kg.

El objetivo de esta etapa fue asegurar que el adhesivo utilizado sea aprovechado por las partículas de madera del tamaño elegido. Fue importante esta determinación ya que el tamaño de las partículas afecta a la mayoría de las propiedades físico – mecánicas del tablero y del encolado (Jiménez, 2013).

3.3.3. Secado de la viruta

Una vez obtenido las cantidades necesarias de viruta para la elaboración de los tableros, estas fueron puestas en una estufa a 103 °C ± 2 °C hasta obtener peso constante de 12% CH. Se almacenan en bolsas de plástico para evitar absorción de humedad del medio (Jiménez, 2013). En esta etapa se volvió a verificar que la viruta no esté combinada con otros materiales.

3.3.4. Formación del colchón y encolado de las partículas

Una vez pesada la cantidad de viruta (200 gr/molde) y % de adhesivo correspondiente estas fueron depositadas sobre un molde de metal con las

dimensiones del tablero con dimensiones 25 cm x 25 cm y de 7cm de espesor. El encolado de las partículas se realizó de manera manual hasta conseguir la correcta dispersión de la cola en el tablero.

El adhesivo utilizado fue la “Cola sintética ultra rápida”, en la cual es un producto muy utilizado en el medio local en los trabajos de carpintería, ebanistería y todo tipo de muebles. Una de sus características es que tienen 49,5% - 51% de sólidos, además es de fácil aplicación y tiene un rendimiento de 160-200 g/m^2.

Se aplicó este adhesivo por su fácil accesibilidad en el mercado “ferreterías” de la ciudad de Pucallpa para evitar demoras en la ejecución del trabajo de investigación, previamente fue consultado a carpinteros e ingenieros sobre su aplicación en tableros aglomerados.

3.3.5. Prensado

El prensado del colchón de partículas se hace en una prensa hidráulica de platos calientes (Jiménez et al., 2016) a 20 bares (20.39 kgf/cm^2 o 300 psi) y una temperatura de 130 °C con un tiempo de prensado de 15 minutos.

3.3.6. Elaboración de probetas

- **Para ensayos físicos**

Para los ensayos físicos como contenido de humedad, densidad, absorción de agua, hinchamiento y expansión lineal, se prepararon dos probetas por tablero aglomerado de 50 mm de largo por 50 mm de ancho de tableros con espesores menores de 20 mm adecuándonos a la Norma NTP 251.071.

- **Para ensayos mecánicos**

Para los ensayos mecánicos como flexión estática se extrajeron al azar 6 probetas de los tableros de espesores menores o iguales a 20 mm,

considerando tanto el sentido longitudinal como transversal, en un 50% de cada uno. Se elaboró probetas de 450 mm de largo por 25 mm de ancho para los tableros de espesores menores o iguales a 20 mm.

Para los ensayos de compresión se elaboraron probetas de 50 mm x 50 mm y para el ensayo de dureza se elaborarán probetas de 50 mm x 40 mm, en número de 6 de cada tipo de tablero.

3.3.7. Ensayos físicos

- **Determinación del contenido de humedad**

El ensayo se realizó adecuándose a la Norma NTP 251.071:

- Se pesó las probetas (Mi).
- Se colocó las probetas en la estufa, la cual fue previamente calentada hasta 103 °C hasta que las probetas alcanzaron peso constante.
- Las probetas se retiraron de la estufa y se colocó en el desecador para que se enfrié y luego pesadas nuevamente para determinar el peso seco al horno.

- **Expresión de resultados**

El contenido de humedad en base seca de la probeta se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$H = \frac{(Mi - Mf)}{Mf} * 100$$

Dónde:

H: Contenido de humedad en porcentaje.

Mi: Masa inicial de la probeta en gramos.

Mf: Masa de la probeta seca al horno en gramos.

- **Determinación de la densidad**

El ensayo se realizó adecuándose a la Norma NTP 251.074.

- **Densidad seca al aire**

- Se midió el largo, ancho y el espesor de las probetas seca al aire expresándolos en unidades del Sistema Internacional de Unidades.
- Se pesó las probetas secas al aire.

- **Expresión de resultados**

El volumen de las probetas se calculó con la siguiente ecuación:

$$V = l \times a \times e$$

Dónde:

V = Es el volumen en cm^3.

l = Largo de la probeta en cm.

a = Ancho de la probeta en cm.

e = Espesor de la probeta en cm.

La densidad se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$D = \frac{Msa}{Vsa}$$

Dónde:

D = Densidad seca al aire de la probeta en g/cm^3.

Msa = Masa seca al aire de la probeta en g.

Vsa = Volumen seca al aire de la probeta en cm^3.

- **Densidad anhidra**

- Se midió el largo, ancho y el espesor de las probetas secas al horno expresándolos en unidades del Sistema Internacional de Unidades.
- Se pesó las probetas secas al horno.

Fórmula:

$$D = \frac{Msh}{Vsh}$$

Dónde:

D = Densidad seca al horno de la probeta en g/cm^3.
Msh= Masa seca al horno de la probeta en g.
Vsh= Volumen seca al horno de la probeta en cm^3.

- **Absorción de agua**

La determinación del porcentaje de absorción de agua dentro de 24 horas de inmersión se empleó la norma NTP 251.010., fue de la siguiente manera:

- Se pesaron las probetas antes de sumergirlos al agua.
- Después de 24 horas se volvió a pesar las probetas (húmedas saturadas).
- La fórmula para determinar la absorción de agua fue:

$$CH\% = \frac{Ph - Psh}{Psh} \times 100$$

Dónde:

Ph = Peso húmedo saturado en 24 h (g).
Psh = Peso seco al horno en (g).

- **Hinchamiento volumétrico**

Para determinar el porcentaje de variación volumétrica dentro de 24 horas de inmersión se empleó la norma NTP 251.012., fue de la siguiente manera:

- Se midió el volumen de las probetas (volumen seco).
- Se sumergió al agua durante 24 horas.
- Medir el volumen húmedo saturado.
- La fórmula para determinar el hinchamiento volumétrico es:

$$HV\% = \frac{Vh - Vs}{Vs} \times 100$$

Dónde:

HV = Hinchamiento volumétrico (cm^3).
Vh = Volumen húmedo saturado en 24 h (cm^3).
Vs = Volumen seco (cm^3).

- **Expansión lineal**

Para determinar la expansión dimensional, se tomaron los datos de absorción de agua dentro de 24 horas de inmersión, fue de la siguiente manera:

Largo

- Se midió el largo de la probeta.
- Se sumergió al agua durante 24 horas.
- Se vuelve a medir el largo de la probeta (húmedo saturado).

Ancho

- Se midió el ancho de la probeta.
- Se sumergió al agua durante 24 horas.
- Se vuelve a medir el ancho de la probeta (húmedo saturado).

Espesor

- Se midió el espesor de la probeta.
- Se sumergió al agua durante 24 horas.
- Se vuelve a medir el espesor de la probeta (húmedo saturado).

Para determinar la expansión se utilizó la siguiente fórmula:

$$EL = \frac{(Lf - Li)}{Li} * 100$$

Dónde:

EL = Expansión lineal (%) (Largo, Ancho o Espesor).
Lf = Longitud final de probeta saturada (cm).
Li = Longitud inicial de probeta seca al horno (cm).

3.3.8. Ensayos mecánicos

- **Flexión estática**

Se realizó de acuerdo a la Norma NTP 251.076:

- Las probetas se colocaron en la prensa de ensayo, teniendo el eje longitudinal paralelos al eje de los cabezales sujetas en sus extremos por dos mordazas, colocadas tanto en el cabezal fijo como en el cabezal móvil.
- Se puso en funcionamiento la prensa aplicando las cargas paralelas a la superficie de la probeta, pero en sentidos contrarios, hasta que se produzca la rotura, dándonos la fuerza máxima en kgf.
- Se midió la máxima deflexión (d) obtenida, bajo una carga inferior al tercio de la carga ruptura.
- La velocidad de ensayo, para cualquier espesor de probeta, debe ser de 8 mm/min a 10 mm/min.

- **Módulo de ruptura (MOR)**

La determinación del módulo de ruptura en kgf/cm^2 se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{1.5 * \text{carga máxima} * \text{luz entre apoyos}}{\text{Ancho probeta} * (\text{altura probeta})^2} \quad (Kg/cm^2)$$

- **Módulo de elasticidad (MOE)**

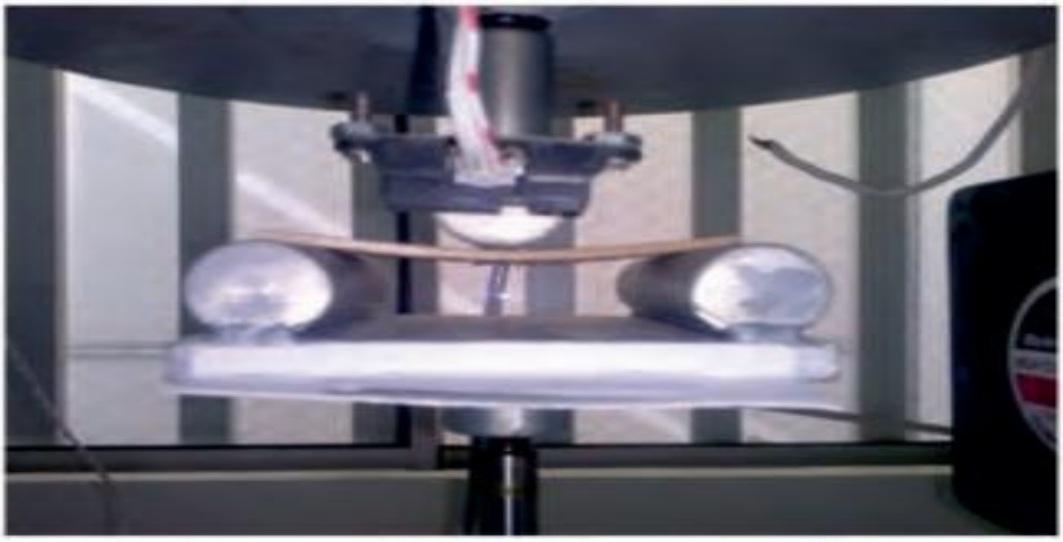
La determinación del módulo de elasticidad en kgf/cm^2 se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Módulo de elasticidad} = \frac{0.25 * (\text{luz entre apoyos})^3 * CLP}{\text{Ancho probeta} * (\text{altura probeta})^3 * DLP} \quad (Kg/cm^2)$$

Dónde:

CLP = Carga en el límite proporcional (Kg).

DLP = Deformación en el límite proporcional (cm).



Fuente: Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias (2016).

Figura 5. Prueba de flexión mecánica a tablero aglomerado.

- **Compresión a la cara del tablero**

Dimensiones de las probetas: 5cm x 5 cm x e

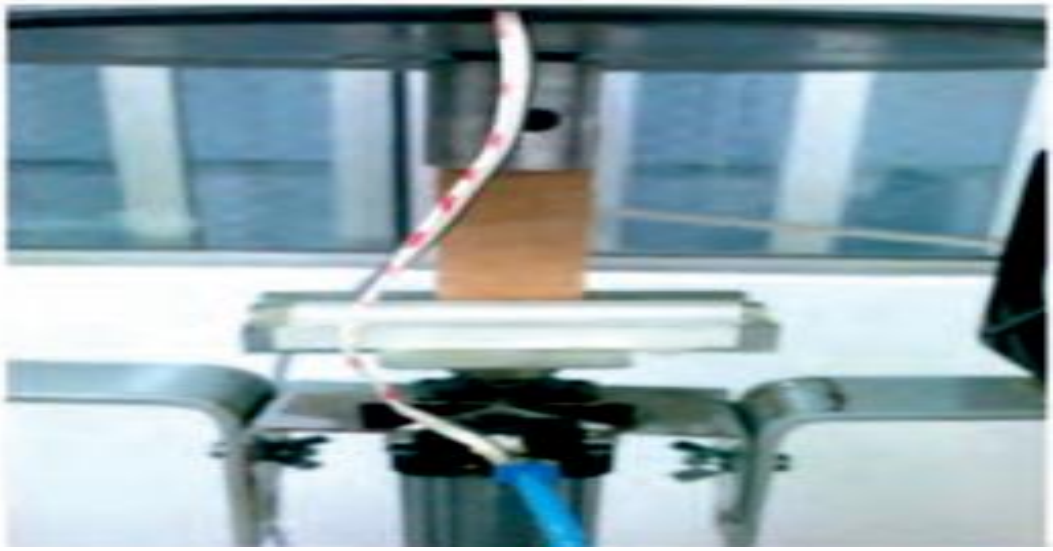
Número de probetas: 6

Procedimiento:

- Se colocó la probeta de tal forma que el centro del cabezal móvil este verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta y se aplicó inicialmente una carga pequeña, no mayor a 1KN (101,97 kgf) para acomodar la probeta.
- La carga se aplicó continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 mm/s. Se registró la lectura final de la carga máxima a la cual falla la probeta.

Fórmula:

$$\mathbf{compresión} = \frac{\mathbf{carga\ maxima\ (kg)}}{\mathbf{area}\ (\boldsymbol{cm^2})}$$



Fuente: Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias (2016).

Figura 6. Prueba de compresión a probetas de tablero aglomerado

- **Compresión al canto del tablero**

Procedimiento:

- Se colocó la probeta de tal forma que el centro del cabezal móvil este verticalmente sobre el centro de la sección transversal de la probeta y se aplicó inicialmente una carga pequeña, no mayor a 1KN para acomodar la probeta.
- La carga se aplicó continuamente durante el ensayo para hacer que el cabezal móvil de la máquina de ensayo se desplace a una velocidad constante de 0,01 mm/s. Se registró la lectura final de la carga máxima a la cual falla la probeta.

Fórmula:

$$\textbf{compresión} = \frac{\textbf{carga maxima (kg)}}{\textbf{area } (\boldsymbol{cm^2})}$$

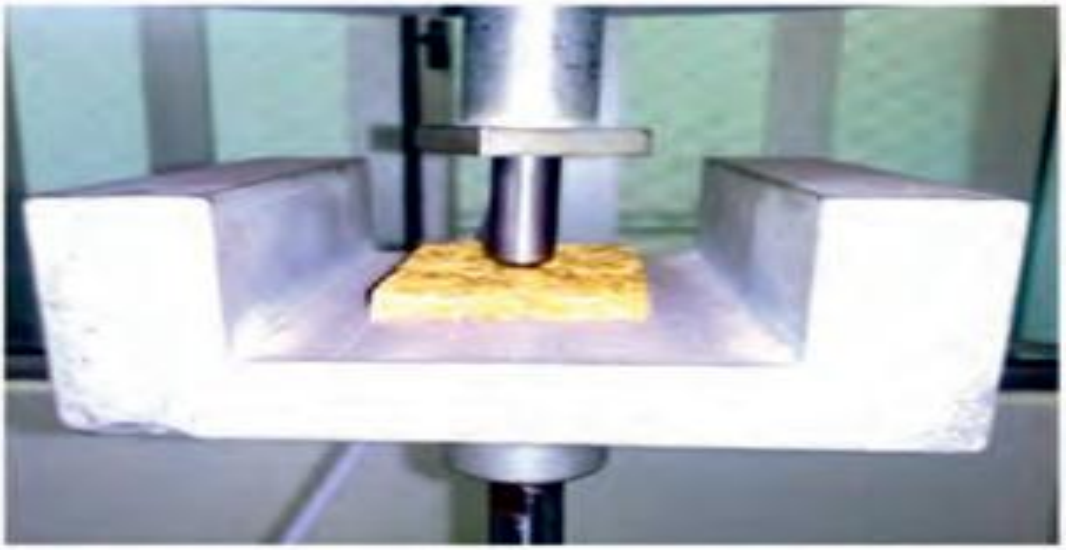
- **Dureza**

Para determinar la dureza de las probetas se aplicó la carga por medio de la bola de JANKA hasta que haya penetrado la mitad de su diámetro.

Expresión de resultados: la dureza fue determinada por la carga registrada por la máquina de ensayo en el momento de que la bola haya penetrado hasta la mitad de su diámetro.

Dimensiones de las probetas: 5 cm x 4 cm x e

Número de probetas: 6



Fuente: Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias (2016).

Figura 7. Prueba de dureza a probetas de tablero aglomerado.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas

La técnica fue la observación directa en el laboratorio de tecnología de la madera.

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos fueron: el manual de Norma Técnica Peruana (NTP), así como también antecedentes de ensayos mecánicos realizados por otros investigadores, se realizó un formato de apuntes para llevar en orden los ensayos y fórmulas para la realización de los cálculos.

3.4.3. Materiales y equipos

❖ **Fase campo**

Materiales e insumos

- Viruta de la especie *Guazuma crinita* Mart. (bolaina blanca).
- Costales.
- Tamices N° 9,5mm; 6,30 mm; 3,35 mm y 850 µm.
- Formato de apuntes.

Equipos

- Cámara fotográfica.
- Estufa.

❖ **Fase carpintería**

Materiales

- Moldes para tablero 20 cm x 20cm x 7cm.
- Cola comercial (cola ultra).

Equipo

- Prensa.
- Accesorios de la prensa.

❖ **Fase laboratorio**

Material experimental

- Probetas para ensayos mecánicos.
- Probetas para determinar propiedades físicas.

Equipos

- Calibrador milimétrico.
- Computadora.
- Estufa.

- Balanza analítica.
- Prensa universal Tinius Olsen.

3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos fueron calculados para obtener el promedio “media” de los tableros elaborados con diferentes proporciones. La media fue la principal medida de tendencia central para todas las propiedades físicas y mecánicas de los tableros elaborados. Para ver si hay variabilidad de datos se calculó el coeficiente de variación (CV).

3.6. TRATAMIENTO DE DATOS

Para establecer si existe diferencias significativas entre los promedios de cada una de las propiedades física y propiedades mecánicas de los 3 tipos de tablero aglomerado (20%, 25% y 30% de cola en relación al total del peso de la viruta del tablero) se utilizó análisis de varianza de un factor (AV1), siendo.

Factor 1: Proporciones de adhesivo
Niveles de factor: 20%, 25% y 30% de adhesivo en relación a la cantidad de viruta.
N° de tratamientos: 3 tratamientos.
N° de repeticiones: 6.
Unidad experimental: Probetas para propiedades físicas y mecánicas.

Tabla 4. Análisis de varianza.

Fuente de variación	Gl	SC	CM	F	p-Valor
Entre proporciones	p-1	SCa	CMa		
Error	Pn-p	SCr	CMr		
Total	Pn-1	t			

En el caso de encontrarse diferencias significativas se realizará prueba Tukey (0,05).

Para determinar la relación entre la proporción del adhesivo y las propiedades físicas y mecánicas de los tableros aglomerados se realizó el análisis de correlación y regresión, siendo:

- Variable independiente: Proporción de adhesivo.
- Variable dependiente: Propiedades físicas y mecánicas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Tabla 5. Resumen de las propiedades físicas de tableros aglomerados de la especie bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.).

Proporción de adhesivo	Estadígrafos	Densidad Seca al aire (g/cm^3)	Densidad anhidra (g/cm^3)	Contenido de humedad (%)	Absorción de agua 24h (%)	Hinchamiento volumétrico 24h (%)	Expansión longitudinal 24h (%)	Expansión del espesor 24h (%)
20%	X	0,23	0,23	10	210,4	109,04	11,54	76,49
	s	0,01	0,03	0,57	31,52	25,72	4,13	18,97
	CV (%)	4,34	13	5,7	14,98	23,59	35,79	24,80
25%	X	0,26	0,24	9,5	186,3	85,38	5,45	68,80
	s	0,02	0,02	1,56	22,48	24,44	5,49	21,17
	CV (%)	7,69	8,33	16,42	12,07	28,62	100,7	30,77
30%	X	0,27	0,25	8,9	155,7	65,8	3,24	53,9
	s	0,02	0,01	0,35	28,72	16,05	2,02	15,55
	CV (%)	7,41	4	3,93	18,45	24,39	62,34	28,85

En la tabla 5, se observa, el promedio de densidad seca al aire y densidad anhidra del tablero aglomerado de bolaina blanca con 20% de adhesivo es de 0,23 g/cm^3 en ambos casos con CV de 4,34% y 13% respectivamente. Además, estos tableros aglomerados presentaron un promedio en el contenido de humedad de 10% con un CV de 5,7%; absorción de agua 24 horas 210,4% con un CV de 14,98%; Hinchamiento

volumétrico 24 horas 109,04% con un CV de 25,72%; expansión lineal: longitudinal 11,54% con un CV de 35,79% y expansión en espesor 76,49% con un CV de 24,80%.

El promedio de densidad seca al aire de los tableros aglomerados con 25% de adhesivo fueron 0,26 g/cm^3 y densidad anhidra de 0,24 g/cm^3 con CV de 7,69% y 8,33% respectivamente. Además, estos tableros aglomerados presentaron 9,5% de contenido de humedad con un CV de 16,42%; 186,3% de absorción de agua en 24 horas con un CV de 12,07%; 85,38% de hinchamiento volumétrico en 24 horas con un CV de 28,62%; 5,45% de expansión lineal longitudinal con un CV de 100,7%; 68,80% de expansión lineal en espesor con un CV de 30,77%.

El promedio de densidad seca al aire de los tableros aglomerados con 30% de adhesivo es 0,27 g/cm^3 y densidad anhidra de 0,25 g/cm^3 con CV de 7,41% y 4% respectivamente. Además, estos tableros aglomerados presentaron 8,9% de contenido de humedad con CV de 3,93%; 155,7% de absorción de agua en 24 horas con CV de 18,45%; 65,8% de hinchamiento volumétrico en 24 horas con CV de 24,39%; 3,24% de expansión lineal longitudinal con CV de 62,34%; 53,9% de expansión en espesor con CV de 28,85%.

4.1.1. Densidad seca al aire

Tabla 6. Análisis de varianza de densidad seca al aire por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	0,004	2	0,002	9,919	0,002**
Error	0,003	15	0,000		
Total	0,007	17			

Respecto a la densidad seca al aire, la tabla 7 muestra los valores promedio de los tableros elaborados con 20%, 25% y 30% de adhesivo cuyos valores fueron 0,23 g/cm^3, 0,26 g/cm^3 y 0,27 g/cm^3 respectivamente;

asimismo en la tabla 6 muestra los resultados del análisis de varianza en donde indica que existe diferencias significativas entre los valores de los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Tabla 7. Prueba ce comparación de Tukey (α=0,05) de la densidad seca al aire por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Tratamientos	Medias	n	Grupos	
20%	0,23	6	A	
25%	0,26	6		B
30%	0,27	6		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

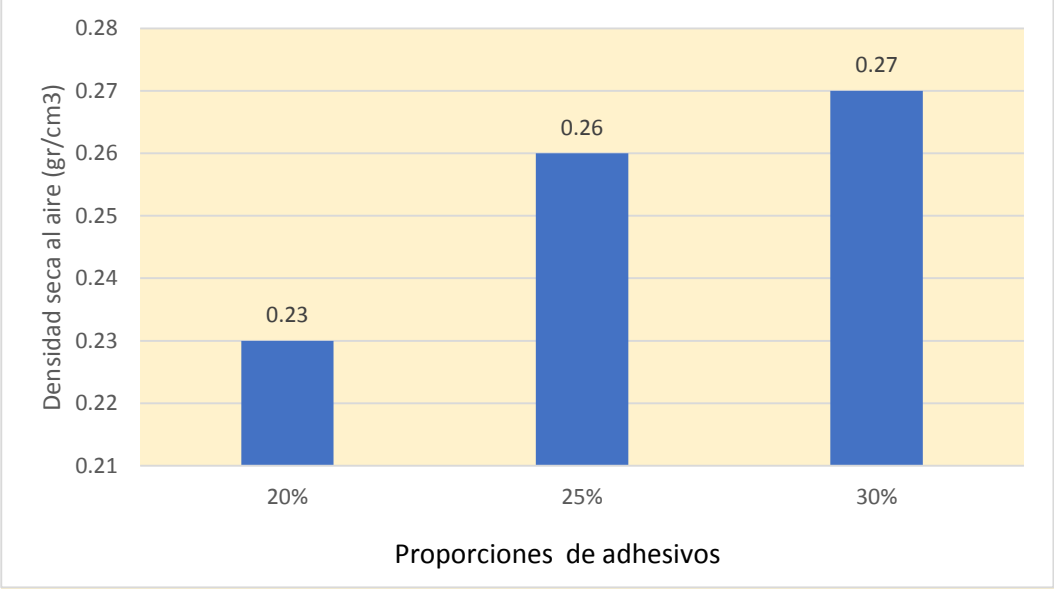


Figura 8. Promedio de Densidad seca al aire de tres tipos de tableros aglomerados.

La tabla 7, muestra que no existe diferencias significativas entre los promedios de densidad seca al aire de los tableros elaborados con proporción 25% y 30% de adhesivo, sin embargo, estos difieren significativamente del tablero aglomerado elaborado con proporción 20% de adhesivo siendo este último el que presento menor densidad seca al aire.

Los valores son menores a los de Manzano (2000), quien obtuvo una densidad de 0,79 g/cm^3 de tablero de partículas de 12 mm de espesor; 0,75 g/cm^3 con tableros de partículas de 16 mm de espesor y 0,74 g/cm^3 de tableros de partículas de 19 mm de espesor. Los tableros utilizados por (Manzano Sosa, 2000) fueron de obtenidos al azar de un almacén. Además, según sus densidades pertenecen a los tableros de densidad media (0,40-0,80 g/cm^3). (Flamand, 1961 y FAO, 1959)

También son inferiores a los obtenidos por (Cabral, Vital, Della y Pimienta (2007), quienes obtuvieron densidad de 700 kg/m^3 de tableros aglomerados de tres especies *Eucalyptus grandis, Eucalyptus urophylla e Eucalyptus cloeziana.*

De igual manera son inferiores a los valores obtenidos por Rangel, Moreno, Trejo y Valero (2017), quienes obtuvieron densidad de 731 kg/m^3 de tablero aglomerados de *Eucalyptus urophylla.*

Estos valores están en el rango establecido por Flamand (1961), quien menciona que la densidad de tableros aglomerados de especies de densidad bajas se sitúa entre 0.25 – 0.40 g/cm^3. Sin embargo, el valor obtenido está por debajo de la densidad básica (0,41 g/cm^3) y densidad al 12% (0,49 g/cm^3) de la madera de bolaina blanca.

Se debe tener presente que, para obtener tableros con propiedades adecuadas, la densidad del tablero debe ser mayor que la madera (Urzua y Poblete, 1980; citados por Poblete, Loncomilla, Inzunza, 2000). Además, un incremento en la densidad del tablero resulta en una mejor eficiencia de la resina debido a la mejora de uniones adhesivas entre partículas y adhesivo. (Gatchell, Heebink y Hefty, 1966; citado por Rangel, Moreno, Trejo y Valero, 2017)

Finalmente, Mendes, Mendes, Mendoza, Júnior y Mori (2014); citado por Rangel, Moreno, Trejo y Valero (2017), mencionan que el aumento del volumen y reducción de la densidad nominal inicial del tablero se debe a la perdida de partículas durante la formación del colchón, así

como también con el retorno en espesor de los tableros al retirarlo de la prensa y colocarlos en acondicionamiento.

4.1.1.1. Relación entre la proporción de adhesivos y la densidad seca al aire

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y la densidad seca al aire de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 8. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la densidad seca al aire.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	R_{tab} 0.05	R_{tab} 0.01	Signif.
Proporción de adhesivo Vs Densidad seca al aire	0.75	56.32	Y= 0.1611 + 0.0037X	0.400	0.662	**

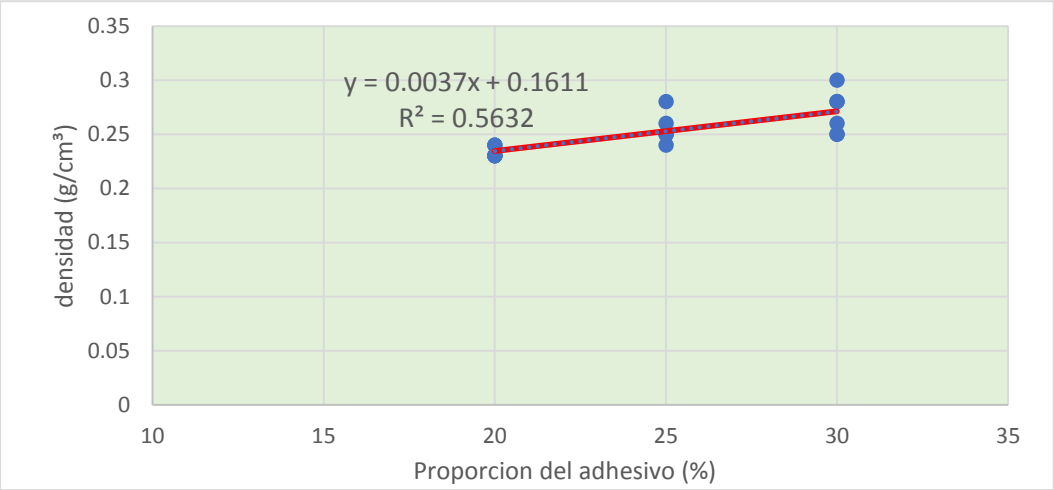


Figura 9. Relación entre las variables proporción de adhesivos y la densidad seca al aire.

En la tabla 8 y figura 9, se observan que existe una relación altamente significativa entre la proporción de adhesivo y la densidad seca al aire de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, por lo que se deduce

que la proporción de cola influye en la densidad seca al aire. La densidad seca al aire aumenta a medida que se incrementa la proporción de cola a razón de 0,0037g/cm^3 por cada 1% de incremento en la proporción de adhesivo. Además la densidad seca al aire depende en un 56,32% de la proporción de adhesivo y el 43,68% depende de otros factores como la densidad de la especie que es una de la más significativa, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.1.2. Densidad anhidra

Tabla 9. Análisis de varianza de densidad anhidra por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	0,002	2	0,001	1,810	0,198 ns
Error	0,007	15	0,000		
Total	0,009	17			

Respecto a la densidad anhidra en la figura 10, se muestra los valores promedio para los tableros aglomerados elaborados con 20%; 25% y 30% de adhesivo, cuyos valores fueron 0,23 g/cm^3; 0,24 g/cm^3 y 0,25 g/cm^3 respectivamente; asimismo, en la tabla 9 se observa los resultados del análisis de varianza, en la cual indica que no existe diferencias significativas entre los valores de los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

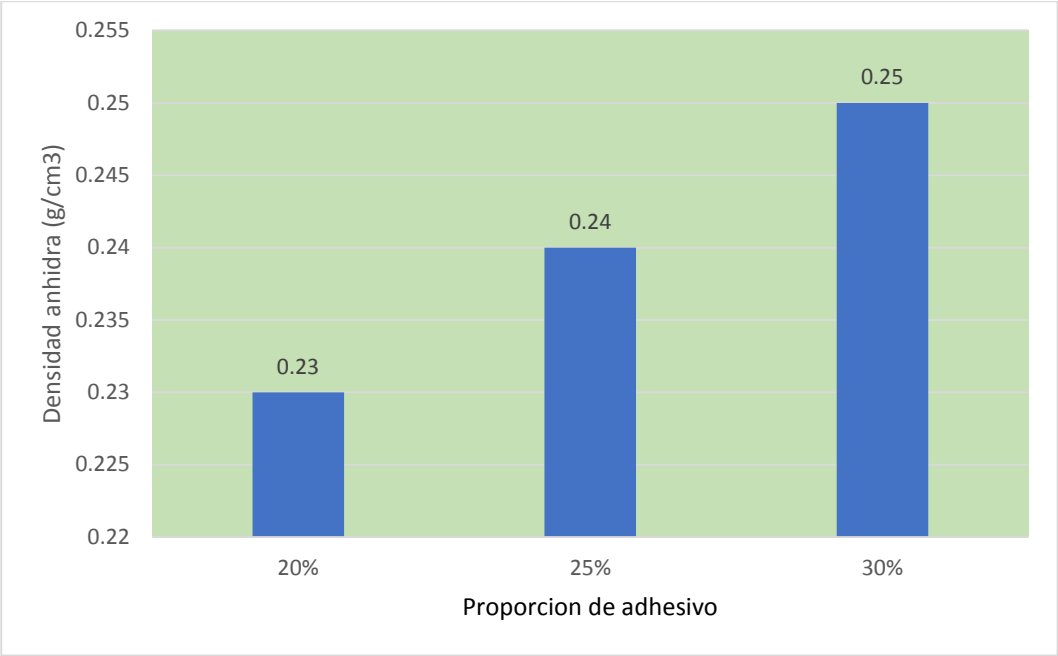


Figura 10. Promedios de densidad anhidra de tres tipos de tableros.

4.1.2.1. Relación entre las variables proporciones de adhesivo y densidad anhidra

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y la densidad anhidra de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 10. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la densidad anhidra.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Densidad anhidra	0,66	43,9	Y= 0,1479 + 0,0033X	0,400	0,662	**

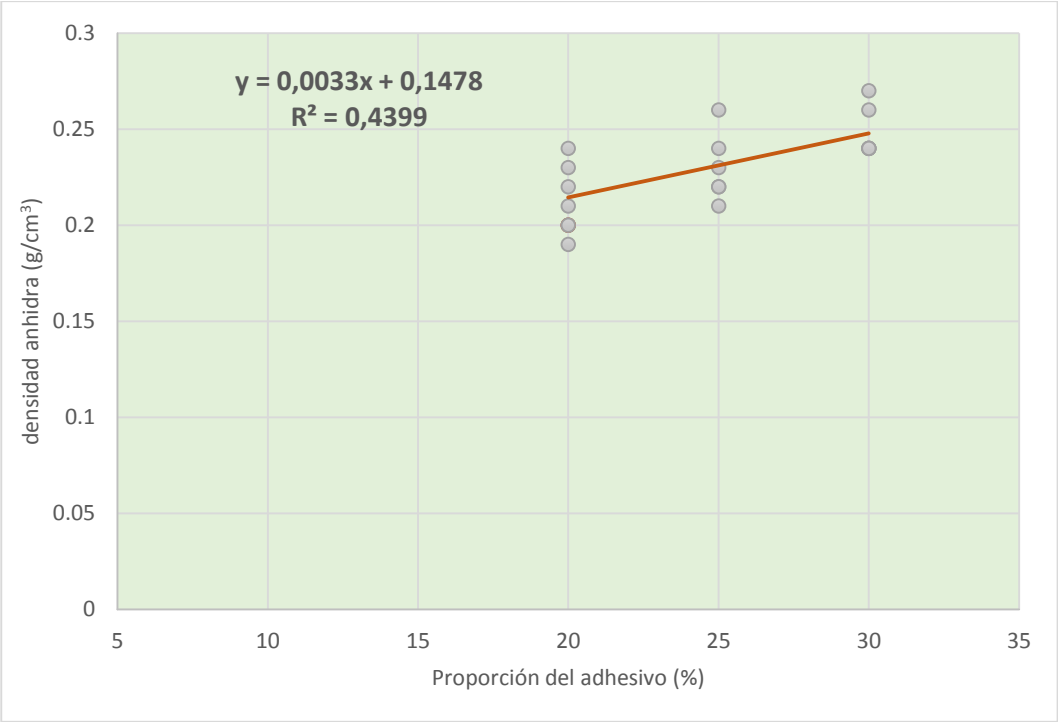


Figura 11. Relación entre las variables proporción de adhesivos y la densidad anhidra.

En la tabla 10 y figura 11, se observan que existe una relación altamente significativa entre la proporción de adhesivo y la densidad anhidra de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo influye en la densidad anhidra. La densidad anhidra aumenta a medida que se incrementa la proporción de cola, a razón de 0,0033 g/cm^3 por cada 1% de incremento en la proporción de adhesivo. Y que la densidad anhidra depende en un 43,99% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 56,01% depende de otros factores como la densidad de la especie que es una de la más significativa, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel yPeraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.1.3. Contenido de humedad

Tabla 11. Análisis de varianza de contenido de humedad por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	3,709	2	1,854	1,930	0,180 ns
Error	14,413	15	0,961		
Total	18,122	17			

Con respecto al contenido de humedad, en la figura 12 se observa que los tableros aglomerados elaborados con 20%, 25% y 30% de adhesivo fueron 10%, 9.5% y 8,93% de contenido de humedad respectivamente, además el Contenido de humedad está en el rango comprendido entre 5 – 13% (Consejo Superior de Arquitectos, 2011). Asimismo, en la tabla 11, los resultados del análisis de varianza indican que no existen diferencias significativas entre los valores del Contenido de Humedad de los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

El análisis de varianza nos permite asegurar que al momento de ensayar las probetas estas se encontraban en equivalentes condiciones de climatizado; siendo el contenido de humedad uno de los principales factores que influyen en las propiedades de los tableros. (Manzano, 2000)

Las altas temperaturas que normalmente se emplean en el secado de los tableros son las responsables de reducir su higroscopicidad, por esta razón las temperaturas para el secado de tableros para exteriores deben ser mayor que las utilizadas para interiores, a diferencia de aquellas temperaturas que se utilizan en la madera sólida (Suchsland, 1973; citado por Manzano, 2000). Cabe señalar, además, que el coeficiente de esbeltez de las partículas también afecta esta propiedad.

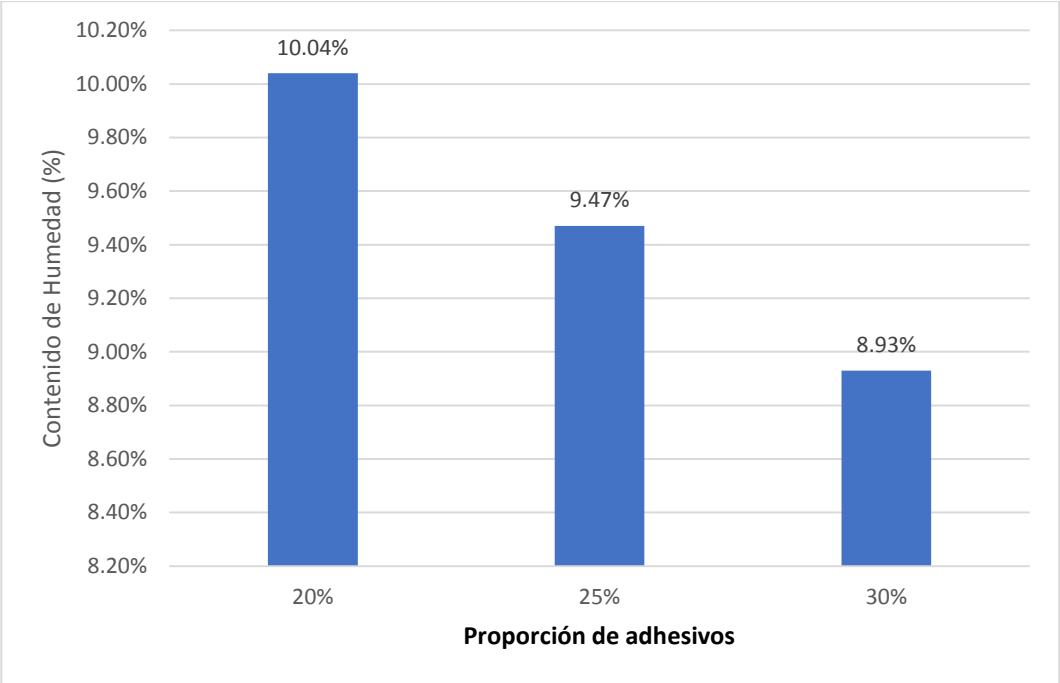


Figura 12. Promedio de contenido de humedad de 3 tipos de tableros.

Los valores obtenidos están ligeramente superiores a los de Castro, Iwakiri, Trianoski, Gonzales y Córdova (2019), quienes obtuvieron contenido de humedad de 8,45% para tableros aglomerados de bolaina blanca sin parafina y 8,75% de contenido de humedad para tableros aglomerados de bolaina blanca con parafina.

También los valores del CH están por encima por los valores obtenidos por Manzano (2000), quien obtuvo contenido de humedad de 7,769% del tablero de partículas de 12 mm de espesor; 8,875% del tablero de partículas de 16 mm de espesor y 8,127% del tablero de partículas de 19 mm de espesor.

4.1.3.1. Relación entre la variable contenido de humedad y proporciones de adhesivo

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y contenido de humedad de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 12. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y contenido de humedad.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab 0,05	Rtab 0,01	Signif.
Proporción de adhesivo Vs Contenido de humedad	0,45	20,46	Y= 12,259 - 0,1112X	0,400	0,662	*

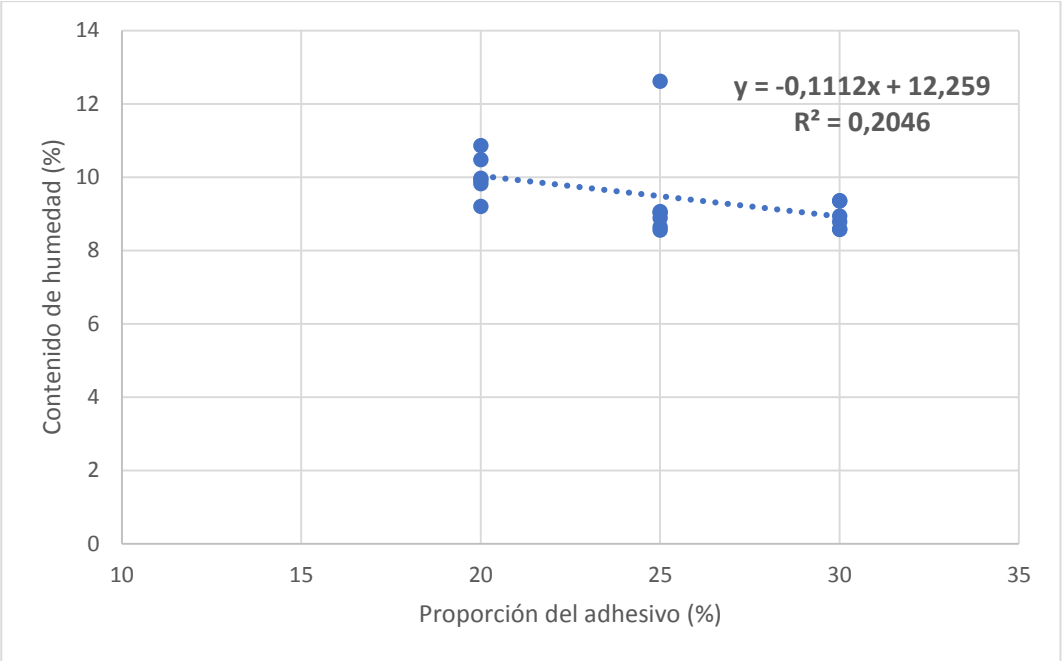


Figura 13. Relación entre las variables proporción de adhesivos y el contenido de humedad.

En la tabla 12 y figura 13, se aprecian que existe una relación significativa inversa entre la proporción de adhesivo y el contenido de humedad de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo influye en el contenido de humedad. El contenido de humedad reduce a medida que se incrementa la proporción de cola a razón de -0,112% por cada 1% de incremento en la proporción de adhesivo. Y que el contenido de humedad depende en un 20,46% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 79,54% depende

de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.1.4. Absorción de agua

Tabla 13. Análisis de varianza de absorción de agua (24 horas) por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	9020,329	2	4510,164	5,821	0,013*
Error	11621,860	15	774,791		
Total	20642,189	17			

Con Respecto a la absorción de agua en 24 horas, la tabla 14 muestra los valores promedios para los tableros aglomerados: para los elaborados con 20% de adhesivo fueron de 210,44%, para los elaborados con 25% fueron de 186,30% y para los elaborados con 30% de adhesivo fueron de 155,73%; asimismo en la tabla 13 detalla los resultados del análisis de varianza indican que existen diferencias significativas entre los valores de absorción de agua entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Tabla 14. Prueba de comparación de tukey (α=0,05) de la absorción de agua por efecto de 3 proporciones de cola.

Tratamientos	Medias	n	Grupos	
20%	210,44	6	A	
25%	186,30	6	A	B
30%	155,73	6		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

En la tabla 14, se muestra la absorción de agua del tablero fabricado con 25% de adhesivo no difiere significativamente de los tableros elaborados con 20% y 30% de adhesivo. Sin embargo, el tablero elaborado con 20% de adhesivo difiere significativamente del tablero elaborado con 30% de adhesivo siendo este último el que presento menor porcentaje de absorción de agua.

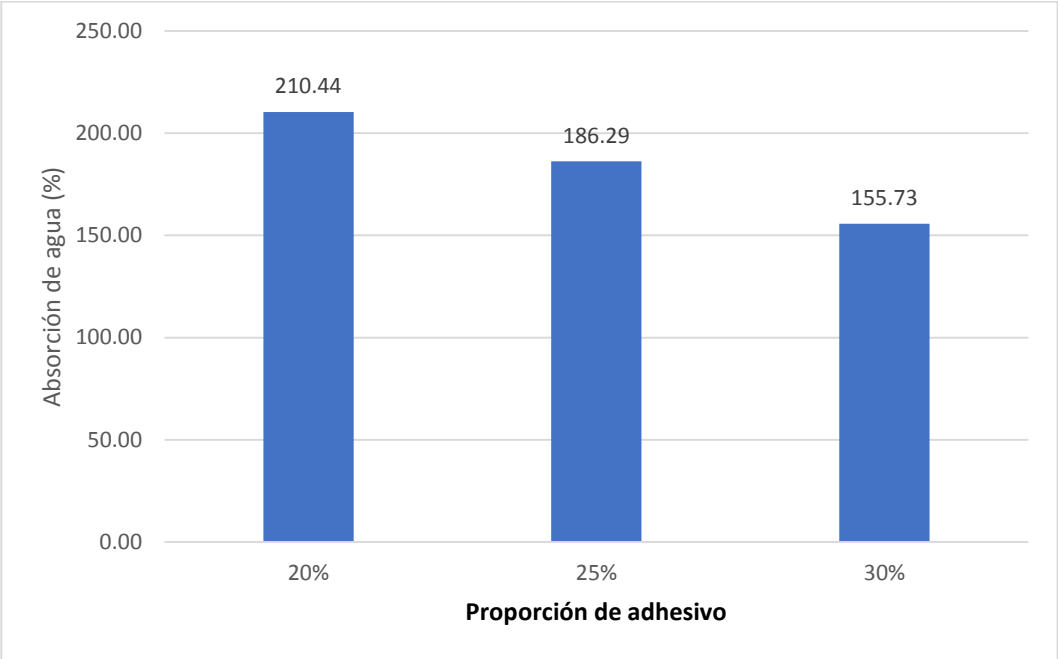


Figura 14. Promedio de absorción de agua en 24 horas de 3 tipos de tableros.

Los valores de absorción de agua en 24 horas de los tableros elaborados son superiores a los de (Manzano, 2000) quien obtuvo absorción de 67,54% para tablero de 12 mm; 72.2% para tableros de 16 mm y 74,43% para tableros de 19 mm. Aunque son superiores a (Becerra, 1976), quien obtuvo 10.80% de absorción de agua a 24 horas de inmersión. Además (FAO, 1959), menciona que el valor de absorción de agua (inmersión 24h) debe estar entre 15 - 60% para tableros con densidad de 0.25 – 0.40 g/cm^3.

Independiente del tiempo de inmersión, el incremento de la densidad del tablero produce una disminución en la absorción de agua, comportamiento que señala (Rocha, Lehmann y Sidney, 1974), (Durán,

1982); (Poblete y Peredo, 1990); (Moreno et al., 2002) y (Zambrano et al., 2013) citados por (Rangel, Moreno, Trejo y Valero, 2017). Ya que al tener un mayor contacto entre partículas se produce una disminución en la porosidad del tablero y menor cantidad de espacio vacío entre partículas y adhesivo, lo que impide la penetración del agua.

Además, la facilidad de absorción de agua está en función de la relación de compresibilidad del tablero, eficiencia del adhesivo y facilidad de penetración del fluido. Las Compresibilidades bajas permiten al tablero absorber más humedad en comparación con tableros con alta compresibilidad. (Maloney, 1993; Durán, 1981; Poblete y Peredo, 1990; Moreno et al., 2005; citados por Zambrano et al., 2013)

Los tableros 20% y 25% son superiores a los tableros aglomerados de Tello (2006), quien utilizó marupa de 16 años de edad en la cual obtuvo 178% de absorción de agua; 143,2% en tableros con marupa de 27 años de edad y 136,20% de absorción de agua en tableros de marupa extraídas de bosque natural.

Solo el tablero aglomerado con 30% de adhesivo es superado por el tablero de marupa de 16 años de edad realizado por Tello (2006), quien obtuvo 178% de absorción de agua.

4.1.4.1. Relación entre las variables proporciones de adhesivo y absorción de agua

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y la absorción de agua en 24 horas de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 15. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la absorción de agua.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Absorción de agua	0,66	43,5	Y= 320,92 – 5,4708X	0,400	0,662	**

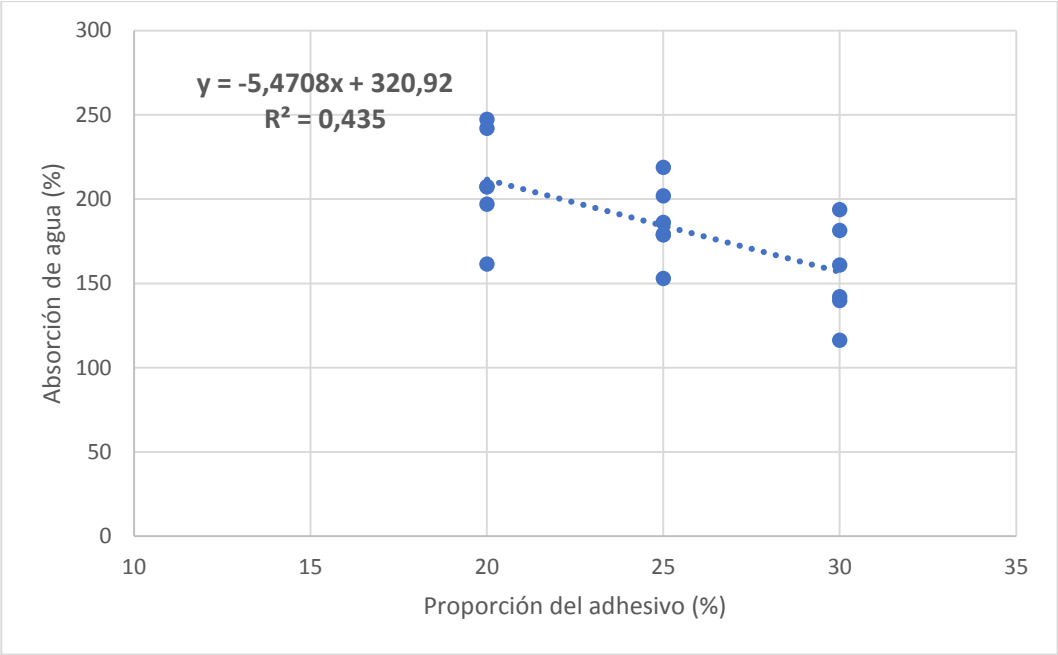


Figura 15. Relación entre las variables proporción de adhesivos y absorción de agua.

En la tabla 15 y figura 15, se observan que existe una relación altamente significativa inversa entre la proporción de adhesivo y la absorción de agua en 24 horas de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo influye en la absorción de agua de los tableros. La absorción de agua reduce a medida que se incrementa la proporción de cola, a razón de -5,4708% por cada 1% de incremento de adhesivo. La absorción de agua depende en un 43,5% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 56,5% depende de otros factores como la especie que es una de la más

significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.1.5. Hinchamiento volumétrico

Tabla 16. Análisis de varianza de hinchamiento volumétrico (24 horas) por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	5625,402	2	2812,701	5,563	0,016*
Error	7583,481	15	505,565		
Total	13208,883	17			

Con respecto al hinchamiento volumétrico en 24 horas en la tabla 17 se aprecia los valores promedio para los tableros elaborados con 20%, 25% y 30% de adhesivo cuyos valores fueron 109,04%, 85,38% y 65,80% respectivamente; asimismo en la tabla 16 los resultados del análisis de varianza indican que existe diferencias significativas entre los valores de hinchamiento volumétrico entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Tabla 17. Prueba de comparación tukey (α=0,05) de hinchamiento volumétrico por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Tratamientos	Medias	n		
20%	109,04	6	A	
25%	85,38	6	A	B
30%	65,80	6		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Como se muestra el tablero elaborado con 25% de adhesivo presenta semejanza en hinchamiento volumétrico en 24 horas con los tableros elaborados con 20% y 30% de adhesivo. Sin embargo, el tablero

con 20% de adhesivo muestra diferencia estadística con el tablero elaborado con 30% de adhesivo, siendo este último el que presentó menor hinchamiento volumétrico.

Como se muestra los valores de hinchamiento volumétrico están por encima a los valores obtenidos por Castro, Iwakiri, Trianoski, Gonzales y Córdova (2019), quienes obtuvieron a las 24 horas de inmersión en agua 36,41% para tableros sin parafina y 38,29% para tableros con parafina. Los valores también son muy superiores a (Vidal, 1981), quien obtuvo hinchamiento de 25,3% para tableros aglomerados de partículas de *Pinus radiata* D. Don.

El hinchamiento volumétrico y la absorción, son dos variables que van ligadas, puesto que, de acuerdo a los componentes del tablero, a mayor humedad, puede presentarse un incremento en las dimensiones del tablero (Londoño, Domínguez, Cardona y Álvarez, Evaluación de propiedades Físicos-Mecánicas de tableros aglomerados usando diferentes formulaciones adhesivas de proteína de Soya, 2013). Además (FAO, 1959), menciona que el valor de hinchamiento debe estar entre 5-15% para tableros de baja densidad.

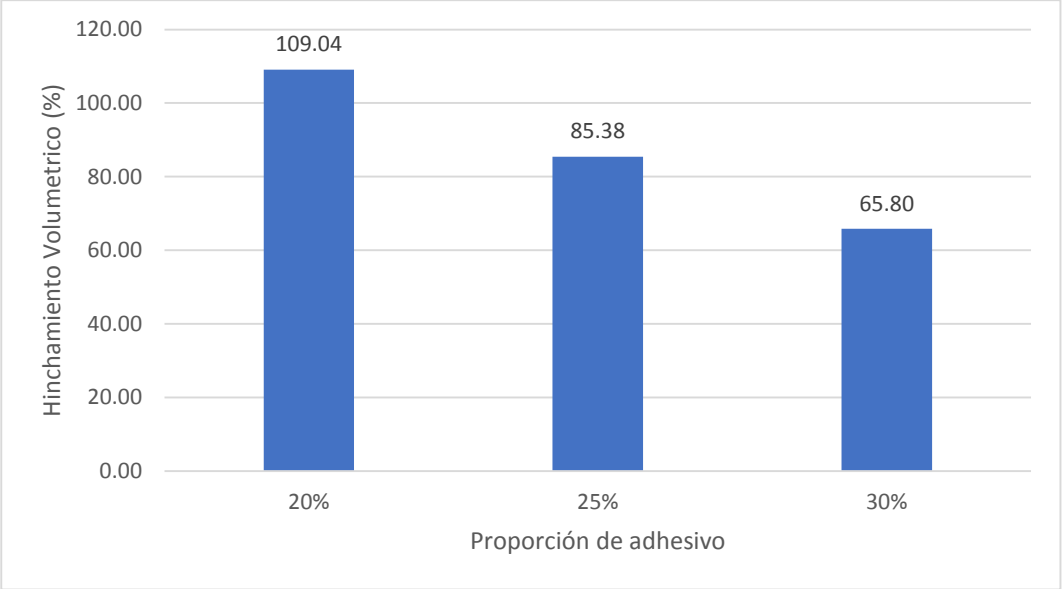


Figura 16. Promedio de hinchamiento volumétrico de 3 tipos de tableros.

Los valores también son muy superiores a Jiménez (2013), quienes obtuvieron hinchamiento volumétrico de 8,17% para tableros aglomerados a base de algarrobo; 15,74% para tableros aglomerados de mezcla (algarrobo+pino) y 23,74% de tablero aglomerado a base de pino.

Los tableros con 20% y 25% de adhesivo superan a los elaborados por Tello (2006), quien obtuvo 69.50% de hinchamiento en tablero aglomerado con especie marupa de 16 años de edad; 52,80% en tableros de marupa de 27 años de edad y 57,1% de hinchazón en tableros aglomerados de marupa extraídos de bosque natural.

Sin embargo, el tablero con 30% de adhesivo es inferior a los elaborados por Tello (2006), quien obtuvo 69,5% de hinchazón en tableros aglomerados utilizando la especie de marupa de 16 años de edad.

4.1.5.1. Relación entre las variables proporción de adhesivos e hinchamiento

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y el hinchamiento volumétrico en 24 horas de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 18. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y el hinchamiento volumétrico.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Hinchamiento volumétrico	0,65	42,46	Y= 194,84 – 4,3238X	0,400	0,662	*

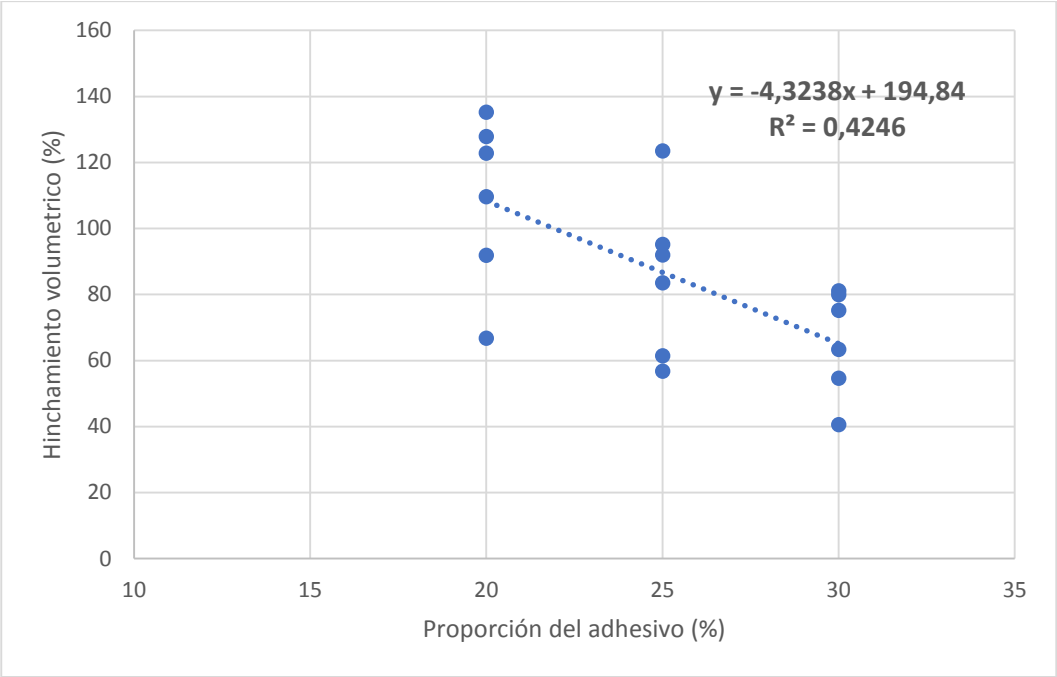


Figura 17. Relación entre las variables proporción de adhesivos y hinchamiento volumétrico

En la tabla 18 y figura 17, se observan que existe una relación significativa inversa entre la proporción de adhesivo y el hinchamiento volumétrico en 24 horas de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo influye en el hinchamiento volumétrico de los tableros. El hinchamiento volumétrico se reduce a medida que se incrementa la proporción de cola a razón de -4,3238% por cada 1% de adhesivo. Y que el hinchamiento volumétrico depende en un 42,46% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 57,54% depende de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.1.6. Expansión lineal

4.1.6.1. Expansión longitudinal

Tabla 19. Análisis de varianza de expansión longitudinal (24 horas) por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	222,134	2	111,067	6,500	0,009**
Error	256,327	15	17,088		
Total	478,461	17			

Respecto a la expansión longitudinal en la tabla 20, los valores promedio para los tableros elaborados con 20% de adhesivo fue de 11,55%, para los tableros elaborados con 25% de adhesivo fue de 5,45% y para los tableros elaborados con 30% de adhesivo fue de 3,24%; asimismo en la tabla 19, los resultados del análisis de varianza indican que existe diferencias altamente significativas entre los valores de expansión longitudinal entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Tabla 20. Prueba de comparación de tukey (α=0,05) de la expansión longitudinal por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Tratamientos	Medias	n		
20%	11,55	6	A	
25%	5,45	6	A	B
30%	3,24	6		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

Como se muestra en la tabla 20, el tablero elaborado con 25% de adhesivo no presenta diferencias con los tableros elaborados con 20% y 30% de adhesivo. Sin embargo, los tableros elaborados con 20% de adhesivo difieren estadísticamente con los tableros elaborados con 30% de adhesivo, siendo este último el que presentó menor expansión longitudinal.

Los valores en expansión longitudinal (%) son superiores si lo comparamos con los tableros contrachapados de lupuna blanca (Gómez, 2019), obtuvo valores de expansión longitudinal de 0,16%. Esta diferencia es probablemente debido a la naturaleza de los tableros; ya que los tableros aglomerados es una mezcla de viruta y cola; a diferencia de los tableros contrachapados están formados por capas de madera delgadas pegados para hacerla más resistente a romperse. (Masisa, 2016)

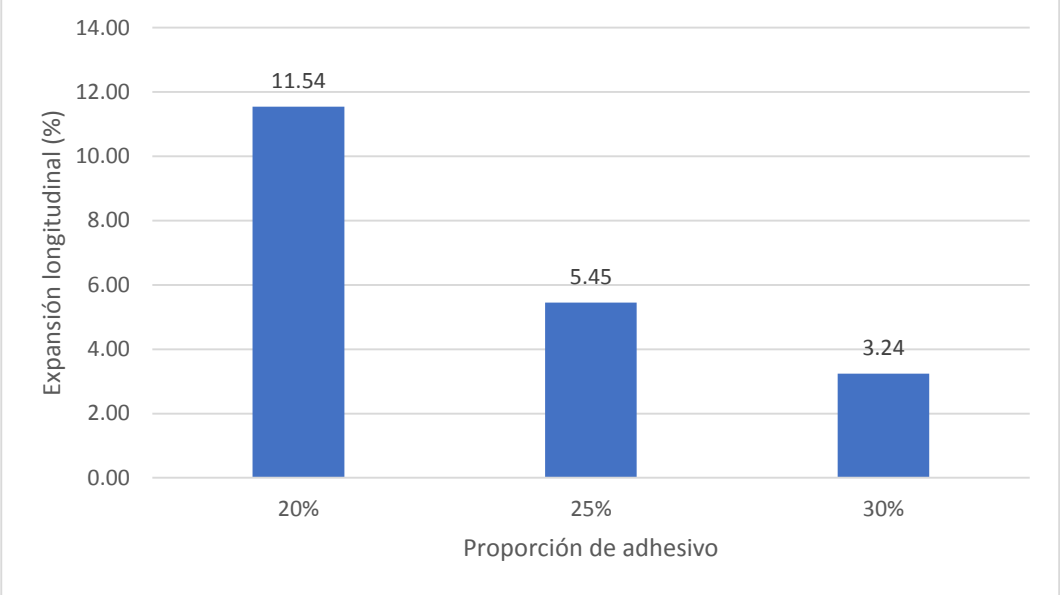


Figura 18. Promedio de expansión longitudinal de 3 tipos de tableros.

4.1.6.1.1. Relación entre las variables proporción de adhesivo y expansión longitudinal

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y la expansión longitudinal de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 21. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la expansión longitudinal.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Expansión longitudinal	0,657	43,26	Y= 27,51 – 0,8307X	0,400	0,662	*

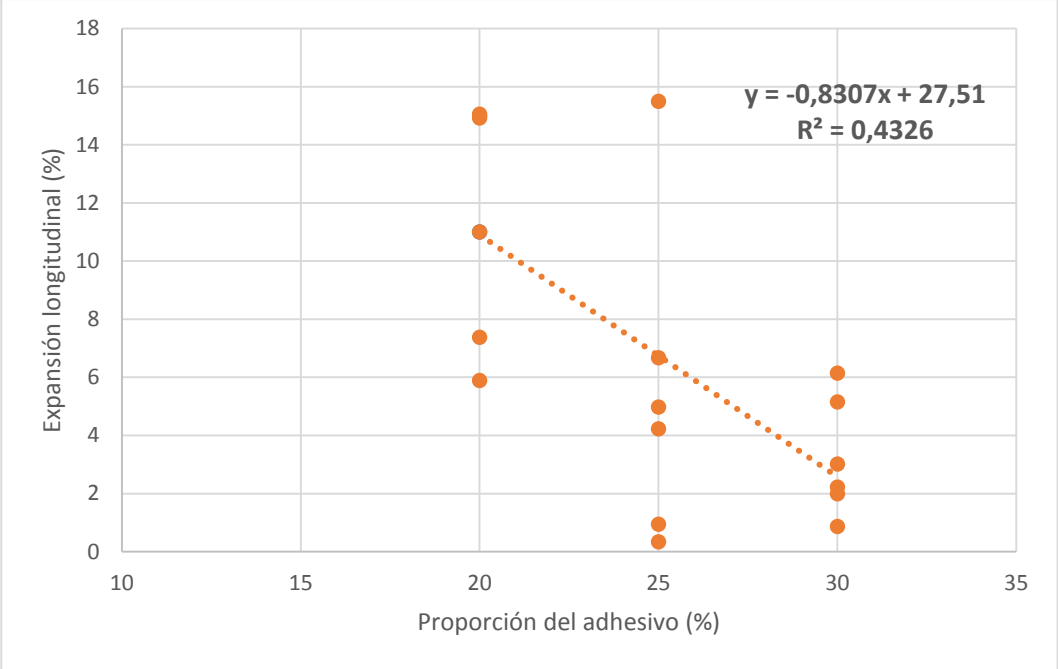


Figura 19. Relación entre las variables proporción de adhesivos y expansión longitudinal.

En la tabla 21 y figura 19, se observa que existe una relación significativa inversa entre la proporción de adhesivo y la expansión longitudinal de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo influye en la expansión longitudinal. La expansión longitudinal se reduce a medida que se incrementa la proporción de cola a razón de -0,8307% por cada 1% de incremento en la proporción de adhesivo. La expansión longitudinal depende en un 43,26% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 56,74%

depende de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.1.6.1.2. Expansión en espesor

Tabla 22. Análisis de varianza de expansión en espesor (24 horas) por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	1580,968	2	790,484	2,259	0,139ns
Error	5248,108	15	349,874		
Total	6829,076	17			

Respecto a la expansión en espesor, en la figura 20 se observa que los valores promedio para los tableros elaborados con 20% de adhesivo fue de 76,49%; para los tableros elaborados con 25% de adhesivo fue de 68,80% y para los tableros elaborados con 30% de adhesivo fue de 53,91%; asimismo en la tabla 22, los resultados del análisis de varianza indican que no existe diferencias significativas entre los valores de expansión en espesor entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Los valores obtenidos son superiores a los de (Manzano, 2000), quienes obtuvieron hinchamiento en espesor de 22,14% para tableros de 12 mm; 23,22% para tableros de 16 mm y 24,09% para tableros de 19 mm. Lo que indica que el producto elaborado tiene mayor capacidad de absorción lo cual influye sobre el hinchamiento.

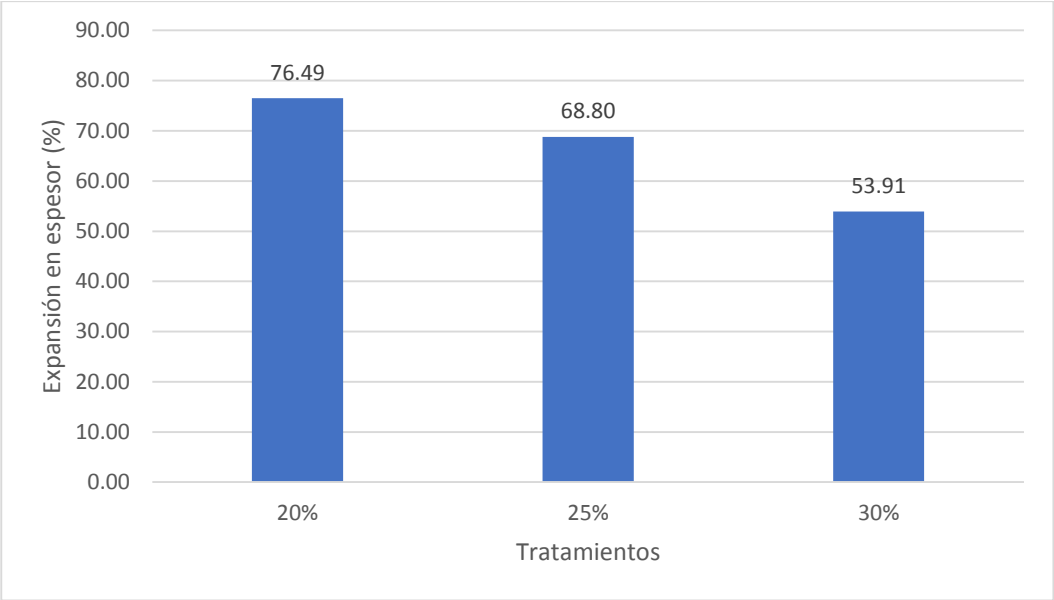


Figura 20. Promedio de expansión en espesor de tres tipos de tableros.

Cabe señalar, además, que el coeficiente de esbeltez de las partículas también afecta esta propiedad. Así como también al emplear virutas más cortas y gruesas el hinchamiento tiende a ser mayor, por lo que resulta probable que, al mejorar el coeficiente de esbeltez de las partículas utilizadas, mejores la propiedad. (Torres y Peredo, 1991; citado por Manzano, 2000)

En cuanto a la influencia del adhesivo sobre esta propiedad al aumentar el factor encolado disminuye el hinchamiento. Por lo que el análisis de esta propiedad física resulta ser un importante indicador de las condiciones futuras de uso de los tableros de partículas. (Poblete, 1985; citado por Manzano, 2000)

Hay dos posibles razones para el incremento del hinchamiento en espesor; el uso de grandes partículas en el centro, el cual facilita la penetración del agua líquida y la variación de especies en el proceso. El uso de grandes partículas provoca a que haya mayor cantidad de espacios vacíos, entre mayor sea el tamaño de las partículas utilizadas para la fabricación de los tableros, ya que durante el prensado no se logra la misma compactación en el centro del tablero como en las caras externas y a la

variación de especies debido a que éstas presentan diferentes propiedades físicas como la densidad, propiedad que influye a que una madera tenga mayor o menor capacidad de absorción. (Xu y Suchsland, 1998; citado por Manzano, 2000)

4.1.6.1.2.1. Relación entre las variables proporción de adhesivo y expansión en espesor

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y la expansión en espesor de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 23. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la expansión en espesor.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Expansión en espesor	0,47	22,4	Y= 122,85 – 2,258X	0,400	0,662	*

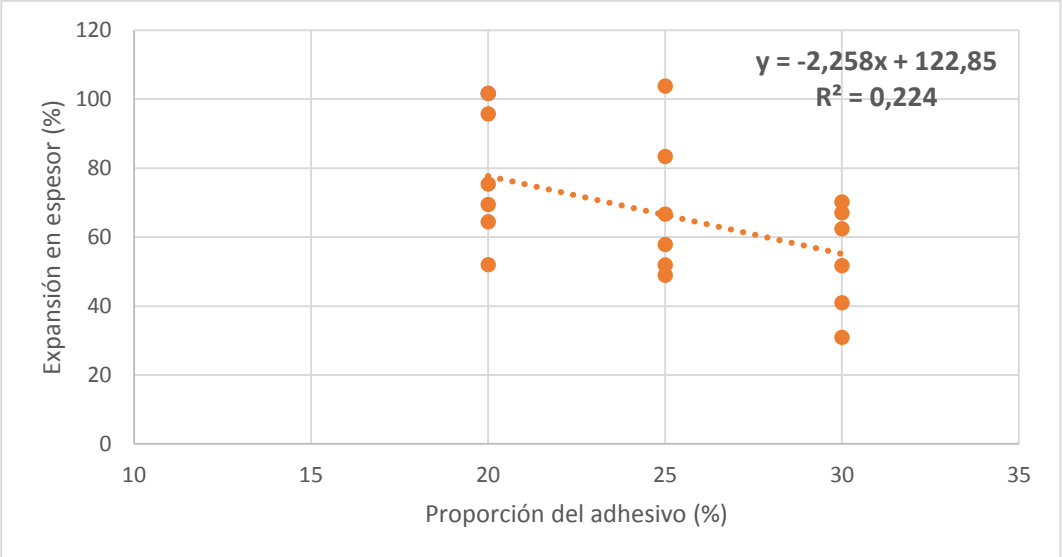


Figura 21. Relación entre las variables proporción de adhesivos y expansión en espesor.

En la tabla 23 y figura 21, se observa que existe una relación significativa entre la proporción de adhesivo y la expansión en espesor de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo influye en la expansión en espesor de los tableros. La expansión en espesor reduce a medida que se incrementa la proporción de cola, a razón de -2,258% por cada 1% de incremento en la proporción de adhesivo. La expansión en espesor depende en un 22,4% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 77,6% depende de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Tabla 24. Resumen de los valores de las propiedades mecánicas del tablero aglomerado.

Proporción de adhesivos	Estadígrafos	Flexión estática		Dureza (kg)	Compresión paralela	
		MOR (kg/cm^2)	MOE (kg/cm^2)		A la cara	Al canto
20%	x	8,8	14484,87	10,67	4,66	0,4
	D.E	1,45	3800,61	2,21	1,33	0,19
	CV	16,48	26,24	20,71	28,54	47,50
25%	x	10,13	16608,36	19,51	5,78	1,01
	D.E	1,99	5799,6	8,97	2,98	0,33
	CV	19,64	34,92	45,98	51,56	32,67
30%	x	10,07	17221,97	17,81	5,53	1,51
	D.E	1,98	7398,01	3,32	1	0,47
	CV	19,66	42,96	18,64	18,08	31,13

En la tabla 24, se observa que el tablero elaborado con proporción 20% de adhesivo obtuvo un promedio del MOR de 8,8 kg/cm^2 con un CV

de 16,48%; 14484,87 kg/cm^2 de MOE con un CV de 26,24%; 10,67 kg de dureza con un CV de 20,71%; 4,66 kg/cm^2 de compresión a la cara con un CV de 28,54% y 0,4 kg/cm^2 de compresión al canto con un CV de 47,50%.

Los tableros elaborados con 25% de adhesivo obtuvieron promedio del MOR de 10,13 kg/cm^2 con un CV de 19,64%; 16608,36 kg/cm^2 de MOE con un CV de 34,92%; 19,51 kg de dureza con un CV de 45,98%; 5,78 kg/cm^2 de compresión a la cara con un CV de 51,56% y 1,01 kg/cm^2 de compresión al canto con un CV de 32,67%.

Los tableros elaborados con 30% de adhesivo obtuvieron promedio del MOR de 10,07 kg/cm^2 con un CV de 19,66%; 17221,97 kg/cm^2 de MOE con un CV de 42,96%; 17,81 kg de dureza con un CV de 18,64%; 5,53 kg/cm^2 de compresión a la cara con un CV de 18,08% y 1,51 kg/cm^2 de compresión al canto con un CV de 31,13%.

4.2.1. Ensayo de flexión estática

4.2.1.1. Módulo de ruptura

Tabla 25. Análisis de varianza del MOR (kg/cm^2) por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	5,981	2	2,990	0,902	0,427ns
Error	49,737	15	3,316		
Total	55,718	17			

Como se observa en la figura 22, los valores promedio para los tableros aglomerados elaborados con 20%, 25% y 30% de adhesivo fueron de 8,88 kg/cm^2, 10,13 kg/cm^2 y 10,07 kg/cm^2 respectivamente asimismo en la tabla 25, los resultados del análisis de varianza indican que no existe diferencias significativas entre los valores de módulo de ruptura entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Los valores de Modulo de ruptura del tablero aglomerado de bolaina son muy inferiores a los encontrados por (Manzano, 2000), quien obtuvo módulo de ruptura en flexión estática 220,194 kg/cm^2 para tableros de 12mm de espesor; 171,612 kg/cm^2 en tableros con espesor de 16 mm y 257.511 kg/cm^2 en tableros con espesores de 19 mm.

Son inferiores a Tello (2006), quien obtuvo valores de módulo de ruptura de 45 kg/cm^2 de tableros elaborados con la especie marupa de edad de 16 años, 51 kg/cm^2 de 27 años y 45 kg/cm^2 de bosque natural.

Los valores también son inferiores a la investigación que realizó Castro, Iwakiri, Trianoski, Gonzales y Córdova (2019), quienes obtuvieron valores de módulo de ruptura de 15,55MPa (158,56kgf/cm^2) de tableros aglomerados de partículas de bolaina sin parafina y 15,05MPa (153,47kgf/cm^2) de tableros aglomerados de partículas de bolaina con parafina.

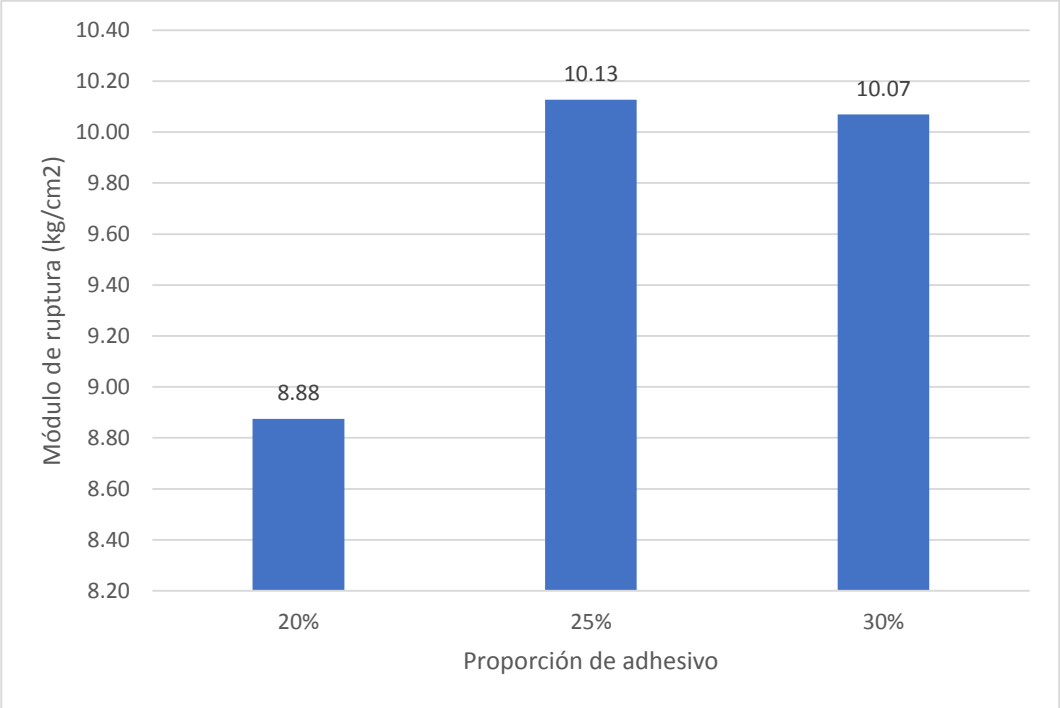


Figura 22. Promedio de módulo de ruptura de 3 tipos de tableros.

Sin embargo, Rangel, Moreno, Trejo y Valero (2017), obtuvieron valores mucho más elevados. Para tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de *Eucalyptus urophylla* con densidad de 731 kg/m^2 obtuvo un módulo de ruptura de 27 MPa (275,32 kg/cm^2) y para tableros con densidad de 838 kg/m^2 obtuvo módulo de ruptura de 32 MPa (326,30 kg/cm^2).

También son inferiores a los tableros aglomerados de *Eucalyptus tereticornis Smith* elaborados por (Umlandt, Pan, Medina, Jiménez y Moreno, 2016), quienes realizaron sus tableros en base a 4 familias de polinización (15,30,41 y 65) en donde la familia 15 obtuvo 4,83N/mm^2 (49,25kgf/cm^2); la familia 30 obtuvo 4,38 N/mm^2 (44,66kgf/cm^2); la familia 41 obtuvo 4,28 N/mm^2 (43,64 kgf/cm^2) y la familia 65 obtuvo 6,23 N/mm^2(63,527kgf/cm^2).

Moreno, Garay, Durán, Styles y Trejo (2010), obtuvieron valores de módulo de ruptura de 228,813 kg/cm^2 para tableros de Guadua angustifolia con densidad de 600 kg/m^3 y 223,913 kg/cm^2 para tableros con densidad de 800 kg/m^3.

Como se observa el tablero aglomerado tiene menor resistencia en la cual es conveniente en futuras investigaciones ajustar las otras variables como temperatura y presión. El módulo de ruptura (MOR) es la propiedad más ampliamente evaluada en pruebas de flexión estática en tableros de partículas, ya que ésta determina la aplicabilidad de los tableros como componentes estructurales. Los parámetros que más influyen en el MOR se encuentra la densidad del tablero y el esfuerzo de compresión. Por lo que hay un incremento en el MOR con el aumento de la densidad del tablero, es decir conforme el esfuerzo de compresión aumenta, el MOR aumenta, cuando se parte de una materia prima de densidad constante. (Kelly, 1977; citado por Manzano, 2000)

El módulo de ruptura (MOR) es aceptado como una medida de esfuerzo y representa la carga máxima de un espécimen que sometido a

flexión llega a su fractura (Cai y Ross, 2010; citado por Rangel, Moreno, Trejo y Valero, 2017). Sin embargo, la resistencia al esfuerzo en flexión debe ser considera hasta el límite elástico, para efectos de seguridad (McNatt, 1973; citado por Rangel, Moreno, Trejo y Valero, 2017). Por otro lado, la adhesión interna o tensión perpendicular determina la resistencia del tablero a la delaminación o separación de sus capas. (Cai y Ross, 2010; citado por Rangel, Moreno, Trejo y Valero, 2017)

El MOR en flexión estática se incrementa a mayor densidad del tablero, esto se debe entre otros factores a una mayor eficiencia en la distribución de la resina y a un mejor contacto entre partículas-adhesivo, así como también a una mayor densificación de las partículas (mayor razón de compresibilidad), disminuyendo el volumen de espacios vacíos. Esto conlleva a que el tablero de mayor densidad trasmita los esfuerzos de partícula a partícula de manera más uniforme traduciéndolos en un aumento de la resistencia mecánica. (Durán, 1981; Maloney, 1993; citados por Rangel, Moreno, Trejo y Valero, 2017)

Moslemi (1974), agrega que entre las características inherentes a la especie deben destacarse la influencia de la densidad de la madera, pH, humedad y contenido de extractivos, señalando la de mayor importancia a la densidad de la madera. De tal modo que para una misma densidad de tablero se obtienen mejores valores de módulo de ruptura (MOR) cuando se trabaja con partículas de maderas de menor densidad.

Sin embargo, Cruz (1976) en sus trabajos con mezclas de viruta de cepillado y virutas tipo flake (1:1), encontró que en maderas de baja densidad el comportamiento es diferente, es decir, los tableros producidos presentan menores valores de resistencia mecánica, señalando que debe existir un rango de densidad dentro de los cuales se cumple lo mencionado por Moslemi (1974).

Por ello, Maloney (1977), señala que se prefiere rangos de densidad entre 0.30 a 0.50 g/cm^3 por su mejor comportamiento a la compactación.

El contenido de sólidos de la resina y la temperatura de aplicación tiene pocos efectos en la fuerza y estabilidad de los tableros. Generalmente, los mejores resultados se obtienen con altos contenidos de sólidos y temperatura ambiente. La viscosidad, el cual está directamente relacionada al contenido de sólidos y la temperatura, tiene ligeros efectos en las propiedades, aun cuando cambios drásticos se hacen al reducir la viscosidad. (Lehmann, 1965)

Añadiendo, Kelly (1977), indica que el contenido de humedad actúa directamente sobre la resistencia de la madera a la compresión, la cual en presencia de una temperatura alta se torna en un material plástico y por lo tanto ofrecerá menor resistencia a la compactación. Entre tanto un excesivo contenido de humedad interfiere en la reacción química de polimerización de la resina especialmente en las capas más internas. El mismo autor señala que el contenido de humedad óptimo se encuentra entre 11 y 15%.

4.2.1.1.1. Relación entre las variables proporción de adhesivo y módulo de ruptura

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y el módulo de ruptura de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 26. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y el módulo de ruptura.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Módulo de ruptura	0,28	7,65	Y= 6,7103 + 0,1192X	0,400	0,662	ns

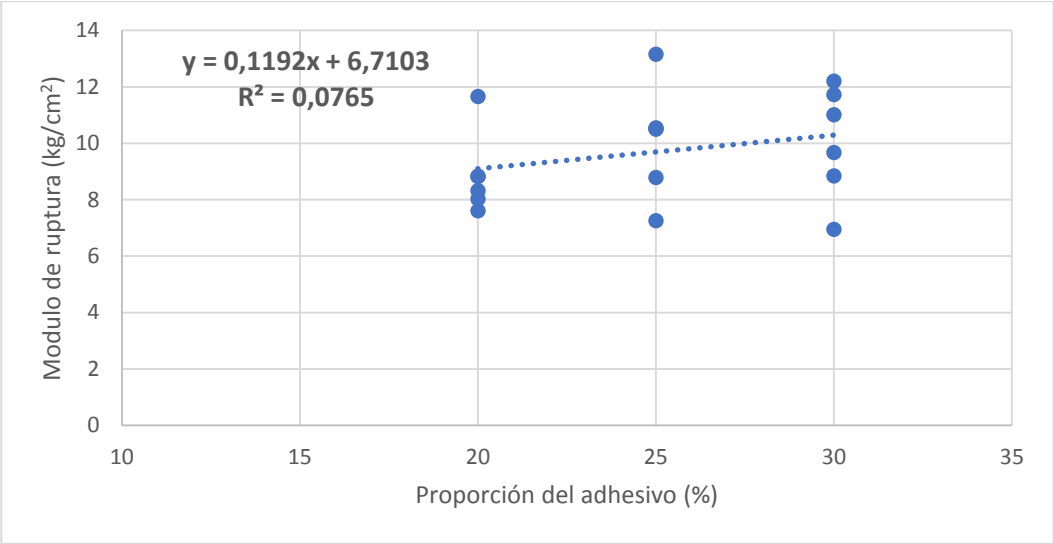


Figura 23. Relación entre las variables proporción de adhesivos y módulo de ruptura.

En la tabla 26 y figura 23, se observan que no existe una relación significativa entre la proporción de adhesivo y el módulo de ruptura de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que el adhesivo no influye y que el módulo de ruptura depende solo de un 7,65% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 92,35% depende de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.2.1.2. Módulo de elasticidad (MOE)

Tabla 27. Análisis de varianza del MOE (kg/cm^2) por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	24754717,384	2	12377358,692	0,361	0,703ns
Error	514052526,581	15	34270168,439		
Total	538807243,965	17			

Como se observa en la figura 24, los valores promedio para los tableros elaborados con 20% de adhesivo fue de 14484,876 kg/cm^2, para los tableros elaborados con 25% de adhesivo fue de 16608,36 kg/cm^2 y para los tableros elaborados con 30% de adhesivo fue de 17221,97 kg/cm^2; asimismo en la tabla 27, los resultados del análisis de varianza indican que no existe diferencias significativas entre los valores de módulo de elasticidad entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Los valores de Modulo de elasticidad del tablero aglomerado de bolaina son muy inferiores a los encontrados por (Manzano, 2000), quien obtuvo módulo de elasticidad en flexión estática 48947kg/cm^2 para tableros de 12mm de espesor; 39357 kg/cm^2 en tableros con espesor de 16 mm y 60938 kg/cm^2 en tableros con espesores de 19 mm.

También son inferiores a los tableros aglomerados de *Eucalyptus tereticornis Smith* elaborados por (Umlandt, Pan, Medina, Jiménez y Moreno, 2016), quienes realizaron sus tableros en base a 4 familias de polinización (15,30,41 y 65) en donde la familia 15 obtuvo 5741,46 N/mm^2(58546,30 kgf/cm^2); la familia 30 obtuvo 6444,76 N/mm^2(65717,93kgf/cm^2); la familia 41 obtuvo 6012,92 N/mm^2 (61314,41kgf/cm^2) y la familia 65 obtuvo 3512,81 N/mm^2 (35820,51 kgf/cm^2).

La rigidez es un indicador de la resistencia del material a la deformación bajo tensión, y se expresa en términos de módulo de elasticidad. Cuando mayor es este, menor es la deformación bajo una determinada tensión. (Medina, 1999; citado por Jiménez, 2013)

Las virutas más largas mejoran los valores de MOE y MOR, y estas ganancias son aún mayores si se aumenta la orientación de las mismas. Mediante el aumento del largo de las virutas se puede reducir la densidad de un tablero y compensar la pérdida de MOE. (Canadido, Saito y Suzuki, 1988 y Medina, 1999; citados por Jiménez, 2013)

El espesor de las virutas es también otra variable que afecta los valores de MOR y MOE (Siempelkamp, 1988; Hsu, 1987; citados por Medina, 1999). Espesores menores, especialmente en las capas externas, mejoran los valores de MOR y MOE (Medina, 1999). Se recomienda que el espesor de las partículas oscile entre 0,45 mm y 0,55 mm. (Medina, 2012)

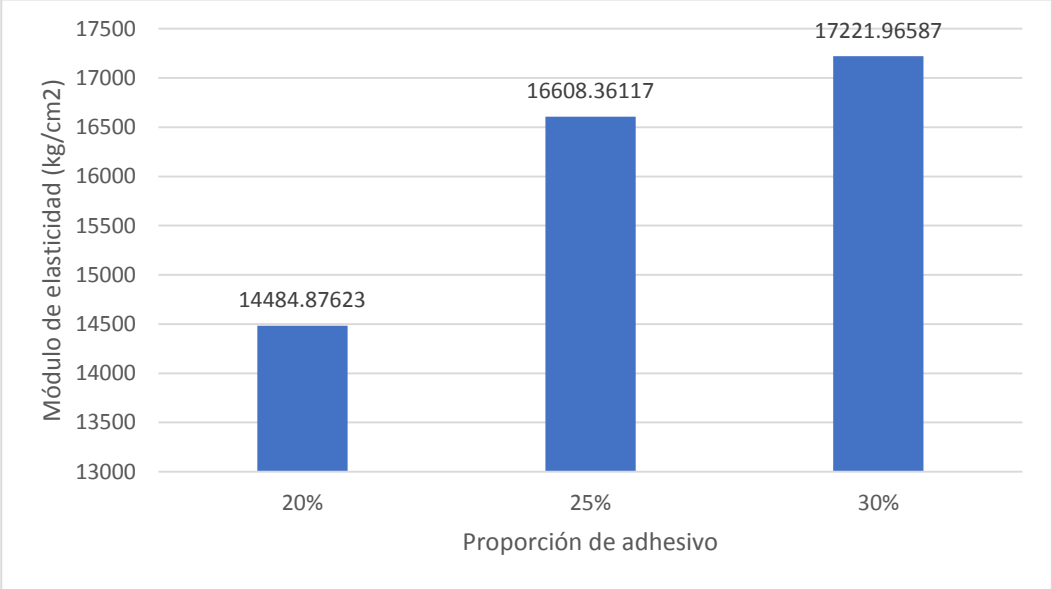


Figura 24. Promedio de módulo de elasticidad de 3 tipos de tableros.

4.2.1.2.1. Relación entre las variables proporción de adhesivo y módulo de elasticidad

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y el módulo de elasticidad de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 28. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y el módulo elasticidad.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Módulo de elasticidad	0,20	4,17	Y= 9262,3 + 273,71X	0,400	0,662	ns

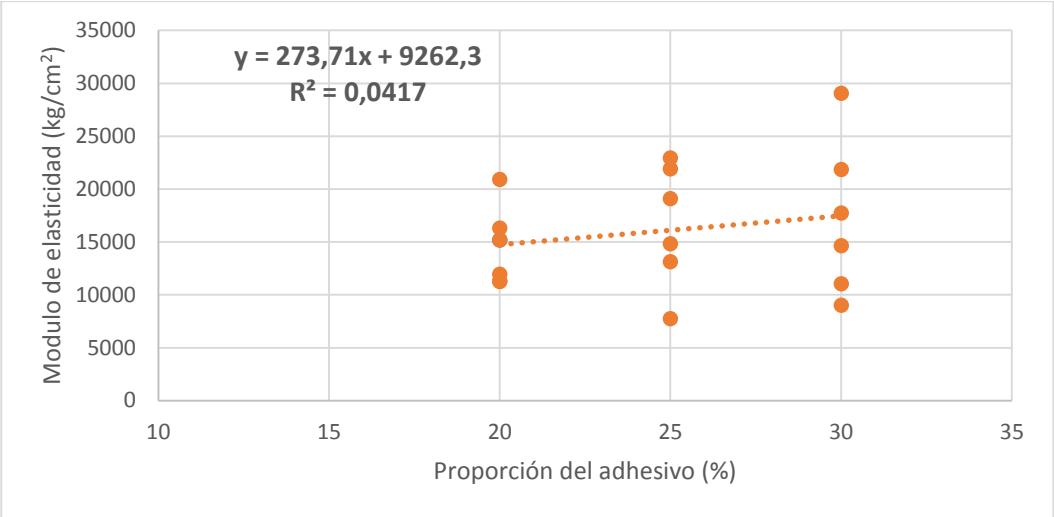


Figura 25. Relación entre las variables proporción de adhesivos y el módulo de elasticidad.

En la tabla 28 y figura 25 se observa que no existe una relación significativa entre la proporción de adhesivo y el módulo de elasticidad de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo no influye el módulo de elasticidad de los tableros. El módulo de elasticidad depende solo de 4,17% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 95,83% depende de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.2.2. Dureza

Tabla 29. Análisis de varianza de la dureza (kg) por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	264,241	2	132,121	4,115	0,038*
Error	481,572	15	32,105		
Total	745,813	17			

Como se observa en la tabla 30, los valores promedio para los tableros elaborados con 20% de adhesivo fue de 10,67 kg/cm^2, para los tableros elaborados con 25% de adhesivo fue de 19,51 kg/cm^2 y para los tableros elaborados con 30% de adhesivo fue de 17,81 kg/cm^2; asimismo en la tabla 29, los resultados del análisis de varianza indican que existe diferencias significativas entre los valores de dureza entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Tabla 30. Prueba de comparación de tukey (α=0,05) de la dureza por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Tratamientos	Medias	n		
20%	10,6667	6	A	
30%	17,8067	6	A	B
25%	19,5117	6		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Se muestra en la tabla 30, el tablero aglomerado fabricado con proporción 30% de adhesivo no difiere en la dureza con los otros tableros fabricados con proporciones 20% y 25% de adhesivo. Sin embargo, el tablero fabricado con 25% de adhesivo difiere significativamente en la dureza con el tablero aglomerado fabricado con 20% de adhesivo.

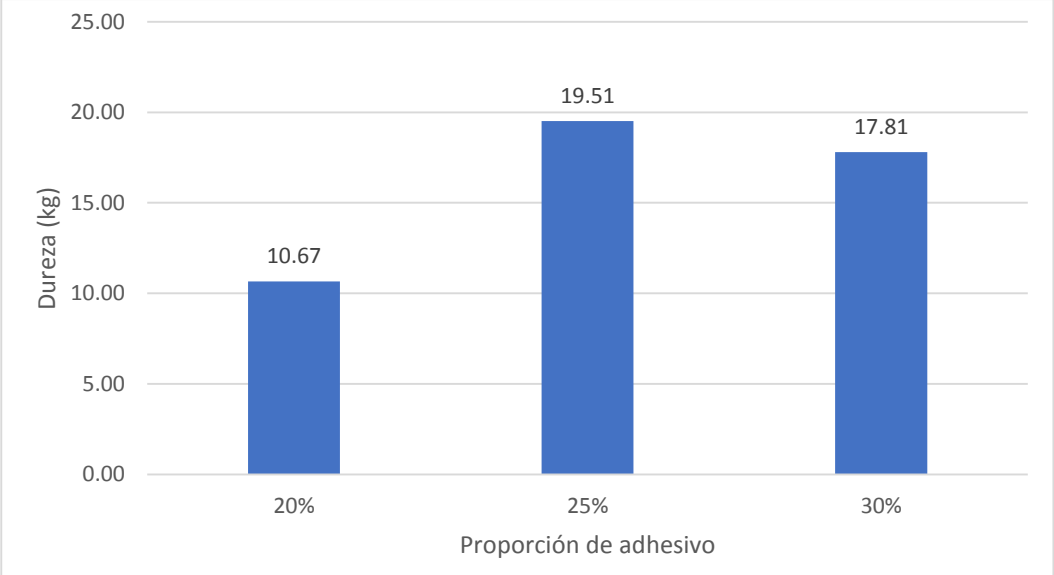


Figura 26. Promedio de la dureza de 3 tipos de tableros.

Como se observa los valores son muy inferiores a los que ofrece la madera solida de la especie de bolaina ya que presenta una dureza en los lados de 303.43 kg/cm^2.

También son inferiores si lo comparamos con tableros contrachapados de *Ceiba pentandra* L. Gaerth (Lupuna blanca) encontrados por (Gómez, 2019), quien obtuvo promedio en dureza 208,45kg/cm^2.

4.2.2.1. Relación entre las variables proporción de adhesivo y dureza

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y la dureza de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 31. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la dureza.

Variables	r	R² x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Dureza	0,45	20,51	Y= 0,714X – 1,855	0,400	0,662	*

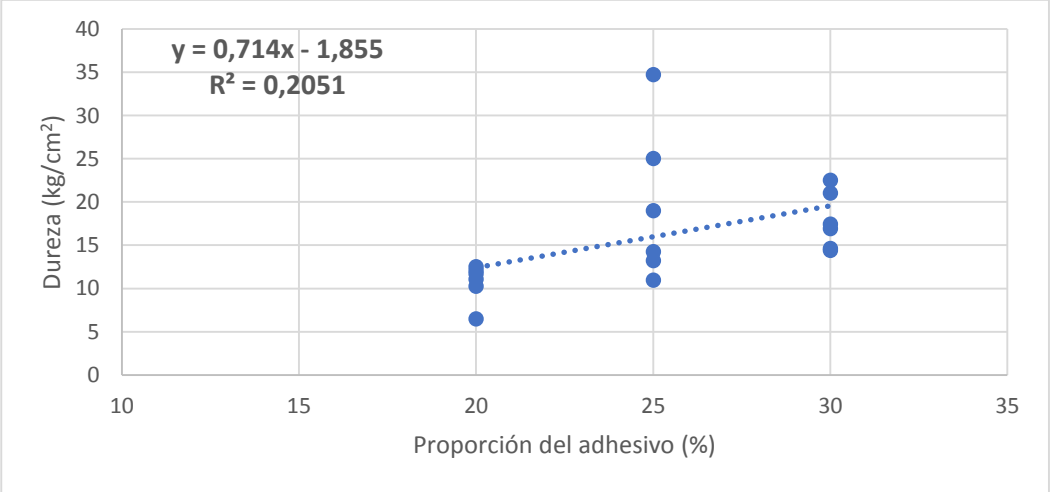


Figura 27. Relación entre las variables proporción de adhesivos y la dureza.

En la tabla 31 y figura 27, se observan que existe una relación significativa entre la proporción de adhesivo y la dureza de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo si influye en la dureza de los tableros ya que la dureza aumenta a medida que se incrementa la proporción de adhesivo a razón de 0,714 kg por cada 1% de incremento de cola. La dureza depende en un 20,51% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 79,49% depende de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.2.3. Compresión

4.2.3.1. Ensayo de compresión a la cara de la pieza

Tabla 32. Análisis de varianza de compresión a la cara por efecto de 3 proporciones de adhesivo

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	p-valor
Entre proporciones	4,119	2	2,059	0,529	0,600ns
Error	58,367	15	3,891		
Total	62,485	17			

Respecto al ensayo compresión a la cara, en la figura 28 se muestra los valores promedio para los tableros elaborados con 20% de adhesivo fue de 4,66kg/cm^2; para los tableros elaborados con 25% de adhesivo fue de 5,78kg/cm^2 y para los tableros elaborados con 30% de adhesivo fue de 5,53kg/cm^2; asimismo en la tabla 32, los resultados del análisis de varianza indican que no existe diferencias significativas entre los valores de compresión a la cara entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

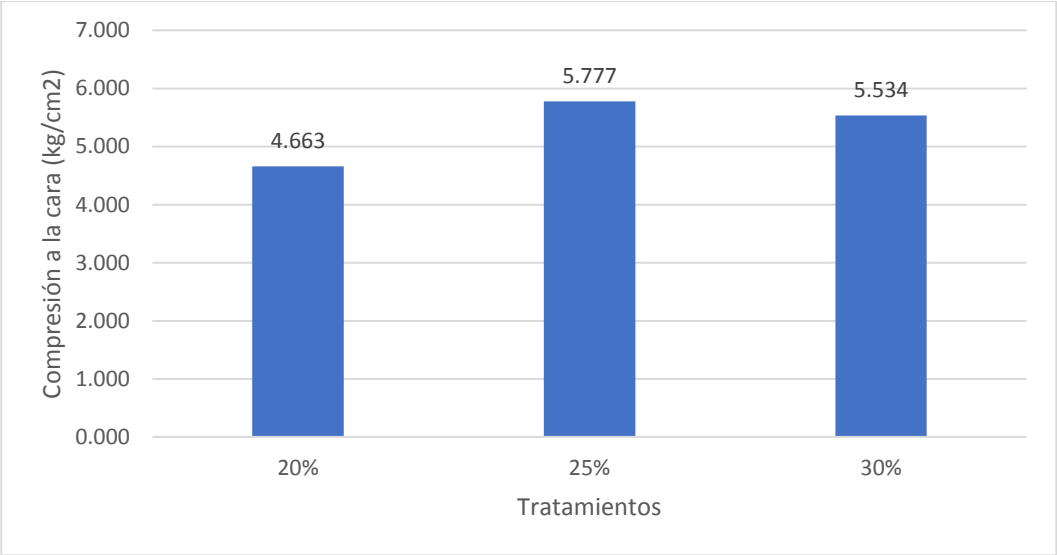


Figura 28. Promedio de resistencia a compresión a la cara de tres tipos de tablero.

4.2.3.1.1. Relación entre las variables proporción de adhesivo y compresión a la cara del tablero

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y la compresión a la cara de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 33. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la compresión a la cara.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Compresión a la cara	0,19	3,66	Y= 0,0873X + 3,1411	0,400	0,662	ns

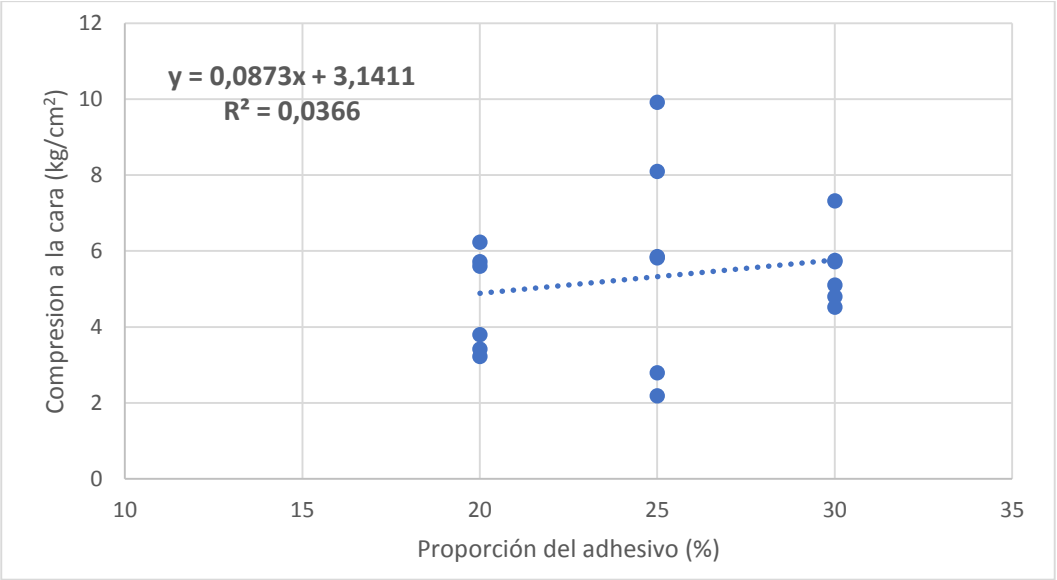


Figura 29. Relación entre las variables proporción de adhesivos y la compresión a la cara.

En la tabla 33 y figura 29, se observan que no existe una relación significativa entre la proporción de adhesivo y la compresión a la cara de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce que la proporción de adhesivo no influye en la compresión a la cara de los tableros. La compresión a la cara depende solo en un 3,66% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 96,34% depende de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

4.2.3.2. Ensayo de compresión al canto de la pieza

Tabla 34. Análisis de varianza de compresión al canto por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	Sig.
Entre proporciones	3,695	2	1,848	15,160	0,000**
Error	1,828	15	0,122		
Total	5,523	17			

Respecto al ensayo compresión al canto en la tabla 35 se observa que los valores promedio para los tableros elaborados con 20% de adhesivo fue de 0,40kg/cm^2, para los tableros elaborados con 25% de adhesivo fue de 1,01kg/cm^2 y para los tableros elaborados con 30% de adhesivo fue de 1,51kg/cm^2; asimismo en la tabla 34, los resultados del análisis de varianza indican que existe diferencias altamente significativas entre los valores de compresión al canto entre los tableros elaborados con tres proporciones de adhesivos.

Tabla 35. Prueba de comparación de tukey (α=0,05) de la compresión al canto por efecto de 3 proporciones de adhesivo.

Tratamientos	Medias	n		
20%	0,40426	6	A	
25%	1,01196	6		B
30%	1,51235	6		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p>0,05).

Como se muestra en la tabla 35 no existe diferencias estadísticas en compresión al canto de la pieza entre los tableros elaborados con 25% y 30% de adhesivo, sin embargo, estos difieren significativamente del tablero elaborado con 20% de adhesivo, siendo este último el que presento menor resistencia a la compresión en el canto de la pieza.

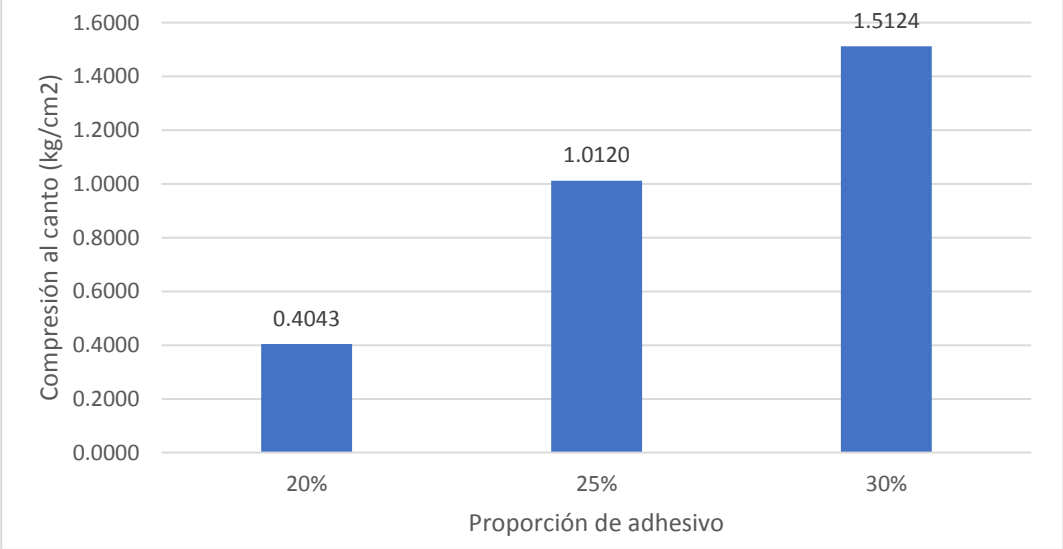


Figura 30. Promedio de compresión al canto de 3 tipos de tableros.

4.2.3.2.1. Relación entre las variables proporción de adhesivo y compresión al canto del tablero

Para determinar si existe relación entre las variables proporción de adhesivos y la compresión al canto de los tableros aglomerados de bolaina blanca, se realizó el análisis de correlación y regresión.

Tabla 36. Análisis de correlación y regresión de las variables proporción de adhesivos y la compresión al canto.

Variables	r	R^2 x100	Ecuación	Rtab		Signif.
				0,05	0,01	
Proporción de adhesivo Vs Compresión al canto	0,82	66,72	Y= 0,1108X + 1,7958	0,400	0,662	**

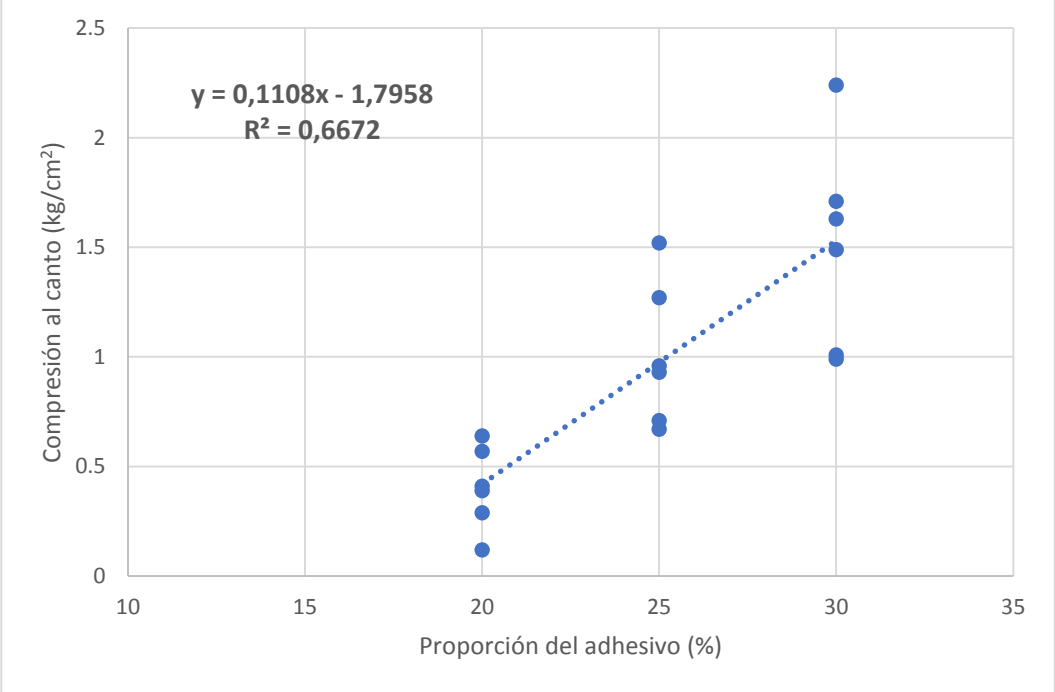


Figura 31. Relación entre las variables proporción de adhesivos y la compresión al canto.

En la tabla 36 y figura 31, se observan que existe una relación altamente significativa entre la proporción de adhesivo y la compresión al canto de los tableros aglomerados de Bolaina blanca, de donde se deduce

que la proporción de adhesivo influye en la compresión al canto de los tableros. La compresión al canto aumenta a medida que se incrementa la proporción de adhesivo a razón de 0,1108 kg/cm^2 por cada 1% de incremento de cola. La compresión al canto depende en un 66,72% de la proporción de adhesivo en los tableros aglomerados y el 33,28% depende de otros factores como la especie que es una de la más significativa, densidad, formulación de la resina y la humedad del tablero. (Maloney, 1977); pH y contenido de extractivos (Moslemi, 1974); tamaño de partículas, dirección de las fibras, temperatura (Poblete, 1979); forma de las partículas y coeficiente de esbeltez (Ginzel y Peraza, 1966); velocidad de cierre de la prensa, tiempo de prensado y la temperatura. (Kelly, 1977)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. En los tableros aglomerados de bolaina blanca elaborados con 20% de adhesivo se obtuvieron valores promedios de las propiedades físicas como: densidad seca al aire y densidad anhidra de 0,23 g/cm^3 en ambos casos; contenido de humedad 10%; absorción de agua en 24 horas 210,4%; hinchamiento volumétrico en 24 horas 109,04% y expansión lineal: longitudinal 11,54% y en espesor 76,49%.

2. En los tableros aglomerados de bolaina blanca con 25% de adhesivo se obtuvieron valores promedios de las propiedades físicas como: densidad seca al aire 0,26 g/cm^3 y densidad anhidra 0,24 g/cm^3. Contenido de humedad de 9,5%; absorción de agua en 24 horas 186,3%; hinchamiento volumétrico en 24 horas 85,38%; y expansión lineal: longitudinal 5,45% y en espesor 68,80%.

3. Los tableros aglomerados de bolaina blanca con 30% de adhesivo obtuvieron valores promedios de las propiedades físicas como: densidad seca al aire 0,27 g/cm^3 y densidad anhidra 0,25 g/cm^3. Contenido de humead 8,9%; absorción de agua 155,7%; hinchamiento volumétrico 65,8%; expansión lineal: longitudinal 3,24% y en espesor 53,9%.

4. En los tableros aglomerados de bolaina blanca elaborados con proporción 20% de adhesivo, se obtuvieron valores promedios de las propiedades mecánicas como: MOR 8,8 kg/cm^2; MOE 14484,87 kg/cm^2; dureza 10,67 kg; compresión a la cara 4,66 kg/cm^2 y compresión al canto 0,4 kg/cm^2.

5. Los tableros aglomerados con 25% de adhesivo se obtuvieron valores promedios de propiedades mecánicas como: MOR 10,13 kg/cm^2; MOE 16608,36 kg/cm^2; dureza 19,51 kg; compresión a la cara 5,78

kg/cm^2 y compresión al canto 1,01 kg/cm^2.

6. Los tableros aglomerados con 30% de adhesivo se obtuvieron valores promedios de propiedades mecánicas como: MOR 10,07 kg/cm^2; MOE 17221,97 kg/cm^2; dureza 17,81 kg; compresión a la cara 5,53 kg/cm^2 y compresión al canto 1,51 kg/cm^2.

7. La proporción de adhesivo influye en la mayoría de las propiedades físicas del tablero aglomerado de bolaina blanca, la densidad seca al aire y la densidad anhidra se incrementa cuando la proporción de adhesivo también se incrementa, mientras que el contenido de humedad, absorción de agua, hinchamiento volumétrico y expansión lineal tanto longitudinal como en espesor, disminuyen cuando la proporción de adhesivo se incrementa.

8. La proporción de adhesivo influye en las propiedades mecánicas como la dureza y la compresión al canto, se incrementa cuando la proporción de adhesivo también se incrementa. Pero no influye en la flexión estática (módulo de ruptura y módulo de elasticidad) y la compresión a la cara del tablero.

5.2. RECOMENDACIONES

1. En estudios futuros se recomienda analizar la influencia de diversas presiones, diversas temperaturas y diferentes tamaños de partículas en las propiedades físicas y mecánicas de los tableros.

2. Realizar tableros aglomerados de partículas de madera de diversas densidades y especies de la Amazonía, con diversos adhesivos usados en el medio local.

3. Promover en el sector empresarial, la inversión en una planta de tableros aglomerados en la región, a fin de reducir la contaminación del ambiente, generar fuente de trabajo y mejorar localidad de vida de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, D.; Dorado, M.; Fernández, H. (2010). *Tecnología de la madera.* Universidad de Córdoba. Argentina: Editorial universitaria. Obtenido de file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-ImpactoAmbientalDeResiduosIndustrialesDeAserrinYPl-5350876.pdf

Arostegui, A. (1990). *Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del Perú.* UNALM-Ministerio de Agricultura, Perú. Recuperado el 03 de octubre de 2020.

Arriola, B. (2003). *Revista de arquitectura y detalles constructivos. Bilbao.*

Becerra, J. (1976). Algunas características físicas y mecánicas de tableros de partículas producidos en México y sus posibles usos en la construcción. *Ciencia Forestal, 1*(2), 33-40.

Bowyer, J.; Shmulsky, R.; Haygreen, J. (2007). *Forest Products and Wood Science: An Introduction.*

Buenaventura, M. (1982). *Técnicas de construcción. Barcelona: Eyrolles.*

Cabral, P.; Vital, B., Della, L., & Pimienta, A. (2007). Propiedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de Eucalyptus spp e Pinus elliotiii. *Árvore, 31*(5), 897-905.

Cai & Ross. (2010). Mechanical properties of wood-based composite materials.In:R.J.Ross,ed,Wood handbook-Wood as an engineering material. Centennial edition. Generak technical Report FPL.GTR-190.Department of Agriculture, forest service, forest products laboratory.

Cardona, A. (2013). *Desarrollo de un sistema adhesivo proteínico para la fabricación de tableros aglomerados de densidad media.*

Charles, V. (2012). *Adhesive Bonding of Wood Materials.*

Consejo Superior de Arquitectos. (28 de junio de 2011). *Tableros de PARTÍCULAS.*

Cornejo. (1991). *"Fomento de la producción, comercialización y asistencia técnica de la actividad forestal". Asociación de extractores de madera. Pucallpa.*

Cruz, A. (1976). *Properties of experimental particleboard from three Costa Rica Hard Woods.Thesis Mg.Sc. New York, US. 22p.*

Dominguez Ortiz, M. y Londoño Zuluaga, C. (2014). *Elaboración de tableros aglomerados empleando diferentes formulaciones adhesivas a partir de proteína de soya.*

Durán, J. (1981). *Utilización de los aclareos de las especies de la plantación de Caparo para tableros aglomerads de partículas: parte I, Teca.* Universidad de los Andes, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela.

Durán, J. (1982). *Utilización de los aclareos de las especies de la plantación de Caparo para tablero aglomerados: parte II, Gmelina.* Universidad de los Andes, Laboratorio Nacional de Productos Forestales.Mérida,Venezuela.

Ebnesajjad, S. (2011). *Handbook of Adhesives and Surface Preparation.Technology, Applications and Manufacturing.*

FAO. (1959). *Tableros de fibra y tableros de madera aglomerada. Informe de la organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.* Roma.

Flamand, R. J. (1961). *Propiedades y Aplicaciones de tableros de madera aglomerada.* Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Agricultura., Texcoco, Edo de México.

Gatchell, G.; Heebink, B.; Hefty, F. (1966). Influence of component variables on the properties of particleboard for exterior use. *Forest Products Journal, 16*(4), 46-59.

Ginzel y Peraza. (1966). Tecnología de tableros de partículas. *Instituto Forestal de Investigación y Experiencias*, 187p.

Gómez Schrader, E. P. (2019). *Determinación de las propiedades Físicas y Mecánicas de tableros contrachapados de Ceiba pentandra L. Gaertn (lupuna blanca), de tres empresas triplayeras de Pucallpa.* Tesis, Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa.

González Beltrán, Y. A.; Mejía Martínez, D. P.; Méndez Ariza, Y. M. (2018). *Aprovechamiento de los Residuos de Madera.* Universidad La Gran Colombia. Facultad Postgrados, Bogotá. Obtenido de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4078/Aprovechamiento_residuos_madera.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Guevara Salnicov, L., Reyes Inca, P.; Bocanegra Dávila, L. (1993). Evaluación de residuos de aserrío. *Folia Amazónica VOL.5(1-2)*.

Halvarsson, S.; Edlund, H.; Norgrena, M. (2008). *Properties of medium-density fibreboard (MDF) based on wheat straw and melamine modified urea formaldehyde (UMF) resin. Industrial crops and products.*

Hernandez, Z. (2000). *Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino madera y bosques.* Obtenido de: http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/2394/1/Nelly_Linda_Tesis_bachiller_2018.pdf

INIA. (sf). Obtenido de: http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/CDinvestigacion/inia/inia-p4/inia-p4-21.htm#TopOfPage

Jiménez, P. et al; (2016). Uso de residuos de carpintería de las especies Prosopis alba y Pinus sp. en la elaboracion de paneles aglomerados. *Quebracho, 24*(1,2), 26-35. Obtenido de: https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/v24n1a04-186.pdf

Jiménez, P. V. (2013). *Uso de residuos de garlopa y cepilladora de las especies Prosopis alba y Pinus sp. en aglomerados.* Tesis, Universidad Nacional de Santiago del Estereo, Facultad de Ciencias Forestales.

Kelly, M. (1977). *Critical literature review of relationships between processing parameter and physical properties of particleboard for products laboratory FLP,Madison,Wiss 64p.*

Kelly, M. (1997). *Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. General Technical report.*

Kollmann; Kuenzi; Stamm. (1975). *Principles of wood on the gelation time of ureaformaldehyde resin. wood and Fiber 12(4):pp.255-263.*

Lehmann, W. (1965). *Improved particleboard trough better resin efficiency.Forest Products Laboratory.*

Londoño, C.; Domínguez, M.; Cardona, A.; Álvarez, C. (2013). *Evaluación de propiedades físico-mecánicas de tableros aglomerados usando diferentes formulaciones adhesivas de proteina de soya.* Universidad Pontificia Bolivariana,Cir.1#70-01,B11, Medellín, Colombia.

Londoño, C.; Domínguez, M.; Cardona, A.; Álvarez, C. (2013). Evaluación de propiedades Físicos-Mecánicas de tableros aglomerados usando diferentes formulaciones adhesivas de proteína de Soya. *INGENIAR UPB*.

Maloney, M. (1977). *Modern Particleboard and dry process fiberboard manufacturing.Milles Freeman Publication.San Franciso,US.672p.*

Maloney, T. (1993). *Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. Miller Freeman Inc.,San Francisco,California, EUA.686p.*

Manzano Sosa, A. (2000). *Propiedades físico - mecánicas de tableros aglomerados de partículas de 12, 16 y 19 mm.* Universidad Autónoma Chapingo - México.

Martínez López, Y.; García Gonzáles, M.; Martínez Rodríguez, E. (2014). Impacto ambiental de residuos industriales de aserrín y plástico. Usos para la industria de tablero en Cuba. *Avances, 16*.

Masisa, M. (2016). *Ficha Técnica. Masisa, tu mundo, tu estilo.*

McNatt. (1973). Basic engineering properties of particleboard.

Medina, J. C. (1999). *Paneles de virutas orientadas (OSB) elaborados a partir de aspidospenrma quebracho-blanco Schlecht y Pinus taeda L. Tesis doctoral.* Universidad Politécnica de Madrid. España.

Medina, J. C. (2012). *Guía de estudio cátedra Industrias Mecánicas de la Madera II.* Carrera de Ingeniería en Industrias Forestales, FCF-UNSE, Santiago del Estero. Argentina.

Medina, J.; Ambrogi, A. (1994). Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados. *Rev. Quebracho, 2*, 47-53.

Mendes, R.; Mendes, L.; Mendoza, L.; Júnior, J.; Mori, F. (2014). Qualidade de paines aglomerados homogeneos produzidos com a madeira de clones de Eucalyptus urophylla. *Cerne, 20*(2), 329-336.

Miguel Castro, M. L.; Setsuo Iwakiri, Rosalina Trianoski, Gonzales Mora, H. E.; Miguel Córdova, C. R. (2019). Producción de tableros de partículas con Bolaina (Guazuma crinita Mart) procedente de una plantación de cuatro años. (T. Baldín, Ed.) *Ciencia da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*. doi: DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v10n3p197-204.

Moreno, Garay, Durán, Styles y Trejo. (2010). *Utilización de tallos de Guadua angustifolia en la fabricación de tableros de partículas.* Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Mérida-Venezuela.

Moreno, et al., (2002). Efecto de las sales CCA sobre las propiedades físicas y mecánicas en los tableros de partículas de pino caribe. *Revista Forestal Latinoamericana, 17*(1), 1-34.

Moreno et al., (2005). Utilización de la madera de Fraxinus americana (fresno) en la fabricación de tableros de partículas. *Revista Theoria, 14*(2), 57-64.

Moslemi, A. (1974). *Particleboard. Illinois, US, University. Press.v.1,243p.*

Mostacero, J.; Mejía, C.; Gamarra, T. (2002). *Taxonomía de las fanerógamas útiles del Perú. Vol 1. Ed. Normas Legales S.A.C. 667p.*

Muttil, N.; Ravichandra, G.; Bigger, S. W.; Thorpe, G. R.; Shailaja, D.; Singh, S. K. (2014). *Comparative Study of Bond Strength of Formaldehyde and Soya based Adhesive in Wood Fibre Plywood. Procedia Materials Science.*

Norma Técnica Peruana - NTP 251.001. (2003). Definición de términos básicos. Lima: Inecal.

Ochoa Palacios, M. A. (7 de mayo de 2014). *Residuos forestales.* Obtenido de Prezi: https://prezi.com/plrfeadz5wnt/residuos-forestales/#:~:text=Los%20residuos%20forestales%20son%20aquellos,y%20a%20prevenir%20plagas%20o%20incendios.&text=Tambi%C3%A9n%20se%20incluyen%20los%20residuos%20generados%20por%20las%20industrias%20forestales.

Ortiz, L.; Tejada, A.; Vázquez, A. (2004). Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por ña cadema monte-industria. *Revista CIS-madera.Parte III Producción de elementos densificados*, 17-32p.

Otero. (1985). *"Estudio sobre disponibilidad de sobrantes de madera para uso en la generación de energía eléctrica". Electro Centro S.A. Pucallpa.517p.*

Pascual Cortés, J. M. (2013). *Mecanizado de maderas y derivados. IC.*

Poblete. (1979). *Inclusión de aserrín en tableros de partículas. Bosque 3(1): pp.39-46.*

Poblete, H. (1985). Influencia del tamaño de partículas sobre las propiedades mecánicas. Flexión y Tracción en tableros de partículas aglomeradas con urea formaldehído. Simposio Pinus radiata investigación en Chile. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 241-246.

Poblete, H.; Peredo, M. (1990). Tableros de desechos del debobinado de especies chilenas. *Bosque, 11*(2), 45-58.

Poblete, H.; Loncomilla, E.; Inzunza, L. (2000). Densidad del tablero de partículas y estabilidad dimensional. *Bosque, 21*(2), 69-83.

Prasittisopin, L. (2009). *A New Method of Making Particleboard With a Formaldehyde-free Soy-based. Oregon.*

Rangel, L.; Moreno, P.; Trejo, S.; Valero, S. (mayo de 2017). Propiedades de tableros aglomerados de particulas fabricados con madera de Eucalyptus urophylla. *Maderas: Ciencia y Tecnología, 19*(3).

Rocha, B.; Lehmann, W.; Sidney, R. (1974). How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. *Forest Product Journal, 24*(12), 37-45.

Rosa Melania & Javier Juan De Dios. (21 de agosto de 2017). *Proyectos "Estudios y Consultorias".* Obtenido de Bolaina Blanca (Guazuma crinita) - Ficha Técnica: http://pwt.pe/bolaina-blanca-ficha-tecnica/

Salvador Cardenas, M. I. (2019). *Curso de Productos Forestales de Transformación mecánica.* Pucallpa.

Santillán, T.; Canchucaja, J. (2007). Influencia de la densidad de la madera en la calidad de tableros de partículas homogéneos. *Revista Forestal, 1-2*, 61-79.

Soto, G.; Núñez, M. (2008). Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de Pinus Radicta (D.Don), como material aglomerante. *Revista Maderas, Ciencia y Tecnología*. doi:file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-ImpactoAmbientalDeResiduosIndustrialesDeAserrinYPl-5350876.pdf

Suchsland. (1973). Hygroscopic thickness swelling and related propierties of selected commercial particleboard. *Forestl Products Journal, 23*(7), 26-30.

Tableros de partículas. (2011).

Tello Cochache, M. A. (2006). *Caracterización tecnológica de tableros de partículas de mediana densidad elaborados con residuos de madera de marupa (simarouba amara) proveniente de la plantación de Jenaro Herrera y bosque natural.* Lima - Perú.

Torres, E.; Peredo, L. (1991). Fabricación de tableros de partículas con desechos industriales. *Bosque, 12*(1), 49-57.

Trujillo, C. (10 de Enero de 2021). Bolaineros. (L. V. Vargas Villa, Entrevistador) Pucallpa, Coronel Portillo, Ucayali.

Umlandt, M.; Pan, E.; Medina, J.; Jiménez, V.; Moreno, R. (2016). Determinación de la calidad de tableros aglomerados elaborados con Eucalyptus tereticornis Smith. *Revista Argentina de Ingeniería, 7*(5).

Urzua, J.; Poblete, H. (1980). *Utilización silvoagropecuaria de los terrenos de Ñadi.* Informe N° 2. Factibilidad técnica de la producción de tableros de partículas utilizando especies que crecen en los terrenos de Ñadi. Serie técnica. Informe de convenio N° 29. Convenio SERPLAC.X región -UACH.

Verdezoto, D. (2016). *Evaluación del epicarpio de cacao Theobroma cacao en combinación con P.E.T (Polietileno tereftalato) en módulos de aglomerado por medio de una resina como ligante para uso Industrial.* Proyecto de investigación para la obtención del título de Ingeniero Industrial, Repositorio de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador. Obtenido de: https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1854/1/T-UTEQ-0017.pdf

Vidal. (1981). Propiedades de tableros de partículas de pinus radiata (D. Don) preservados contra termitas. *BOSQUE, 4*(1), 49-54.

Vignote, S.; Martínez, I. (2005). *Tecnología de la madera.*

Xu y Suchsland. (1998). Variability of Particleboard propierties from single mixed-species processes. *Forest Products Journal, 48*(9), 68-74.

Zambrano et al., (2013). Tableros de partículas fabricados con residuos industriales de madera de Pinus patula. *Madera y Bosques, 19*(3), 65-80.

ANEXOS

ANEXO 1

VALORES DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

*** DATOS ANTES DEL INGRESO A LA ESTUFA**

Tratamiento	N° de Probeta	Peso (gr)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Volumen (mm^3)	Volumen (cm^3)	Densidad seca al aire (gr/cm^3)
20%	P1	11,7	52,23	50,29	19,41	50983,212	50,98	0,23
	P2	10,323	51,71	45,64	19,27	45478,056	45,48	0,23
	P3	10,915	51,3	47,7	19,3	47227,293	47,23	0,23
	P4	10,37	51,51	45,39	18,35	42903,014	42,90	0,24
	P5	10,145	47,72	47,4	18,42	41664,714	41,66	0,24
	P6	9,39	49,4	47,16	17,41	40560,147	40,56	0,23
25%	P1	10,63	50,46	49,42	17,36	43291,208	43,29	0,25
	P2	10,53	51,11	48,95	17,45	43657,012	43,66	0,24
	P3	11,19	51,08	46,86	16,47	39422,737	39,42	0,28
	P4	10,91	50,43	45,36	18,3	41861,338	41,86	0,26

	P5	10,53	48,54	45,42	18,84	41536,299	41,54	0,25
	P6	11,32	51,31	49,35	18,17	46009,138	46,01	0,25
30%	P1	13,09	50,61	50,38	18,32	46711,087	46,71	0,28
	P2	11,58	51,85	48,56	17,63	44389,449	44,39	0,26
	P3	11,52	50,13	49,05	16,93	41628,779	41,63	0,28
	P4	11,7	51,47	50,36	18,14	47019,410	47,02	0,25
	P5	10,76	50,75	48,01	17,79	43345,468	43,35	0,25
	P6	12,79	51,88	50	16,38	42489,720	42,49	0,30

*** DATOS OBTENIDOS DESPUÉS DE LA ESTUFA**

Tratamiento	N° de Probetas	Peso (gr)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Volumen (mm^3)	Volumen (cm^3)	Densidad anhidra (gr/cm^3)
20%	P1	10,59	50,5	50,32	15,78	40099,50	40,10	0,20
	P2	9,4	51,38	45,03	18,3	42339,64	42,34	0,22
	P3	9,93	50,85	48,8	18,87	46825,53	46,83	0,21
	P4	9,43	50,68	44,73	18,14	41121,86	41,12	0,23
	P5	9,29	49,07	47,55	16,72	39012,42	39,01	0,24
	P6	8,47	48,58	46,09	20,41	45699,06	45,70	0,19
25%	P1	9,75	49,54	49,32	18,58	45396,75	45,40	0,21
	P2	9,35	49,77	49,5	14,63	36042,69	36,04	0,26
	P3	10,3	51,23	48,5	17,05	42363,37	42,36	0,24
	P4	10,05	52,26	47,79	18,11	45229,82	45,23	0,22
	P5	9,67	49,68	45,9	18,95	43211,91	43,21	0,22
	P6	10,38	51,03	48,95	15,35	38343,05	38,34	0,23
30%	P1	11,97	50,59	50,42	18,26	46576,65	46,58	0,26
	P2	10,59	51,93	49,29	17,08	43718,48	43,72	0,24

	P3	10,59	48,68	48,43	18,46	43520,79	43,52	0,24
	P4	10,74	50,9	47,71	18,65	45290,39	45,29	0,24
	P5	9,91	50,59	48,43	16,99	41626,75	41,63	0,24
	P6	11,78	51,16	50,07	16,83	43111,41	43,11	0,27

*** CONTENIDOS DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS**

Tratamientos	N° de probetas	CH%
20%	P1	10,48
	P2	9,82
	P3	9,92
	P4	9,97
	P5	9,20
	P6	10,86
25%	P1	9,03
	P2	12,62
	P3	8,64
	P4	8,56
	P5	8,89
	P6	9,06
30%	P1	9,36
	P2	9,35
	P3	8,78
	P4	8,94
	P5	8,58
	P6	8,57

*** DATOS DESPUÉS DE SER SUMERGIDOS A AGUA POR 24 HORAS**

Tratamientos	N° de probeta	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Volumen (mm^3)	Volumen (cm^3)
20%	P1	27,688	56,06	52,85	31,83	94305	94,31
	P2	28,906	59,12	48,4	31,02	88761	88,76
	P3	30,505	58,44	49,54	31,04	89864	89,86
	P4	32,759	58,28	50,52	31,83	93717	93,72
	P5	31,782	52,69	50,41	32,73	86934	86,93
	P6	25,152	51,44	47,75	31,03	76218	76,22
25%	P1	27,895	50,01	49,94	29,34	73277	73,28
	P2	29,814	52,25	51,69	29,82	80538	80,54
	P3	31,103	59,17	49,15	28,43	82680	82,68
	P4	28,019	52,44	50,11	26,98	70897	70,90
	P5	26,988	53	51,97	28,79	79299	79,30
	P6	26,255	53,19	49,16	28,15	73607	73,61
30%	P1	25,895	51,03	50,94	27,71	72031	72,03
	P2	29,814	53,5	50,89	29,08	79174	79,17
	P3	31,103	51,19	49,43	24,18	61183	61,18
	P4	28,019	54,03	52,07	26,3	73991	73,99
	P5	23,988	51,6	51,23	27,59	72933	72,93
	P6	28,255	52,3	52,74	28,12	77563	77,56

*** PROPIEDADES FÍSICAS OBTENIDAS DESPUÉS DE SUMERGIR LAS PROBETAS POR 24 HORAS**

Tratamientos	N° de probetas	Absorción de agua (%)	Hinchamiento volumétrico 24h (%)	Expansión longitudinal 24h (%)	Expansión transversal 24h (%)	Expansión en espesor 24h (%)
20%	P1	161,45	135,18	11,01	5,03	101,71
	P2	207,51	109,64	15,06	7,48	69,508
	P3	207,20	91,91	14,93	1,52	64,493
	P4	247,39	127,90	15,00	12,94	75,468
	P5	242,11	122,84	7,38	6,01	95,753
	P6	196,95	66,78	5,89	3,60	52,033
25%	P1	186,10	61,41	0,95	1,26	57,911
	P2	218,87	123,45	4,98	4,42	103,827
	P3	201,97	95,17	15,50	1,34	66,744
	P4	178,80	56,75	0,34	4,85	48,978
	P5	179,09	83,51	6,68	13,22	51,926
	P6	152,94	91,97	4,23	0,43	83,387
30%	P1	116,33	54,65	0,87	1,03	51,752
	P2	181,53	81,10	3,02	3,25	70,257
	P3	193,70	40,58	5,16	2,06	30,985
	P4	160,88	63,37	6,15	9,14	41,018
	P5	142,06	75,21	2,00	5,78	62,389
	P6	139,86	79,91	2,23	5,33	67,082

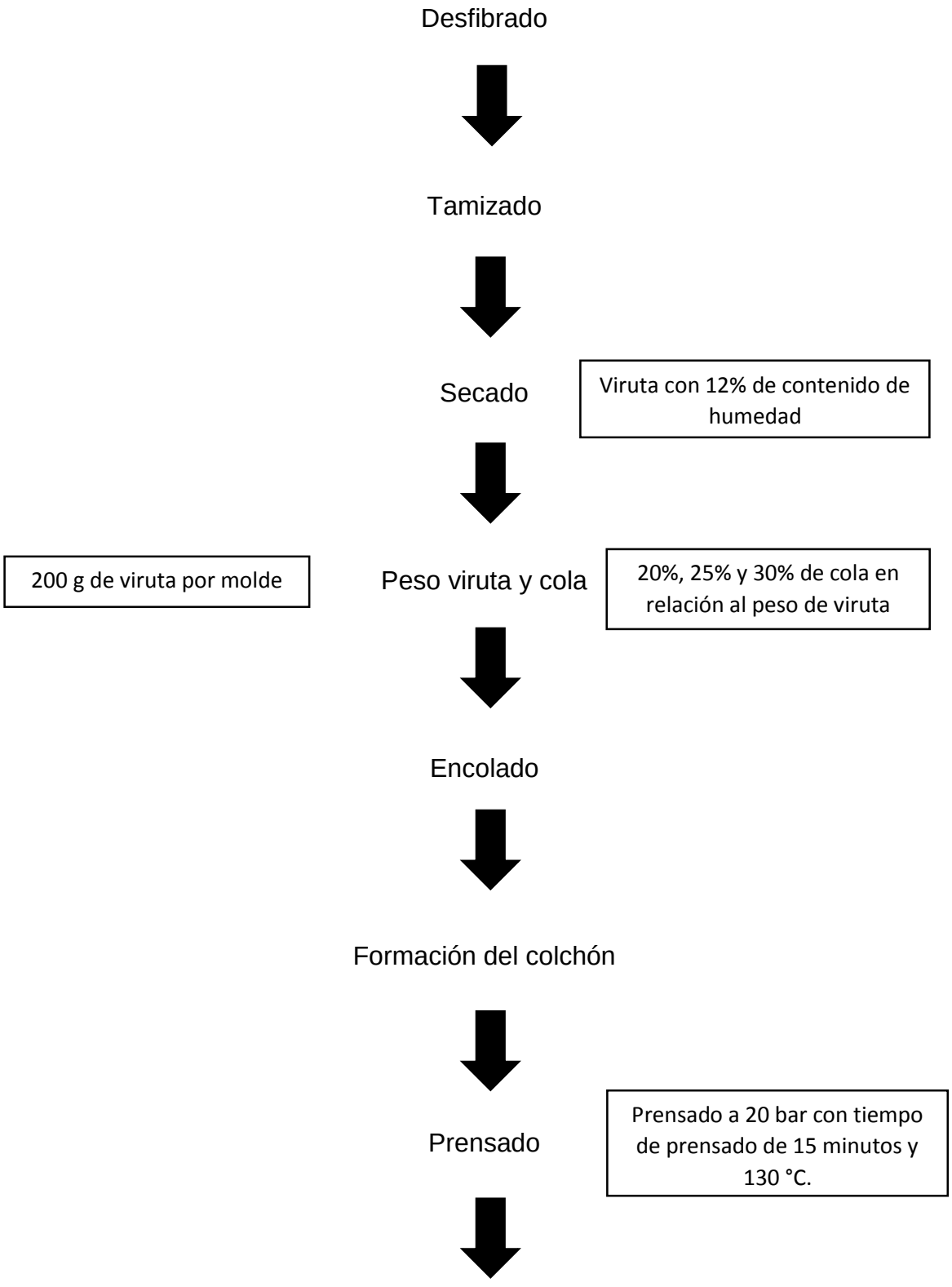
ANEXO 2

VALORES DE PROPIEDADES MECÁNICAS

Tratamiento (%)	N° de probeta	MOR (kg/cm^2)	MOE (kg/cm^2)	Dureza (kg/cm^2)	Compresión (kg/cm^2)	
					CARA	CANTO
20% de adhesivo	1	8,02	15185,63	6,46	6,23	0,41
	2	8,32	16315,98	12,50	3,41	0,39
	3	8,83	11308,12	11,69	3,22	0,64
	4	8,82	20913,34	12,05	5,60	0,57
	5	11,66	11248,64	11,05	3,79	0,29
	6	7,60	11937,54	10,25	5,72	0,12
25% de adhesivo	1	7,25	13142,29	14,24	2,79	1,52
	2	13,16	7744,43	13,20	2,18	1,27
	3	10,52	21899,72	10,94	8,10	0,96
	4	8,79	19090,68	25,00	9,92	0,71
	5	10,50	14821,20	18,99	5,85	0,67
	6	10,54	22951,84	34,70	5,82	0,93
30% de adhesivo	1	12,20	29062,96	14,61	5,75	1,49
	2	11,73	17716,48	16,92	4,80	2,24
	3	11,01	14638,22	22,50	7,32	1,63
	4	6,95	9027,17	17,42	5,72	0,99
	5	8,84	11051,06	21,00	4,52	1,71
	6	9,67	21835,89	14,39	5,10	1,01

ANEXO 3

PROCESO DE FABRICACIÓN DE TABLERO AGLOMERADO



ANEXO 4

PANEL FOTOGRÁFICO

* FLUJOGRAMA PARA FABRICAR TABLERO AGLOMERADO



1. Desfibrado



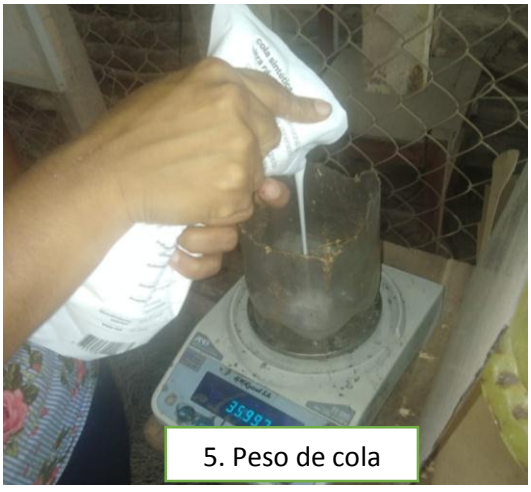
2. Tamizado



3. Secado



4. Viruta seca



5. Peso de cola



6. Peso viruta



7. Encolado de viruta



8. Formación del colchón



9. Llevar a la prensa



10. Prensado

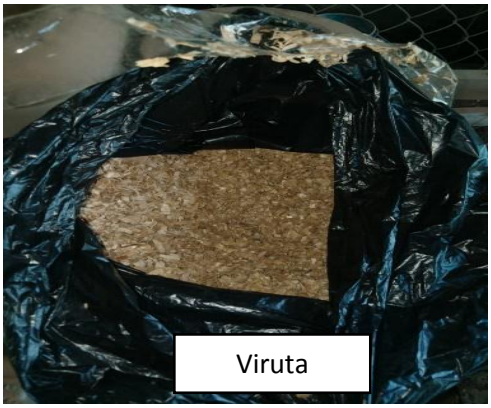


11. Producto

* MATERIALES Y EQUIPOS



Adhesivo

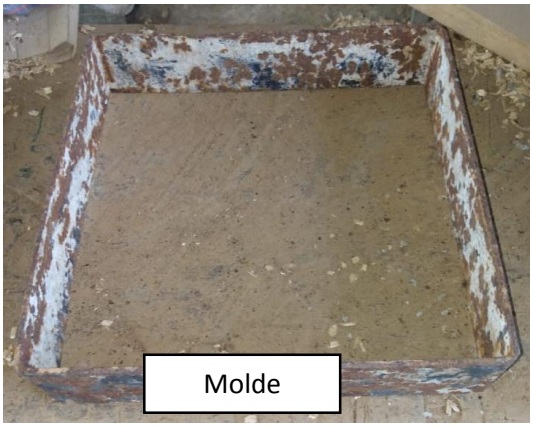

Viruta


Termómetro de alta temperatura


Balanza analítica


Cocina eléctrica


Manómetro


Molde

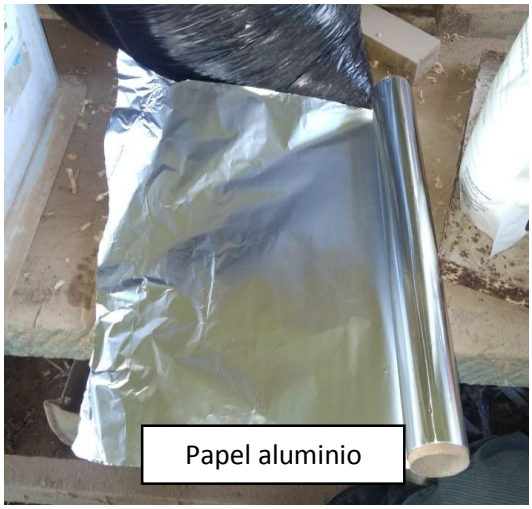

Estufa



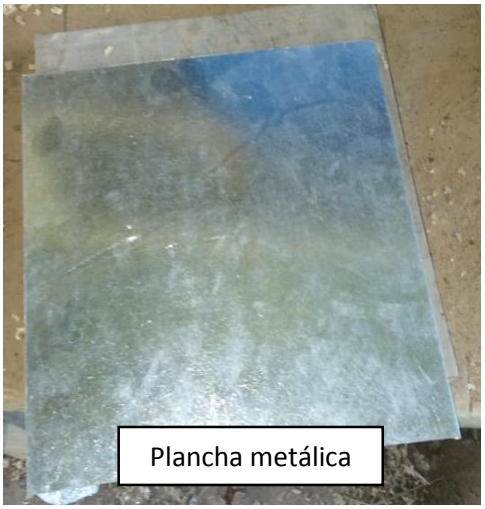
Prensa



Tamiz



Papel aluminio



Plancha metálica

*** ELABORACIÓN DE PROBETAS, ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS**



Elaboración de probetas según medidas



Codificación de probetas



Secado de probetas



Pesado de probetas



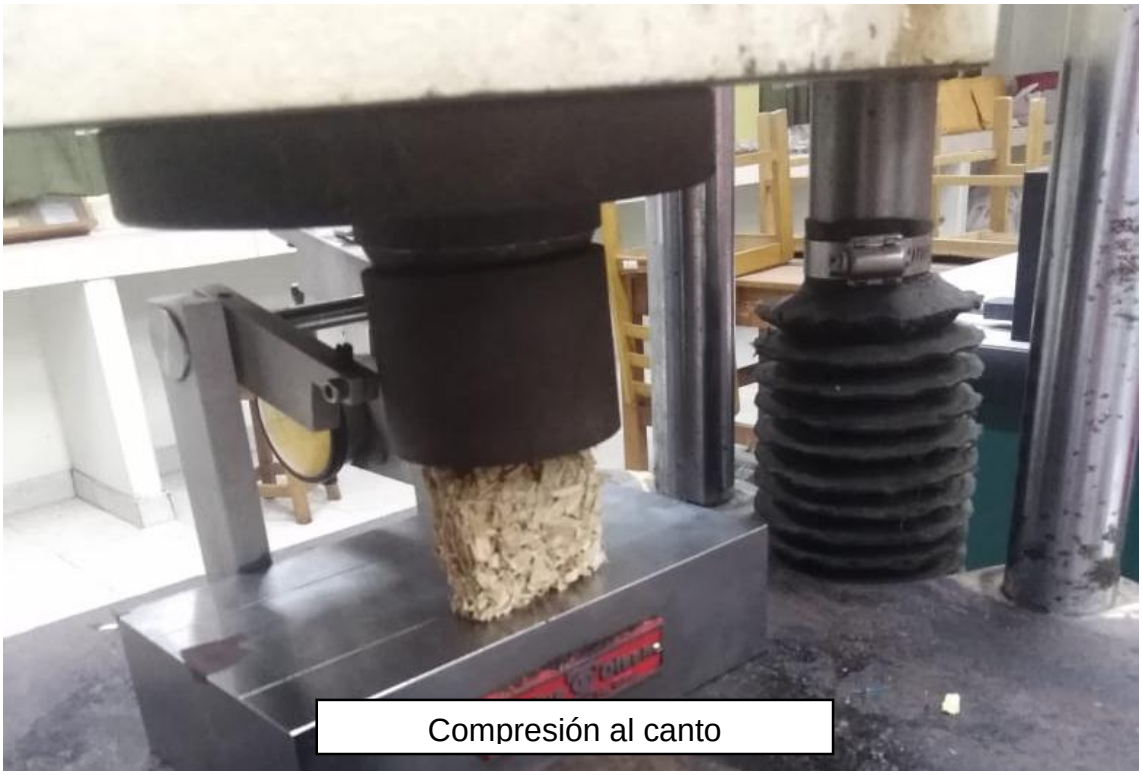
Inmersión de probetas al agua b



Ensayo de dureza



Compresión a la cara



Compresión al canto



Ensayo de flexión estática



Probetas ensayadas