UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

RESISTENCIA MECÁNICA DE TABLEROS ENLISTONADOS DE MADERA DE *Simarouba amara* AUBL (MARUPA) DE PLANTACIÓN, ENCOLADAS UTILIZANDO UNIONES LISAS Y DOS INTENSIDADES DE PRESIÓN

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO FORESTAL

ALVARO PINCHI RODRÍGUEZ

Pucallpa, Perú

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 449 /2023-CGyT-FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 11:30 horas del día lunes 10 de abril del 2023, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, los mismos que estuvo designados con Memorándum Múltiple N° 037-2023-UNU-FCFyA, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera	Presidente
Dr. Desiderio Vásquez Placido	Miembro
Dr. Isaías Alberto Salinas Andrade	Miembro

Se procedió a evaluar la sustentación de la tesis denominado: **"RESISTENCIA MECÁNICA DE TABLEROS ENLISTONADOS DE MADERA DE *Simarouba amara* AUBL (MARUPA) DE PLANTACIÓN, ENCOLADAS UTILIZANDO UNIONES LISAS Y DOS INTENSIDADES DE PRESIÓN"**, presentado por el Bachiller **ALVARO PINCHI RODRIGUEZ**, 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 **APROBADA POR UNANIMIDAD**, con recomendación a publicación, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL**, después de las correcciones respectivas de la tesis.

Siendo las 12:36 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.

Dr. Pedro Aparicio Campos Cabrera
Presidente

Dr. Desiderio Vásquez Placido
Miembro

Dr. Isaías Alberto Salinas Andrade
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por los miembros del 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

Dr. Desiderio Vásquez Placido

Miembro

Dr. Isaías Alberto Salinas Andrade

Miembro

Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas

Asesor

Bach. Alvaro Pinchi Rodriguez

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Nº **V/0094-2023.**

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe final de tesis, titulado:
"**RESISTENCIA MECÁNICA DE TABLEROS ENLISTONADOS DE MADERA DE SIMAROUBA AMARA AUBL (MARUPA) DE PLANTACIÓN, ENCOLADAS UTILIZANDO UNIONES LISAS Y DOS INTENSIDADES DE PRESIÓN**"

Autor(es)	:	**PINCHI RODRÍGUEZ, ALVARO**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. FORESTAL**
Asesor(a)	:	**Dr. SALVADOR CÁRDENAS, MANUEL IVÁN**

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud 7%.**
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 firma y se sella la presente constancia

Fecha: **17/02/2023**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI Dirección General de Producción Intelectual

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

UByP - REPOSITORIO INSTITUCIONAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, ALVARO PINCHI RODRIGUEZ.

Autor(a) de la TESIS de pregrado titulada:

"RESISTENCIA MECÁNICA DE TABLEROS ENLISTONADOS DE MADERA DE SIMAROUBA AMARA AUBL (MARUPA) DE PLANTACIÓN, ENCOLADAS UTILIZANDO UNIONES LISAS Y DOS INTENSIDADES DE PRESIÓN".

Sustentada el año: 2023

Con la asesoría de: Dr. MANUEL IVÁN SALVADOR CÁRDENAS.

En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES.

Escuela 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 tiempoy 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, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 10 / 04 / 2023.

Email: alvaropinchi91@gmail.com

Teléfono: 975 686 250

Firma:

DNI: 47864713

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, salud y fuerza que me brinda día a día y así lograr todos mis objetivos.

A mis padres, Jorge Pinchi y Gloria Rodríguez por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes en las cuales incluyo este, me motivaron constantemente para poder culminar este peldaño en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Manuel Iván Salvador Cárdenas, por su apoyo constante, para hacer posible que culmine con la tesis y por brindarme los conocimiento necesarios en todo este proceso.

A la memoria del Ing. David Lluncor Mendoza y del Sr. Julio Reategui, por su apoyo durante la ejecución de la tesis y por impartirme sus conocimientos.

Al INIA, por apoyarme y facilitarme con la materia prima y hacer posible la ejecución de esta investigación.

Al CITE FORESTAL, por facilitarme el acceso al taller de carpintería y así poder ejecutar la tesis.

A mi esposa, Yolanda Inuma, por haberme apoyado en todo este proceso, comprenderme siempre en todo momento y ser parte de este logro que hoy en día se hizo realidad.

Este nuevo logro es en gran parte gracias a mis padres; he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio podría parecer tarea titánica e interminable. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA……vi

AGRADECIMIENTO……vii

INDICE GENERAL……...viii

ÍNDICE DE TABLAS……..xi

ÍNDICE DE FIGURAS……...xii

RESUMEN……xiii

ABSTRACT……xiv

INTRODUCCIÓN……..xv

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA……1

1.1. Formulación del Problema……...1

1.2. Objetivos……4

1.3. Justificación……3

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO……...5

2.1. Antecedentes del Problema……5

2.2. Planteamiento Teórico del Problema……...12

2.2.1. Simarouba amara Aubl.....12

2.2.1.1. Descripción de la Especie..... 12

2.2.1.2. Características de la Especie.....13

2.2.1.3. Características Macro y Microscópica.....13

2.2.1.4. Características Tecnológicas.....14

2.2.2. Tableros Enlistonados.....15

2.2.2.1. Generalidades del Encolado de la Madera.....15

2.2.2.2. Características de la Unión.....16

2.2.2.3. Factores que Afectan la Unión.....17
2.2.2.4. Adhesivos de la Madera.....18
2.2.3. Resistencia Mecánica.....19
2.3. Definición de Términos Básicos……20
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA……22
3.1. Zona de Estudio……...22
3.2. Método de la Investigación……22
3.3. Materiales, Instrumentos y Equipos……22
3.3.1. Materiales……22
3.3.2. Instrumentos y Equipos……..…...23
3.4. Población y Muestra……23
3.5. Procedimiento de Recolección de Datos……..……..24
3.5.1. Pasos para la Elaboración de los Tableros Enlistonados……..…...24
3.5.1.1. Identificación de la Especie……..…24
3.5.1.2. Procedencia de los Árboles……..……..24
3.5.1.3. Obtención de las Tablillas……24
3.5.1.4. Determinación del Contenido de Humedad……..24
3.5.1.5. Adhesivos a Utilizar (comercial)……..25
3.5.1.6. Fabricación de los Tableros……25
3.5.1.7. Prensado……25
3.5.1.8. Fraguado……25
3.5.1.9. Elaboración de Probetas……..26
3.5.2. Ensayos Mecánicos……28
3.5.2.1. Esfuerzo Mecánico al Cizallamiento……..28
3.5.2.2. Esfuerzo Mecánico a la Tracción Perpendicular……28

3.5.2.3. Ensayo de Flexión Estática…….29

3.5.3. Tratamientos de Datos…….30

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN……32

4.1. Resistencia al Cizallamiento……..32

4.2. Resistencia a la Tracción Perpendicular……..……...36

4.3. Resistencia a la Flexion Estática……..…39

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…….45

5.1. Conclusiones…….45

5.2. Recomendaciones……47

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……..……48

ANEXO……...55

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Propiedades físicas de Simarouba amara Aubl……..…14

Tabla 2: Propiedades mecánicas de Simarouba amara Aubl……..…15

Tabla 3: Número de probetas de tableros encolados y madera sólida……..27

Tabla 4: Esquema del análisis de varianza de los tratamientos (ANVA)……..….30

Tabla 5: Parámetros estadísticos de cizallamiento ……...32

Tabla 6: Análisis de varianza AV1 de cizallamiento……...33

Tabla 7: Parámetros estadísticos a la tracción AV1……..…36

Tabla 8: Análisis de varianza AV1 de tracción……37

Tabla 9: Parámetros estadísticos del MOE ……....39

Tabla 10: Análisis de varianza AV1 del MOE…..……40

Tabla 11: Parámetros estadísticos del MOR …..…….42

Tabla 12: Análisis de varianza AV1 del MOR…….….43

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1: Probetas para el ensayo de cizallamiento……..26

Figura 2: Probetas para el ensayo de tracción perpendicular……..26

Figura 3: Probetas para el ensayo de flexión estática…….27

Figura 4: Resistencia al cizallamiento de tableros encolados y de madera sólida……34

Figura 5: Resistencia a la tracción perpendicular de tableros encolados y de madera sólida……38

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se determinó la resistencia mecánica de tableros enlistonados encoladas con uniones lisas y dos intensidades de presión de 7kgf/cm^2 y 15 kgf/cm^2 con gramaje de 300 g/m^2, en la cual ambos se compararon con el tablero macizo (testigo), todos los tableros conformados por la especie *Simarouba amara* Aubl (Marupa). Se elaboró las probetas en la carpintería y los ensayos mecánicos en el laboratorio de tecnología de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali según lo indicado en la Norma Técnica Peruana. Los resultados indican que el tablero elaborado con presión de 15 kgf/cm^2 no difiere significativamente con el tablero macizo en las propiedades mecánicas como el cizallamiento, tracción perpendicular y módulo de ruptura, excepto en el módulo de elasticidad. El tablero elaborado con presión 7 kgf/cm^2 muestra diferencias significativas con el tablero macizo en las propiedades mecánicas como el cizallamiento, tracción perpendicular, módulo de elasticidad, excepto en el módulo de ruptura. Los tableros enlistonados con presión 7 kgf/cm^2 obtuvo: en cizallamiento 37.24 kgf/cm^2, tracción perpendicular 16.52kgf/cm^2, módulo de elasticidad 670000 kgf/cm^2 y módulo de ruptura 446.13 kgf/cm^2. Los tableros enlistonados con presión de 15 kgf/cm^2 obtuvo en cizallamiento 49.94 kgf/cm^2, tracción perpendicular 25.15 kgf/cm^2, módulo de elasticidad 722375 kgf/cm^2 y módulo de ruptura 527.75 kgf/cm^2.

Palabras clave: Resistencia mecánica, cizallamiento, tracción, flexión, tableros enlistonados, presión y adhesivo.

ABSTRACT

In the present research work, the mechanical resistance of glued slatted boards with smooth joints and two pressure intensities of 7kgf/cm^2 and 15 kgf/cm^2 with a grammage of 300 g/m^2 was determined, in which both were compared with the solid board (control), all the boards made up of the Simarouba amara Aubl (Marupa) species. The specimens were prepared in the carpentry and mechanical tests in the wood technology laboratory of the National University of Ucayali as indicated in the Peruvian Technical Standard. The results indicate that the board made with a pressure of 15 kgf/cm^2 does not differ significantly from the solid board in mechanical properties such as shear, perpendicular traction and modulus of rupture, except in the modulus of elasticity. The board made with pressure 7 kgf/cm^2 shows significant differences with the solid board in mechanical properties such as shear, perpendicular traction, modulus of elasticity, except in the modulus of rupture. The boards slatted with pressure 7 kgf/cm^2 obtained: in shear 37.24 kgf/cm^2, perpendicular traction 16.52 kgf/cm^2, modulus of elasticity 670000 kgf/cm^2 and modulus of rupture 446.13 kgf/cm^2. The boards slatted with a pressure of 15 kgf / cm^2 obtained in shear 49.94 kgf/cm^2, perpendicular tension 25.15 kgf / cm^2, modulus of elasticity 722375 kgf / cm^2 and modulus of rupture 527.75 kgf / cm^2.

Keywords: Mechanical resistance, shear, traction, bending, cleated boards, pressure and adhesive.

INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con una extensión de 128 millones de hectáreas y tiene una población de más de 32 millones 625 mil 948 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informatica INEI, 2020). El Perú cuenta con más de 73 millones de hectáreas de cobertura forestal y alrededor del 89.00% de los bosques del Perú son primarios y el país ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en extensión de bosques tropicales (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2015).

El sector forestal conforma cuatro fases en la cadena de producción: la extracción, la primera trasformación, la segunda transformación y la comercialización de productos finales (Instituto Nacional de Calidad INACAL, 2015). En el Perú existe 317 plantas de transformación primaria correspondiendo 250 a aserraderos, 11 a triplayeras, 04 a laminadoras, 02 a tableros listoneados y 50 a parqueteras (Minaya, 2012). Por otro lado, las industrias de los tableros de madera incremento su demanda, sobre todo en las industrias de la construcción y mueblería (Chacón, 2014).

La importancia del estudio fue proporcionar información técnica a las industrias de tableros enlistonados que tenga como materia prima la madera de *Simarouba amara* Aubl, esto es debido, a información sobre esfuerzos mecánicos de cizallamiento, tracción perpendicular y flexión estática.

Ante lo expuesto se planteó el siguiente objetivo general: Determinar la resistencia mecánica de tableros enlistonados en madera de *Simarouba amara* Aubl (Marupa), encoladas utilizando uniones lisas y dos intensidades de presión. Así mismo, se plantearon los siguientes objetivos específicos: Determinar el esfuerzo de la resistencia al cizallamiento; el esfuerzo de la resistencia a la tracción perpendicular y el esfuerzo de la resistencia a la flexión estática sobre la línea de cola de tableros

enlistonados de madera de *Simarouba amara* Aubl, (marupa) de plantaciones encolados utilizando uniones lisas y dos intensidades de presión y comparar el esfuerzo a la resistencia al cizallamiento, tracción perpendicular y flexión estática sobre la línea de cola de los tableros enlistonados con los tableros de madera sólida de plantaciones, de la especie (*Simarouba amara* Aubl) (marupa).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del Problema

Los tableros a base de elementos de madera son muy antiguos, su aparición está ligada al de la chapa (lámina de madera que se utilizó para construcciones). Los tableros se utilizaban en muebles y objetos decorativos, un ejemplo curioso son las sandalias reales de Tutankamon de suela de madera y chapadas con maderas nobles y otras incrustaciones (Gonzáles et al., 2014). Por otra parte, el Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España CSCAE (2010), menciona que a mediados del siglo pasado empezó a escasear la madera y se potenciaron los tableros. Así mismo, en España 1950 y Alemania 1960 se empezaron a usar tableros alistonados para hacer puertas y muebles.

Los tableros enlistonados son un conjunto de listones de madera, encolados entre sí por medio de un adhesivo, siendo el grosor y la anchura de los listones iguales dentro del mismo tablero. Los listones se unen en sus testas mediante un adhesivo con uniones dentados o lisas (Spavento, 2009). Según Chang-Say y Edgardo (2014), mencionan que en el Perú la madera sigue estando vigente como material para la construcción, tanto por lo estético como por sus propiedades físico - mecánicas, aislamiento y versatilidad.

Las uniones encoladas son esencial en la fabricación de tableros enlistonados. Así mismo, con el encolado se utiliza la madera de pequeñas dimensiones como los residuos obtenidos durante la mecanización de la madera. Las propiedades de los productos encolados se pueden controlar o

predecir mediante una correcta selección o elección de la materia prima y la presión (Chacón, 2014).

Nieto (2019), evaluó el efecto de dos gramajes con el adhesivo acetato de polivinilo (PVA) de tipo D3 y dos intensidades de presión en tableros alistonados de *Guazuma crinita*. Se aplicó dos gramajes de adhesivo (200 g/m^2 y 250 g/m^2) y dos intensidades de presión (7 Kg/cm^2 y 10 Kg/cm^2) en 120 probetas de madera encolada (60 para cizallamiento y 60 para tracción perpendicular). Se concluye que la resistencia de la madera encolada de *G. crinita* es similar a la madera sólida.

1.1.1. Problema General

- ¿Cuál es efecto de dos intensidades de presión en el esfuerzo de resistencia al cizallamiento, tracción perpendicular y flexión estática, en la fabricación de tableros enlistonado en madera de *Simarouba amara* Aubl (Marupa)?

1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el esfuerzo de la resistencia al cizallamiento sobre la línea de cola de los tableros enlistonado de madera de *Simarouba amara* Aubl (marupa), utilizando dos intensidades de presión?
- ¿Cuál es el esfuerzo de la resistencia a la tracción perpendicular sobre la línea de cola de los tableros enlistonado de madera de *Simarouba amara* Aubl (marupa), utilizando dos intensidades de presión?

- ¿Cuál es el esfuerzo de la resistencia a la flexión estática a través del módulo de ruptura (MOR) y de elasticidad (MOE) sobre la línea de cola de los tableros enlistonado de madera de *Simarouba amara* Aubl, (marupa) utilizando dos intensidades de presión?
- ¿Cuál es la diferencia entre el esfuerzo de la resistencia al cizallamiento, tracción perpendicular y flexión estática sobre la línea de cola de los tableros enlistonados y con tableros de madera sólida de *Simarouba amara* Aubl (marupa)?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Determinar el esfuerzo de resistencia mecánica de los tableros enlistonados de *Simarouba amara* Aubl (Marupa) de plantación, encoladas utilizando uniones lisas y dos intensidades de presión.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el esfuerzo de resistencia al cizallamiento sobre la línea de cola de los tableros enlistonados de madera de *Simarouba amara* Aubl (marupa) de plantación, utilizando dos intensidades de presión.
- Determinar el esfuerzo de resistencia a la tracción perpendicular sobre la línea de cola de los tableros enlistonados de *Simarouba amara* Aubl (marupa) de plantación, utilizando dos intensidades de presión.

- Determinar el esfuerzo de resistencia a la flexión estática a través del módulo de ruptura (MOR) y de elasticidad (MOE) sobre la línea de cola de los tableros enlistonado de madera de *Simarouba amara* Aubl, (marupa) utilizando dos intensidades de presión.

1.3. Justificación

Las industrias de segunda transformación de la madera en la actualidad no utilizan las colas para realizar las uniones entre distintas partes y piezas de un producto (Beraún, 2014). Asi mismo, valoran mucho las piezas de madera de gran dimensión (comercial) y se tienden a desvalorizar las pequeñas (Chang-Say, 2014). En la presente investigación resulta de especial interés conocer la resistencia mecánica de los tableros enlistonados de *Simarouba amara* Aubl, para una posibilidad técnica de un mejor uso de la madera, con uniones encoladas y aumento de valor agregado de los productos.

La presente investigación surge de la necesidad de estudiar un adhesivo comercial en la fabricación de tableros enlistonados, con el propósito de determinar sus resistencias mecánicas por el requerimiento existente en el mercado por los productos de la madera de *Simarouba amara* Aubl.

La investigación busca proporcionar información que será útil para el mercado de nuevos productos de tableros enlistonados. Así mismo, de logar el aprovechamiento de los residuos obtenidos durante la mecanización de la madera (madera de pequeñas dimensiones).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

Nieto (2019), evaluó el efecto de dos gramajes con el adhesivo Acetato de Polivinilo (PVA) de tipo D3 y dos intensidades de presión sobre la línea de cola en uniones de cantos lisos para tableros enlistonados de *Guazuma crinita*, proveniente de una plantación de 5 años. Se obtuvo 120 probetas de madera encolada (60 para cizallamiento y 60 para tracción perpendicular) y se aplicó dos gramajes de adhesivo (200 g/m^2 y 250 g/m^2), 4 minutos de exposición, 10 minutos de ensamble, dos intensidades de presión (7 Kg/cm^2 y 10 Kg/cm^2), tiempo de prensado de 2 horas y tiempo de fraguado de 48 horas. El valor más alto de resistencia al cizallamiento sobre la línea de cola fue 58,73 Kgf/cm^2 y para tracción perpendicular de 21,55 Kgf/cm^2. Se concluye que la resistencia de la madera encolada de *G. crinita* es similar a la madera sólida.

Beraún (2014), evaluó el efecto de dos intensidades de presión y dos gramajes de cola en la resistencia al cizallamiento y tracción perpendicular sobre la línea de cola con el adhesivo Acetato de Polivinilo (PVA) de tipo D3, en uniones lisas en madera de *Calycophyllum spruceanum* Benth (Capirona). Las fabricaciones de los tableros enlistonados fueron con dos intensidades de presión de 9 y 12 Kg/cm^2 y gramaje de 350 y 400 g/m^2. Así mismo, se comparó la resistencia de los tableros enlistonados con tableros entarugados como testigo. La resistencia al cizallamiento y tracción perpendicular presentó mayores valores en el tratamiento dos con 91.72 Kg/cm^2 y 42.90 Kg/cm^2 y en el testigo presentó valores de 33.27 Kg/cm^2 y 14.58 Kg/cm^2.

Chacón (2014), evaluó la resistencia de la uniones encoladas de canto lisos en la industria de tableros y sus propiedades mecánicas (cizallamiento y tracción). Se utilizó un adhesivo a base de resina sintética Acetato de Polivinilo (PVA, D4), en dos dosis 534 g/cm^3 y 874 g/cm^3, con dos intensidades de presión 10.60 Kgf/cm^2 y 12.47 Kgf/cm^2. La resistencia de las uniones encoladas presentó mayor ventaja con respecto al sistema tradicional de fabricación de tableros con tarugos.

Ramírez, Reyes y Angulo (2016), evaluaron el efecto de cinco intensidades de presión en la resistencia mecánica a los esfuerzos de cizallamiento y tracción perpendicular en tableros encolados de *Calycophyllum spruceanum.* Se aplicaron las siguientes intensidades de presión con torques: 9 lb pie^{-2}, 11 lb pie^{-2}, 13 lb pie^{-2}, 15 lb pie^{-2} y 17 lb pie^{-2} en los tableros encolados con un gramaje de adhesivo (Acetato de Polivinilo de tipo D4) de 300 g/m^2. Se presentó diferencia significativa entre las presiones aplicadas a la resistencia al cizallamiento y a la tracción perpendicular en la madera encolada. Así mismo, hubo diferencia entre la madera maciza y madera encolada. Las intensidades de presión 17 lb pie-^{2}, 15 lb pie-^{2} y 13 lb pie^{-2} mostraron mayor resistencia al esfuerzo al cizallamiento en la línea de cola. Así mismo, las intensidades de presión 15 lb pie^{-2}, 11 lb pie^{-2} y 9 lb pie^{-2} mostraron mayor resistencia al esfuerzo mecánico de tracción perpendicular en la línea de cola.

González (2007), realizó un análisis técnico - económico de la producción a pequeña escala de tableros enlistonados, utilizando la especie *Grevillea robusta*. Se evaluó la resistencia (flexión estática y tracción perpendicular) al esfuerzo cortante de las líneas de adhesivo, en dos situaciones de prensado. La resistencia promedio al cizallamiento para el prensado en caliente y en frío

fueron de 3,6 y 5,7 N/mm^2. La resistencia promedio a la flexión estática de las uniones dentadas, fue de 12,0 N/mm^2.

Londoño et al., (2013), propone que los tableros enlistonados es una alternativa de materia prima para el sector de la madera y el mueble. Los tableros permiten mejorar las propiedades mecánicas y el aspecto de la madera, lográndose un producto de mayor calidad; además es posible fabricarlos con tecnología apropiada y son un mercado potencial por sus aplicaciones en la ingeniería, la arquitectura y el diseño de productos.

Nash (2003), determinó el grado de aprovechamiento de la madera de álamo proveniente de trozas de diámetro inferior en la fabricación de tableros enlistonados, fabricados a partir de piezas de madera unidas entre sí mediante el sistema finger-joint y posteriormente encolados de canto. El total de trozas fueron 12 en estado verde, determinando contenido de humedad, un corte óptimo de aserrío, densidad, contracción, estabilidad dimensional y módulo de elasticidad. Durante el proceso de fabricación se evaluó el rendimiento de la materia prima en cada una de las etapas y la calidad del tablero a través de algunos ensayos físicos y mecánico. Los resultados obtenidos nos permiten concluir que la última troza del árbol en comparación con las trozas inferiores presenta un buen comportamiento en la fabricación de tableros enlistonados, propiedades físico – mecánicas similares, pero un rendimiento volumétrico menor.

Días (2003), evaluó la utilización del adhesivo poliuterano a base de ricino, en la producción de tableros de madera contraplacada, con láminas de la especie *Eucalyptus grandis*. La eficiencia del adhesivo fue evaluada por ensayos físico/mecánicos, basados en las normas de la Asociación Brasileña de Normas

Técnicas – ABNT. Los resultados indican que el adhesivo poliuretano a base de ricino es una alternativa viable para la producción de tableros de madera contraplacada.

Martínez et al., (2014), evaluaron las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica y se compararon con los tableros convencionales (tablero de partículas de bagazo de caña, tablero contrachapado y tablero de fibras de bagazo de caña). El tablero de madera plástica se elaboró con residuos de la industria forestal (aserrín), residuos industriales (termoplásticos) y aditivos químicos en proporciones de 50, 30 y 20%, el tablero se obtuvo mediante moldeo por extrusión. Los resultados indican que las propiedades físicas de los tableros de madera plástica mejoraron con el aumento de la densidad. La absorción de agua e hinchamiento fueron menores respecto a los tableros convencionales, mientras que las propiedades mecánicas (flexión, compresión y tracción) fueron superiores. La tracción, flexión y compresión en los tableros de madera plástica fue estadísticamente similar ($P > 0.05$) que en los tableros contrachapados. Dadas sus propiedades, se considera que los tableros de madera plástica son capaces de sustituir tanto a los convencionales como a los de madera en condiciones de intemperie.

Rangel, Moreno, Trejo y Valero (2017), determinaron sus propiedades físico-mecánicas en tableros aglomerados de partículas de *Eucalyptus urophylla*. Se utilizó la norma Alemana Instituto Alemán de Normalización (DIN) y Venezolana Comisión Venezolana de Normas Industriales (CONEVIN). 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.

Poblete y Burgos (2010), evaluaron la madera de *Eucalyptus nitens* como materia prima para tableros de partículas. Se fabricaron tableros con densidades entre 450 y 750 kg/m^3 y se determinaron las propiedades de flexión, tracción perpendicular, densidad de los tableros, hinchamiento y absorción de agua. Las características de la madera, de las partículas y las propiedades de los tableros demuestran que la madera de *Eucalyptus nitens* es apta para ser utilizada en la fabricación de estos aglomerados. A medida que aumenta la densidad del tablero se provoca un aumento en las propiedades mecánicas.

Tenorio, Moya y Camacho (2012), determinaron las propiedades físicas y mecánicas de tableros terciados manufacturados con chapas de *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Acacia mangium* provenientes de plantaciones forestales para usos estructurales. Se analizaron tres tableros (plywood) de cada una de las especies, se realizó una caracterización general y se midieron sus principales propiedades físicas y mecánicas. Los resultados mostraron que los tableros producidos con árboles de *T. grandis* en general presentan propiedades físicas y de resistencia superiores a las de *G. arborea* y *A. mangium*.

Pelen, Poblete y Inzunza (1998), determinaron el efecto de la madera de duramen y albura de *Acacia melanoxylon* sobre las propiedades de tableros de partículas. Se confeccionaron tableros de tres capas, con 16 mm de espesor y con una densidad de 640 Kg/m^3. Se determinó que el duramen presentó un mayor contenido de extraíbles y un menor valor de pH que la albura. Así mismo,

a medida que se incrementa la cantidad de duramen se mejoran las propiedades, salvo en el caso de tracción.

Poblete, Diaz-Vaz, Juacida, Niemz y Rolleri (1994), determinaron el rendimiento y la resistencia al cizalle de la madera y de las uniones de los tableros enlistonados, proveniente del raleo de renovales de Raulí (*Nothofagus alpina*) y Pino Insigne (*Pinus radiata*) de plantaciones industriales. Como adhesivo se usó polivinil acetato. La resistencia al cizalle de la madera de Raulí fue alrededor de 4 N (40%) más alta que la de P. Insigne. Las resistencias al cizalle de las uniones de Raulí superaron las exigencias de la norma EN 204.

Barrios, Polo y Barrios-Padura (1994), determinaron la resistencia mecánica de madera laminada encolada. Las propiedades mecánicas de la madera laminada se determinaron mediante la norma francesa NFB-52001. Los ensayos mostraron dispersión de los datos en la comprensión axial, tracción paralela a las fibras con o sin unión encolada en el centro, flexión estática y cortadura.

Cotrina, Sangay y Vermiglio (2014), analizaron las propiedades mecánicas de la madera de *Pino radiata* mediante pruebas de compresión en laboratorio. Se contrastó con lo especificado en la norma peruana E.010 para clasificar las muestras de madera en los distintos grupos especificados en la norma. Se obtuvieron los diagramas de esfuerzo vs deformación unitaria, esencial para determinar el módulo de elasticidad del material. Existe una diferencia en la resistencia de la madera *Pino radiata* cuando es sometida a distintas cargas de presión (paralela y perpendicular a sus fibras).

Alvis, Cabas y Valencia (2017), analizaron las propiedades físico-mecánicas de la madera de la especie Uraco (*Ocotea brevipetiolata*). Se

realizaron ensayos de propiedades físicas (densidad y contracción) y de propiedades mecánicas (flexión, cizallamiento, compresión paralela y perpendicular a la fibra), considerando lo establecido por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Los resultados obtenidos muestran que la especie *Ocotea brevipetiolata* presenta una densidad básica (0,54 g/cm³), considerada como una madera mediana a medianamente pesada. Las propiedades mecánicas según la clasificación de las normas americanas ASTM, muestran que la madera presenta una resistencia media a la flexión, cizallamiento y a la resistencia a compresión paralela y perpendicular a las fibras; indicando que esta madera puede llegar a soportar cargas moderadas.

Rivero y Moya (2016), determinaron las principales propiedades físicas y mecánicas de la teca (*Tectona grandis* Linn. F) proveniente de plantaciones experimentales de 8 años de edad. La metodología empleada se fundamenta en las normas ASTM (American Society for Testing and Materials). Se determinó que la densidad al 12% de contenido de humedad fue de 0.58 g/cm^3, el módulo de ruptura (MOR) registrado fue de 963.60 kg/cm^2 y el módulo de elasticidad de 105313.21 kg/cm^2.

Igartúa, Moreno y Monteoliva (2015), se enfocaron en la determinación de la densidad normal y las propiedades mecánicas de la madera de *Acacia melanoxylon* implantada en Argentina, y en analizar la relación entre estas variables. Se determinó la densidad aparente conforme a la norma IRAM 9544 y los ensayos mecánicos se ejecutaron sobre cuerpos de prueba pequeños y libres de defectos según los lineamientos de la norma ASTM D 143. Los resultados de las propiedades mecánicas son los esperados para una madera de densidad media y pueden considerarse adecuados para el uso de la especie

en la industria de la construcción y del mueble. Los modelos de regresión entre la densidad y las propiedades mecánicas exhibieron valores del coeficiente de determinación (R2) comprendidos entre 0,70 y 0,87.

2.2. Planteamiento Teórico del Problema

2.2.1. *Simarouba amara Aubl.*

Encarnación (1983) citado por Vilcayahuri (2009), menciona que comúnmente en el Perú se le denomina a ésta especie como Marupá; Bolivia: Amaro; Brasil: Marupá, Tamanqueira, Marupauba, Parapaíba, Papariuba, Craiba; Colombia: Marupá; Ecuador: Cuña; Guyana: Simarouba; Guyana Francesa: Simarouba, Marupa, Simarupa; Suriname: Soemaroeba; Panamá: Aceituno; Venezuela: Carruco, Cedro blanco.

2.2.1.1. Descripción de la especie

Mostacero (2002) citado por Shupingahua (2016), define que la Marupa es una especie forestal nativa, con características maderables valiosas y tiene un uso muy difundido en el Perú. Está considerada entre las cinco especies forestales más apreciadas por el poblador amazónico desde el punto de vista económico y comercial. Los árboles de Marupa forman parte del estrato dominante del bosque donde se desarrollan y puede alcanzar una altura total entre 25 m y 50 m, además, una altura comercial entre 15 m a 25 m.

2.2.1.2. Características de la especie

Según Sibille (2006), se encuentra en zonas altas con suelos arenosos bien drenados, en las formaciones de bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM) en transición a bosque húmedo Tropical (bh-T). Generalmente crece asociada con las especies: *Jacaranda spp*, *Sclerolobium spp*, *Laetia spp* y *Guatteria spp*. Según las zonas y los resultados de inventarios disponibles, el volumen bruto de la Marupa varía de 0,3 a 1,6 m^3/ha (con un diámetro a la altura del pecho superior a 0,40 metros).

2.2.1.3. Características macro y microscópica

Según Arostegui (1974) citado por Vilcayahuri (2009), la Marupa presenta las siguientes características macroscópica: el duramen recién cortado es de color crema, frecuentemente con un tinte amarillo o verduzco. Por otra parte, cuando se seca se vuelve blancuzco o blanco amarillento. La albura no está diferenciada, además, los anillos de crecimiento están diferenciados y visibles a simple vista demarcados por bandas oscuras y claras de forma regular, ligeramente excéntricos. Por otro lado, presenta textura media, grano generalmente recto, sabor amargo y veteado tipo satinado suave.

Según Sibille (2006), la Marupa presenta las siguientes características microscópica: anillos de crecimiento ligeramente diferenciados; poros visibles a simple vista, difusos, solitarios de forma redonda, múltiples radiales, muy pocos con 2 a 3 poros/mm^2; parénquima visible con lupa de 10 aumentos, asociado a los poros, paratraqueal vasicéntrico y aliforme confluente, no estratificadas; radios visibles a simple vista, poco numerosos de 3 a 6/mm lineal, no

estratificados; fibras libriformes, septadas y estratificadas.

2.2.1.4. Características tecnológicas

La Marupa presenta una densidad básica de 0,36 g/cm^3 y se clasifica como madera ligera (Tabla 1). Por otro lado, la madera presenta una contracción muy baja y presenta un buen comportamiento al secado, además, son muy estables dimensionalmente (Quintana, Cabudivo, Espíritu y Cabudivo, 2011).

Tabla 1

Propiedades físicas de Simarouba amara Aubl.

Propiedades físicas	Datos	Unidad	Clasificación
Densidad	0,36	g/cm^3	Baja
Contracción tangencial	6,70	%	
Contracción radial	2,90	%	
Contracción volumétrica	9,40	%	Baja
Relación T/R	2,40		Regularmente

Fuente: Sibille (2006).

La Marupa presenta un modulo de elasticidad de 77 000 Kg/cm^2 y un Módulo de Rotura (MOR) de 427,00 Kg/cm^2 y se clasifica como una madera de propiedades mecánicas baja (Tabla 2). Por su resistencia mecánica baja generalmente se usa la madera en cajonería, mueblería y en elementos mobiliarios (Consorcio Exportador de Madera de Ucayali - CEMU, 2017).

Tabla 2

Propiedades mecánicas de Simarouba amara Aubl.

Propiedades mecánicas	Datos	Unidad	Clasificación
Módulo de elasticidad en flexión	77 000	Kg/cm^2	Muy flexible
Módulo de rotura en flexión	427,00	Kg/cm^2	Baja
Compresión paralela (RM)	201,00	Kg/cm^2	Baja
Compresión perpendicular (ELP)	33,00	Kg/cm^2	Baja
Corte paralelo a las fibras	64,00	Kg/cm^2	Mediana
Dureza en los lados	204,00	Kg/cm^2	Baja
Tenacidad (resistencia choque)	1,63	Kg/cm^2	Baja

Fuente: Sibille (2006).

2.2.2. Tableros enlistonados

Está formado por listones de madera de longitudes iguales o diferentes, unidos entre sí por medio de un adhesivo, siendo el grosor y la anchura de los listones iguales dentro del mismo tablero (Asociación de Investigación Técnica de las Industria de la Madera y Corcho AITIM, 2011).

2.2.2.1. Generalidades del Encolado de la Madera

La madera laminada encolada es un material creado a partir de la trasformación de la madera natural, que mantiene todas las propiedades de esta, incluso se ve mejorada en muchos aspectos. Una de las grandes posibilidades con que la madera laminada encolada aventaja a la madera aserrada es la posibilidad de crear cualquier sección, de acuerdo con las

necesidades, sin tener en cuenta las limitaciones de la naturaleza (Pascual, 2013).

Por otro lado, la Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y Corcho AITIM (2015), los adhesivos se pueden utilizar para fabricar productos estructurales, como por ejemplo madera laminada encolada o tableros derivados de la madera, o para obtener elementos de madera de mayores dimensiones en condiciones controladas.

2.2.2.2. Características de la Unión

Según la Asociación de Investigación Técnica de las Industria de la Madera y Corcho AITIM (2015), para la unión de dos piezas de madera mediante un adhesivo se tienen las siguientes características de unión.

- **Mezcla:** Disponer de equipo adecuado para mezclar la resina.
- **Presión:** Asegurar un contacto ajustado entre las partes y que el adhesivo penetre en la superficie de la madera. Sin embargo, debe evitarse una presión excesiva tal, que el adhesivo no sea expulsado.
- **Tiempo:** El factor en el tiempo es relativo a la actuación del adhesivo. El tiempo abierto es el tiempo entre la aplicación del adhesivo y el juntado de las piezas. El tiempo cerrado se refiere al tiempo entre el juntado de las piezas y la aplicación de la presión. El tiempo de apriete, que viene determinado por la duración de la fase de prensado de los elementos encolados.
- **Temperatura:** El adhesivo debe trabajar bajo diferentes condiciones de temperatura. En la fabricación de productos encolados o en su utilización

para unir piezas la temperatura ambiente puede afectar a la vida de la mezcla, duración del tiempo abierto y cerrado.

Según Sibille (2006) citado por Beraún (2014), la madera se encola en base a dos tipos de uniones:

- Unión mecánica: la cola se introduce en los poros de las superficies al unir la madera y después por el fraguado, la cola se convierte en un sólido de gran cohesión, anclado fuertemente en ambas piezas que quedan perfectamente unidas.
- Unión específica: resulta de la atracción química entre los grupos activos polares de la cola.

2.2.2.3. Factores que Afectan la Unión

Bruna (2006), Poblete (1978), Carmona (1998), Poblete y Cueva (1998) y Gallardo (1999) citado por Beraún (2014), mencionan los factores que afecta la unión:

- Contenido de humedad: con una óptima humedad de la madera se produce una unión resistente. Una humedad excesiva no se efectuará la adhesión, produciendo problemas en el prensado.
- Densidad: mayor de resistencia de unión se obtiene con madera de densidad baja, debido, a que la penetración del adhesivo es mayor. Por otra parte, en maderas de alta densidad se produce uniones débiles, debido, fundamentalmente a la mala transferencia de adhesivo entre los sustratos o a un excesivo escurrimiento lateral al momento de aplicar presión.

- Condiciones de la superficie: una superficie dañada por una mala mecanización origina problemas en la unión de los tableros enlistonados.
- Dirección de la fibra: la inclinación de las fibras respecto al plano de cola tiene influencia sobre las propiedades de adhesión.
- Orientación de los anillos de crecimiento anual: la adhesión está en función de la naturaleza y porosidad de la superficie de la madera. Por lo tanto, según la orientación de los anillos, la superficie a encolar puede presentar distintas características que serán determinadas según la disposición relativa de los elementos anatómicos.

2.2.2.4. Adhesivos de la Madera

El uso de adhesivos en la madera es muy antiguo. Los adhesivos son utilizados para la fabricación de paneles, placas de filamentos orientados (OSB) y placas de fibras, así mismo, presenta el mercado más grande de producción de madera (Quevedo, s.f.).

Según Madrid (s.f.), los adhesivos presentan las siguientes ventajas con respecto a otros métodos de ensanmblaje de materiales: distribución uniforme de tensiones, rigidez de las uniones, aislamiento y reducción del número de componentes. Así mismo, la adhesión presenta inconvenientes tales como: espera de los tiempos de curado, necesidad de preparación superficial y dificultad de desmontaje.

Por otro lado, Quevedo (s.f.) menciona que en el mercado existen una inmensa gama de productos para adherir sustratos. Así mismo, las características de un adhesivo necesitan coincidir con las necesidades del

enlace ensamblado final y también necesita ser compatible con el substrato y las condiciones de proceso del enlace. Algunos de los tipos de adhesivos que existen se clasifican según su uso o composición, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Adhesivos inorgánicos: son el cemento y yeso.
- Adhesivos orgánicos: son generados a base de proteínas (animales y vegetales). Por otro parte, las composiciones naturales que forman adhesivos son las colas de proteínas, adhesivos de tanino y adhesivos de lignina.
- Adhesivos sintéticos: son aquellos de reacciones formaldehídicas como el fenol, resorcinas, urea y melanina.

2.2.3. Resistencia Mecánica

La resistencia mecánica es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse. La resistencia mecánica de un cuerpo depende de su material y de su geometría (Pérez, 2014).

Según, Mercedes (2012), el uso correcto de la madera requiere del conocimiento de sus características mecánicas. Los valores de resistencia tienen gran importancia en las aplicaciones de la madera en la construcción, así mismo, estas propiedades varían de una especie a otra. Por otro lado, se realizan los siguientes ensayos:

- Cizallamiento: deformación lateral que se produce por una fuerza externa, también llamado corte, cortadura.

- Tracción perpendicular: esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto y tienden a estirarlo.
- Flexión estática: aplicación de una fuerza al centro de una barra soportada en cada extremo.

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Tableros enlistonados:** Son formados por listones de madera, de longitudes iguales o diferentes, encolados entre sí por medio de un adhesivo, siendo el grosor y la anchura de los listones iguales dentro del mismo tablero (Spavento y Keil, 2009).

- **Propiedades mecánicas:** Describen el comportamiento de un material sólido al aplicarle fuerzas de tracción, compresión y torsión (Murillo, 2018).

- **Adhesivo:** Sustancia capaz de mantener unidas las superficies en contacto sólidos, ya sean del mismo o distinto material (Pérez y Merino, 2018).

- **Encolado:** Es el procedimiento de unión que emplea cola como pegamento. Es una unión rígida y duradera (Jensen, 2013).

- **Madera estructural:** Piezas de madera que fueron clasificadas estructuralmente por alguno de los procedimientos reconocidos en la

normativa (clasificación visual o mecánica) y de las que se conocen sus propiedades mecánicas (Asociación de Investigación Técnica de las Industria de la Madera y Corcho AITIM, 2018).

- **Presión:** Es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea (Wikipedia, 2020).

- **Uniones de canto liso:** Son uniones de dos o más piezas de madera sólida previamente encolados, cuyos cantos están provisto de perfil similar (Chacón, 2014).

- **Cantos:** Sibille (2006) citado por Beraún (2014), indica que son las superficies planas menores, paralelas entre si y al eje longitudinal de la pieza.

- **Tiempo abierto:** Tiempo que comienza con la aplicación de la cola y termina en el momento en que la película de la cola, ya no es capaz de humectar la otra cara del encolado (Chacón, 2014).

- **Unión mecánica:** Hernández (2004) citado por Beraún (2014), está dada por la forma de unión entre el sustrato y el adhesivo mediante un anclaje mecánico.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Zona de Estudio

La investigación se realizó en el Taller de Carpintería (Elaboración de las probetas enlistonadas) y en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, ambos de la Universidad Nacional de Ucayali (resistencia mecánica de las probetas enlistonadas), ubicado en la Carretera Federico Basadre Km 6,200, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, region Ucayali. También, se realizó en la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en el distrito La Molina en Lima (resistencia mecánica de las probetas de la madera sólida).

3.2. Método de la Investigación

El método de la investigación fue experimental, dado que, se analizó la variable independiente que son los tipos de presión (7 Kgf/cm^2 y 15 Kgf/cm^2), en tableros enlistonados. De manera que, se evaluó su resistencia al esfuerzo de cizallamiento, tracción perpendicular y flexión estática (variable dependiente).

3.3. Materiales, Instrumentos y Equipos

3.3.1. Materiales

- Tablillas.
- Cola comercial.
- Marcadores de tinta indeleble.
- Cuaderno de apunte y lápiz.

- Probetas.

3.3.2. Instrumentos y Equipos

- Cámara fotográfica.
- Sierra de cinta y de disco.
- Cepilladora y garlopa.
- Taladro y torno.
- Calibrador milimétrico.
- Prensa universal Tinius Olsen.

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

La población fue finita, fue constituida por 16 tableros enlistonados de dimensión de (10 cm de ancho, 1.5 m de largo y 2 cm de espesor) y 08 tableros sólidos de dimensión (8 cm de ancho, 1.5 m de largo y 2 cm de espesor), se debe agregar que, el total de tableros fue de 24 tableros, obtenidos de tres árboles de *Simarouba amara* Aubl de una plantación de 10 años.

3.4.2. Muestra

La muestra fue constituida por 8 tableros enlistonados y 04 tableros de madera sólida de la especie *Simarouba amara* Aubl, elegido aleatoriamente.

3.5. Procedimiento de Recolección de Datos

3.5.1. Pasos para la Elaboración de los Tableros Enlistonados

3.5.1.1. Identificación de la Especie

La identificación de la especie se realizó anatómicamente a nivel microscópico y por el método de comparación con los archivos de identificación de especies forestales, que existen en la Estación Experimental Agraria Pucallpa – INIA.

3.5.1.2. Procedencia de los Árboles

Los árboles procedieron del raleo de una plantación de 10 años, las cuales fueron donados por la Estación Experimental Agraria – INIA – Pucallpa.

3.5.1.3. Obtención de las Tablillas

Las tablillas utilizadas para el estudio se elaboraron a base de listones previamente cortadas por la sierra de cinta y sierra de disco.

3.5.1.4. Determinación del Contenido de Humedad

En la fabricación de las tablillas se realizó el control de humedad, mediante un higrómetro de pines. Las tablillas fueron secadas hasta el 12.00% del contenido de humedad.

3.5.1.5. Adhesivos a Utilizar (comercial)

Para la fabricación de los tableros enlistonados se utilizó un adhesivo comercial (cola extra). Cabe mencionar que, el adhesivo es la más utilizada en la localidad y de costo accesible. Así mismo, se tuvo en cuenta las especificaciones técnicas del fabricante y la seguridad en su aplicación. La fabricación de los tableros enlistonados se realizó en el taller de carpintería de la UNU.

3.5.1.6. Fabricación de los Tableros

Se cepillaron las tablillas en un primer momento las cuatro caras y luego se volvió a cepillar los cantos para darle una mejor uniformidad. Para el encolado de las tablillas se utilizó una brocha plana N° 10 en un solo canto de cada tablilla con un gramaje de 300 g/m^2.

3.5.1.7. Prensado

Una vez encolados los cantos de cada tablilla, se puso en la prensa las cuales fueron sometidas a dos intensidades de presión (7 Kgf/cm^2 y 15 Kgf/cm^2) en un tiempo sugerido (24 horas).

3.5.1.8. Fraguado

Una vez finalizado el tiempo de prensado (24 horas), se retiró los tableros de la prensa, y se colocaron en ambientes secos donde la línea del adhesivo pudo alcanzar su máxima resistencia.

3.5.1.9. Elaboración de Probetas

Las probetas fueron obtenidas del centro de los tableros, donde fueron cortadas en hileras perpendiculares a la línea del adhesivo. Por otro lado, las probetas fueron diseñados para esfuerzos de cizallamiento, tracción perpendicular y flexión estática. Las probetas tienen las siguientes dimensiones (Figura 1, 2 y 3).

Figura 1

Probetas para el ensayo de cizallamiento

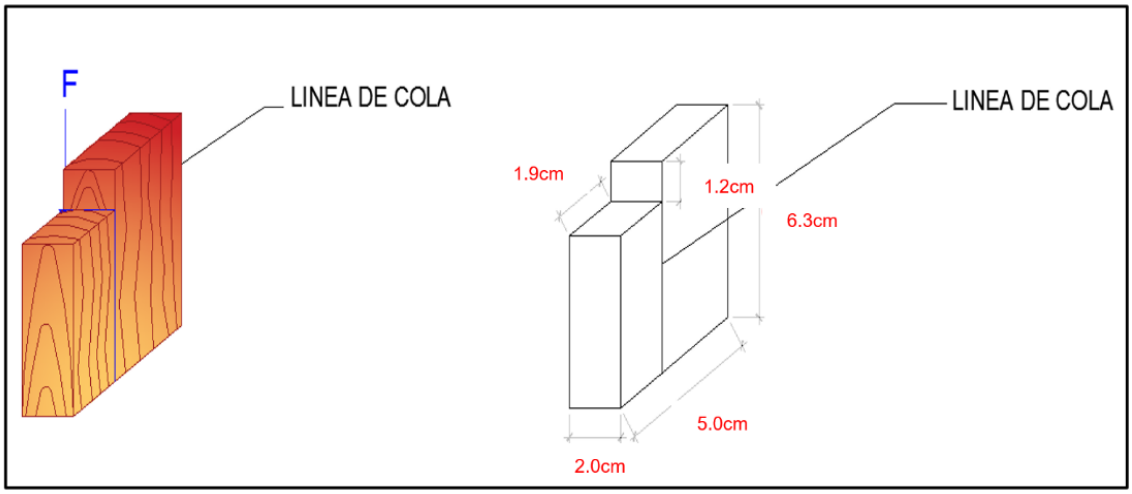


Figura 2

Probetas para el ensayo de tracción perpendicular

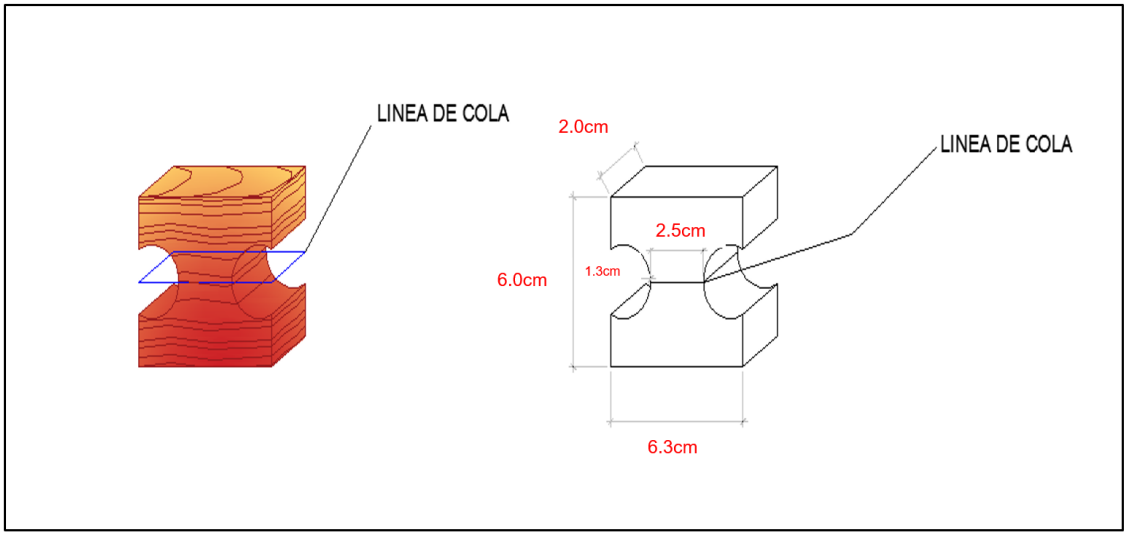
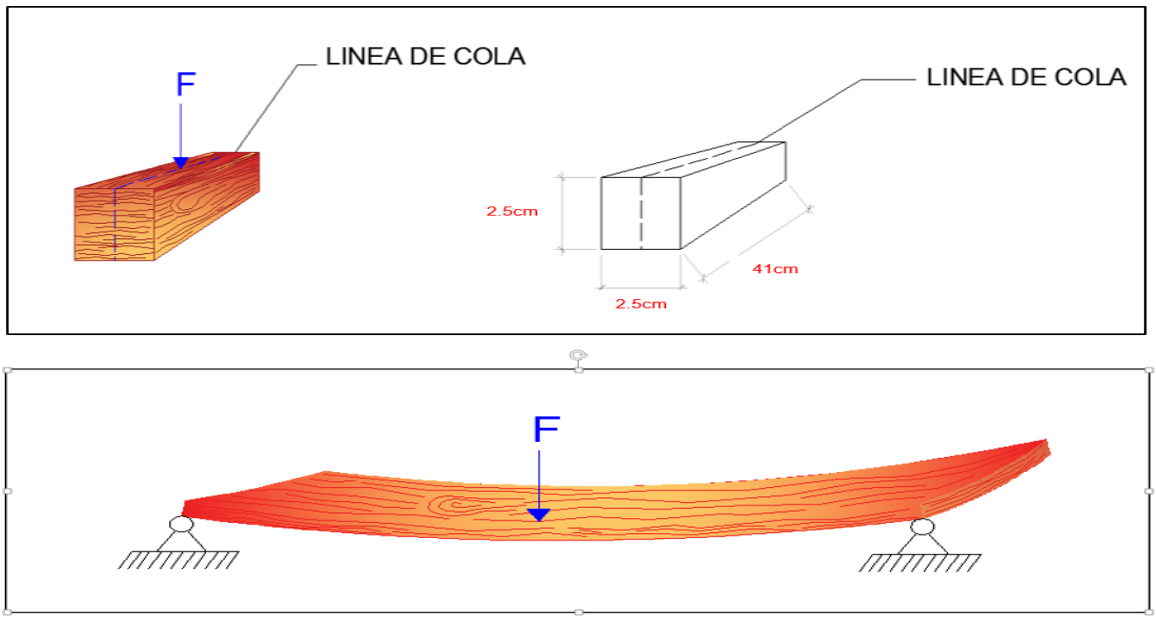


Figura 3

Probetas para el ensayo de flexión estática



Por otro lado, en la tabla 3 se muestra el número de probetas encoladas y testigos utilizados para los ensayos mecánicos.

Tabla 1

Número de probetas de tableros encolados y madera sólida

Propiedad mecánica	Factor b	Probetas encoladas	Probetas sólidas (testigo)
Cizallamiento	P1 (07 Kgf/cm^2)	8	8
	P2 (15 Kgf/cm^2)	8	
Tracción	P1 (07 Kgf/cm^2)	8	8
	P2 (15 Kgf/cm^2)	8	
Flexión	P1 (07 Kgf/cm^2)	8	8
	P2 (015 Kgf/cm^2)	8	
Total de repeticiones (n.)		48	24

Donde:

Factor a: Resistencia a ensayos mecánicos Kgf/cm^2.

Factor b: Intensidades de presión Kgf/cm^2.

p: Variante del primer factor (3).

q: Variantes del segundo factor (2).

n: Número de repeticiones (8).

n.: Total de repeticiones (p * q * n).

3.5.2. Ensayos Mecánicos

3.5.2.1. Esfuerzo Mecánico al Cizallamiento

Los ensayos de esfuerzo mecánico al cizallamiento de los tableros enlistonados de madera de *Simarouba amara* Aubl (marupa) sobre la línea de cola con uniones lisas, se realizaron adecuando las probetas a la norma NTP 251.013. Para el cálculo se utilizó la siguiente relación:

$$E\ cizalle\ = \frac{Q}{a\ x\ l} = \ \mathrm{Kgf}/cm^2$$

Dónde:

Q: Carga para la cual se obtiene la falla de la probeta (Kg).

I: Promedio de las alturas del plano de falla de la probeta (cm).

a: Promedio de los anchos del plano de falla de la probeta (cm).

3.5.2.2. Esfuerzo Mecánico a la Tracción Perpendicular

Los ensayos de esfuerzo mecánico a la tracción perpendicular de los tableros enlistonados (*Simarouba amara* Aubl) sobre la línea de cola con

uniones lisas, se realizaron adecuando las probetas a la norma NTP 251.085. Para el cálculo se utilizó la siguiente relación:

$$E\ tracción\ perp. = \frac{Q}{a\ x\ l} = \ \mathrm{Kgf}/cm^2$$

Dónde:

Q: Carga para la cual se obtiene la falla de la probeta (Kg).

I: Promedio de las alturas del plano de falla de la probeta (cm).

a: Promedio de los anchos del plano de falla de la probeta (cm).

3.5.2.3. Ensayo de Flexión Estática

Los ensayos de flexión estática de los tableros enlistonados (*Simarouba amara* Aubl) sobre la línea de cola con uniones lisas, se realizaron adecuando las probetas a la norma ITINTEC 251.008 y 251.009. Para el cálculo se utilizaron las siguientes expresiones de resultados el Módulo de Ruptura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE):

Cálculo del Módulo de Ruptura MOR

$$\mathrm{MOR} = \frac{3\ P\ x\ L}{2\ a\ x\ e^2} = \ \mathrm{Kgf}/cm^2$$

Donde:

P: Carga máxima (Kgf).

L: Distancia entre los soportes, luz de la probeta (cm).

a: Ancho de la probeta (cm).

e: Espesor de la probeta (cm).

Cálculo del módulo de elasticidad (MOE)

$$\text{MOE} = \frac{P1\ x\ L^3}{4\ \ a\ x\ e^3\ x\ Y}$$

Donde:

P1: Carga al límite proporcional (Kgf).

L: Distancia entre los soportes, luz de la probeta (cm).

a: Ancho de la probeta (cm).

e: Espesor de la probeta (cm).

Y: Deflexión en el centro de la luz al límite proporcional (cm^3).

3.5.3. Tratamiento de Datos

Para el análisis de las propiedades mecánicas, se aplicó el análisis de varianza de un factor (AV1), teniendo como único factor tipo de tableros (encolado P1, encolado P2 y madera sólida) (Tabla 4). Por otro lado, para determinar la comparación de medias con el testigo se realizó el análisis por separado (AV1) y se utilizó el método de Dunnett (comparar las medias de "p" tratamientos con un testigo).

Tabla 2

Esquema del análisis de varianza de los tratamientos (ANVA)

Fuente de Variación	Gl	SC	CM	F_{obs}/F_{tab}
Tipo de tableros	p – 1	SCa	CMa	
Error	p (n – 1)	SCr	CMr	
Total	pn –1	SCt		

Donde:

Factor a: Tipo de tableros.

p: Variante del primer factor.

n: Número de repeticiones (8).

n.: Número de unidades experimentales (p * n).

SCa y SCb: Suma del cuadrado factorial.

SCr: Suma de cuadrado del error.

SCt: Suma de cuadrado del total.

CMa: Cuadrado medio factorial.

CMr: Cuadrado medio del error.

Los estadígrafos de tendencia central y de dispersión para la expresión de los resultados fue la media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resistencia al Cizallamiento

En la tabla, se observa los valores de la resistencia mecánica al cizallamiento entre el tablero de madera sólida (testigo) y dos tableros enlistonados elaborados con dos intensidades de presión (7 Kgf/cm^2 y 15 Kgf/cm^2) respectivamente.

Tabla 5

Parámetros estadísticos de cizallamiento

Parámetros	Unidad	CIZALLAMIENTO		
		P1	P2	Testigo
Repeticiones	N° probeta	8	8	8
Promedio	Kgf/cm²	37.24	49.94	65.73
Valor máximo	Kgf/cm²	52.42	63.61	75.60
Valor mínimo	Kgf/cm²	14.88	8.00	53.88
Mediana	Kgf/cm²	36.70	56.08	67.47
Desviación estándar	Kgf/cm²	11.43	18.40	7.93
Coeficiente de variación	%	0.31	0.37	0.12

P1: Tablero elaborado con presión 7kgf/cm^2, P2: tablero elaborado con presión 15kgf/cm^2

El análisis de varianza indica que existe diferencias altamente significativas en la resistencia mecánica al cizallamiento sobre la línea de corte entre los tableros elaborados con dos intensidades de presión (7 Kgf/cm^2 y 15 Kgf/cm^2) y tableros de madera sólida, todas ellas con la especie de *Simarouba amara* Aubl (Tabla 5).

Tabla 6

Análisis de varianza AV1 de cizallamiento

Fuente de Variación	Gl	SC	CM	F_{obs}	sig.	F_{tab}	H
Entre tableros	2	3258.74	1629.37	9.19	0.01	3.47	**
Error	21	3724.79	177.37				
Total	23	6983.53					

Al haber un testigo se realizó la prueba dunnet (α=0.05) existiendo un valor mínimo y máximo de 49.89 kgf/cm^2 y 81.57 kgf/cm^2 respectivamente en la cual aquellos promedios que están dentro de ese rango serán similares al testigo. La prueba indica que ligeramente el tablero elaborado con presión de 15 kgf/cm^2 se asemeja a la resistencia al cizallamiento que ofrece el testigo. Finalmente, el tablero elaborado con presión de 7 kgf/cm^2 presentó diferencias estadísticas y menor resistencia al cizallamiento que el testigo (ver anexo).

PRUEBA DUNNET

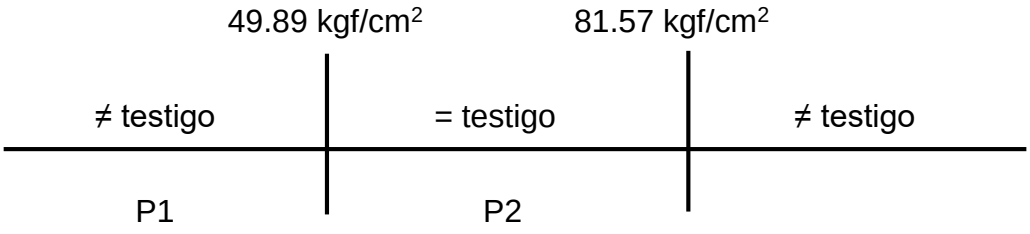
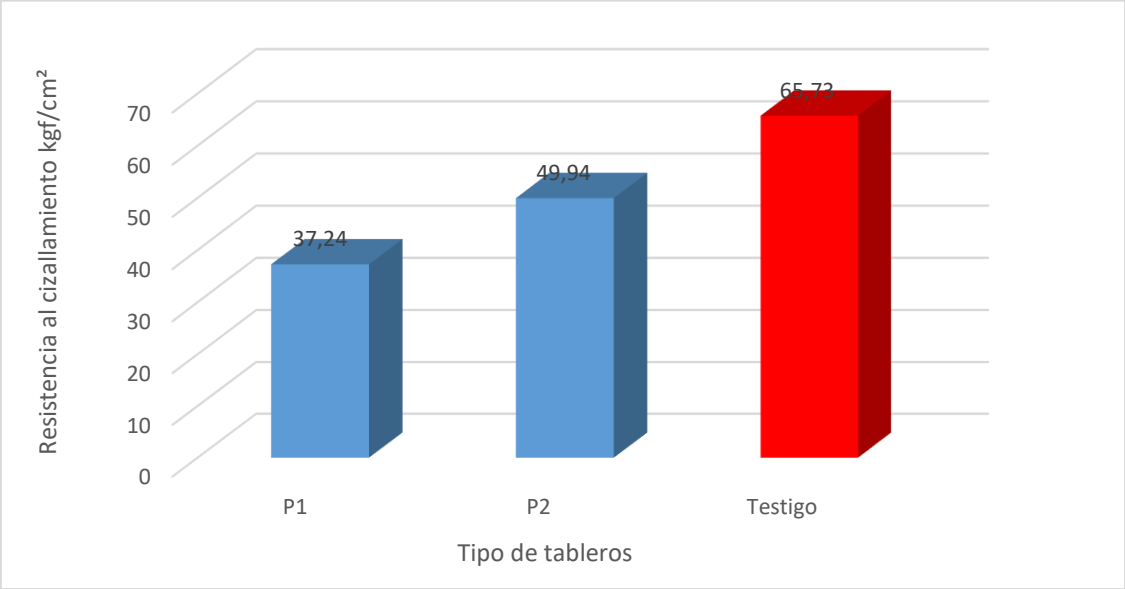


Figura 4

Resistencia al cizallamiento de tableros encolados y de madera sólida



En lo que respecta a la resistencia al cizallamiento los tableros enlistonados elaborados con dos intensidades de presión presentaron valores inferiores al tablero macizo, si bien es cierto que la función de la unión encolada busca ser resistente al igual que la madera misma, pues esta dependerá no solo de la calidad del adhesivo sino también de las propiedades físicas y químicas de la especie (Takahashi, 2002), Coincidiendo con Beraún (2014), quien obtuvo mejores resultados en los tableros macizos con 115.39 kgf/cm^2 que los tableros elaborados con intensidades de presión de 9 y 12 kgf/cm^2 y dos gramajes (350 y 400 g/m^2). Similar resultado presentó Chacón (2014) con la madera sólida de *Ormosia coccínea* (huayruro), aunque Nieto (2019), concluyó que la resistencia mecánica al cizallamiento sobre la línea de corte en madera encolada de *Guazuma crinita* es similar a la madera sólida.

Otros factores importantes que intervienen en las propiedades mecánicas son las condiciones de las superficies a encolarse, espesor de las piezas, la

forma de extendido de la línea de cola, presión, temperatura y tiempo de prensado (Takahashi, 2002). (Henkel, 2004), agrega que otra dificultad para la penetración del adhesivo es el contenido de humedad por lo que se tiene que considerar la contracción, hinchamiento, pH y rugosidad de la madera.

La marupa es una especie que presenta densidad baja por lo cual el tablero mejoró sus propiedades mecánicas cuando se fue subiendo la presión contradiciendo con (Frihart & Hunt, 2010) quien señala que una presión cercana a 7 kg/cm^2 es adecuada para maderas de baja densidad, aunque Carrasco citado por (Viveros, 2007) afirma que las líneas de cola de poco espesor además de ahorrar adhesivo otorgan una mayor resistencia en la unión, menos riesgos de coloraciones y un fraguado más rápido.

En uniones encoladas con polivinilo (PVA) con la especie tornillo (Guerra, 2015), determinó que la resistencia de la unión encolada alcanza valores ligeramente inferiores a los de la madera sólida, asimismo el incremento de la presión de prensado y el extendido de cola tienen un efecto favorable en la resistencia al cizallamiento en tornillo. Aunque para la madera de Quinilla colorada, (Takahashi, 2002), encontró una resistencia al cizallamiento de 155, kg/cm^2 alcanzando valores cercanos a los de la madera sólida con el uso de cola caseína, encolado doble (de ambas superficies), de la misma forma afirma que la resistencia con un encolado doble es mayor que con el encolado simple a un mismo gramaje. El mismo autor manifiesta que la alta dureza de lados dificulta la aplicación uniforme de la presión de prensado, recomendando el encolado de superficies lisas y libres de ondulaciones o irregularidades.

Las propiedades de las uniones encoladas según (López, 1976), dependen principalmente de las propiedades físico – mecánicas, geometría de

la unión y de las condiciones ambientales. (Gonzáles, 2007) afirma que existe una relación inversa entre la rugosidad superficial y la resistencia al cizallamiento.

4.2. Resistencia a la Tracción Perpendicular

En la tabla 7 se observa los valores de la resistencia mecánica a la tracción de dos tableros enlistonados elaborados de (*Simarouba amara* Aubl) con dos intensidades de presión de 7 Kgf/cm^2 y 15 Kgf/cm^2 respectivamente y tableros de madera sólida (testigo) de *Simarouba amara.*

Tabla 7

Parámetros estadísticos a la tracción AV1

Parámetros	TRACCIÓN		
	P1	P2	Testigo
Repeticiones	8	8	8
Promedio	16.52	25.15	32.70
Valor máximo	34.07	33.97	38.34
Valor mínimo	4.15	13.64	28.66
Mediana	15.71	26.40	32.18
Desviación estándar	11.45	7.25	3.11
Coeficiente de variación	0.69	0.29	0.10

P1: tablero elaborado con presión 7kgf/cm^2, P2: tablero elaborado con presión 15kgf/cm^2

El análisis de varianza indica que existe diferencias altamente significativas en la resistencia mecánica a la tracción sobre la línea de cola entre los tableros enlistonados elaborados con dos intensidades de presión (7 Kgf/cm^2 y 15 Kgf/cm^2) y el tablero macizo (testigo), todas ellas de la especie *Simarouba amara* Aubl (Tabla 8).

Tabla 8

Análisis de varianza AV1 de tracción

ANÁLISIS DE VARIANZA							
Fuente de Variación	Gl	SC	CM	Fobs	sig.	Ftab	H
Entre tableros	2	1048.84	524.42	8.14	0.01	3.47	**
Error	21	1352.29	64.39				
Total	23	2401.13					

La prueba Dunnet indica que el tablero elaborado con presión de 15 kgf/cm^2 (P2) no muestra diferencias estadísticas en la resistencia a la tracción con el tablero macizo (testigo) ya que su promedio se encuentra ubicado entre los valores 23. 15 kgf/cm^2 y 42.25 kgf/cm^2. Finalmente, el tablero elaborado con 7 kgf/cm^2 (P1) muestra diferencias estadísticas con el tablero macizo presentando valores inferiores a esta y al tablero elaborado con 15 kgf/cm^2.

PRUEBA DUNNET

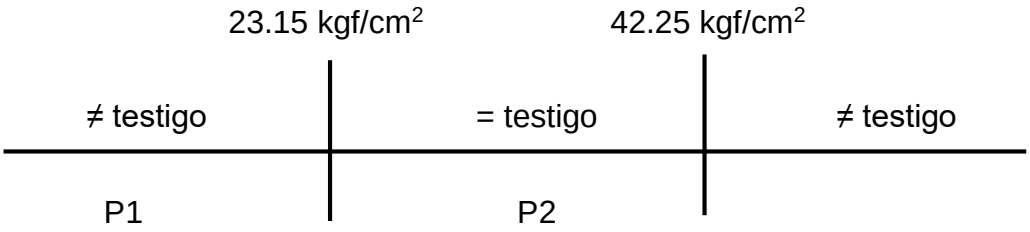
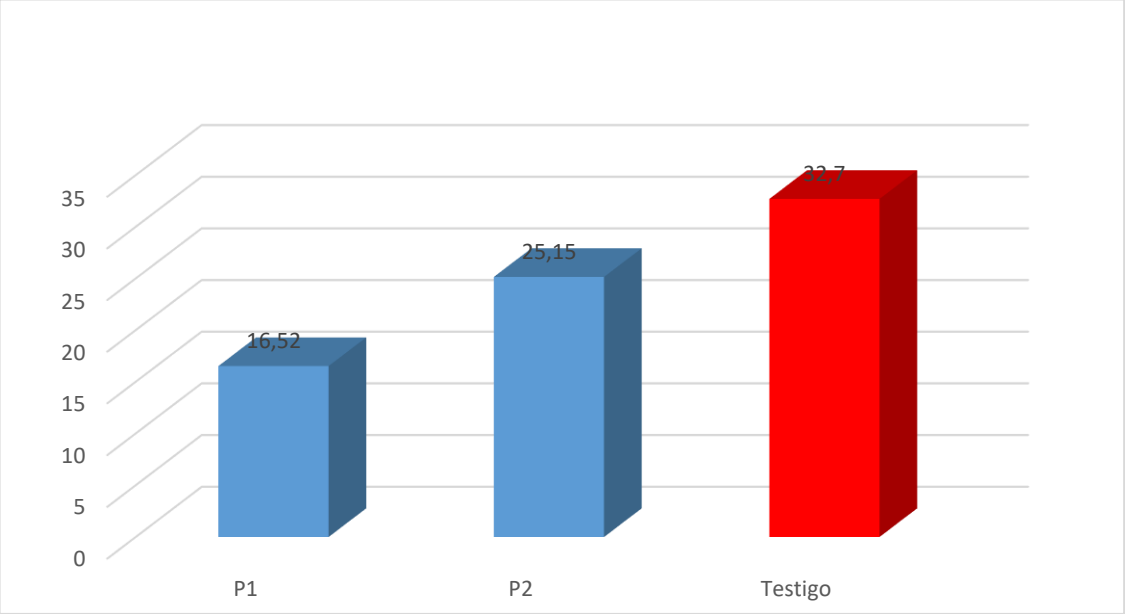


Figura 5

Resistencia a la tracción perpendicular de tableros encolados y de madera sólida



Como se observa el tablero alistonado con presión de 15 kgf/cm^2 (P2) muestra mayor resistencia que el tablero con presión 7 kgf/cm^2 (P1) contradiciendo con Nieto (2019), quien menciona que la resistencia mecánica a la tracción disminuye en comparación a la madera sólida debido al aumento de presión ya que provoca escurrimiento de la cola y a la misma ves se contradice con los resultados de Ramírez, Reyes y Angulo (2016), quienes obtuvieron valores menores en tracción a medida que aumentaba la presión ejercida (con presión 9 lb pie^{-2} obtuvo 46.18 kgf/cm^2 y con presión 17 lb pie^{-2} obtuvo 37.25 kgf/cm^2).

La resistencia de los tableros depende también de otros factores como las propiedades físicas y químicas de la madera, temperatura, tiempo de prensado, condiciones de las superficies a encolarse, el espesor y la forma del extendido de la línea de cola, tal como también lo indica Poblete y Burgos (2010).

4.3. Resistencia a la Flexión Estática

En la tabla 9 se observa los valores de MOE de los tableros alistonados con presión 7 Kgf/cm^2 (P1) y 15 Kgf/cm^2 (P2) y de tablero macizo (testigo), todas ellas de la especie *Simarouba amara,* se utilizaron 8 probetas para cada tratamiento.

Tabla 9

Parámetros estadísticos del MOE

Parámetros	MOE		
	P1	P2	Testigo
Repeticiones	8	8	8
Promedio kgf/cm²	670000.00	722375.00	166083.77
Valor máximo kgf/cm²	779000.00	828000.00	219193.68
Valor mínimo kgf/cm²	571000.00	669000.00	134513.78
Mediana kgf/cm²	665500.00	703000.00	164705.69
Desviación estándar kgf/cm²	83334.10	49378.82	24287.32
Coeficiente de variación **%**	0.12	0.07	0.15

P1: Tablero elaborado con presión 7kgf/cm^2, P2: tablero elaborado con presión 15kgf/cm^2

El análisis de varianza indica que existe diferencias altamente significativas en el MOE entre los tableros elaborados con dos intensidades de presión 7 Kgf/cm^2 y 15 Kgf/cm^2 respectivamente con los tableros macizos (testigo) (Tabla 10).

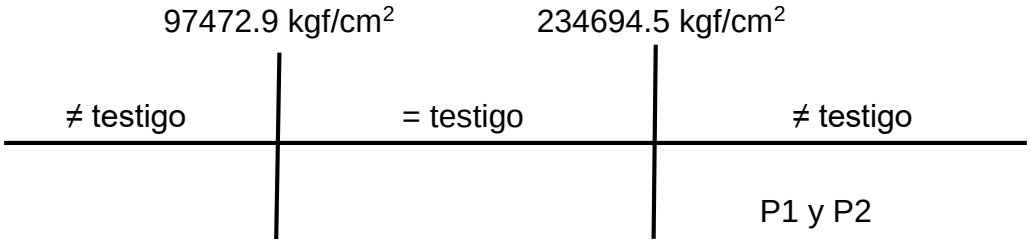
Tabla 10

Análisis de varianza AV1 del MOE

Fuente de Variación	Gl	SC	CM	Fobs	sig.	Ftab	H
Entre tableros	2	1.5097E+12	7.54846E+11	227.07	0.01	3.46	**
Error	21	6.9809E+10	3324237745				
Total	23	1.5795E+12					

La prueba dunnet indica que los tableros elaborados con presión de 7 kgf/cm^2 (P1) y presión 15 kgf/cm^2 (P2) respectivamente muestran diferencias estadísticas en el módulo de elasticidad con el tablero macizo (testigo), además presentan promedios muy superiores al testigo.

PRUEBA DUNNET



El tablero con presión 7 kgf/cm^2 y tablero con la presión 15 kgf/cm^2 presentan buena unión encolada por lo que ofrecen mejor resistencia a la deformación que la madera sólida. Sin embargo, los valores obtenidos son superiores a los encontrados por Alvis, Cabas y Valencia (2017), quienes obtuvieron con la especie *Ocotea brevipetiolata* valor en MOE de 164 539 Kgf/cm^2, en la especie *Tectona grandis* de 105 313 Kgf/cm^2 (Rivero y Moya, 2016).

Como se observa los tableros elaborados con la especie marupa de densidad baja ofrece mejor resistencia a la deformación en comparación con la madera sólida contradiciendo a Igartúa, Moreno y Monteoliva (2015) quien menciona que los tableros elaborados con densidades media y alta presentan mejor resistencia, agregando que existe una relacion entre la densidad y las propiedades mecanicas en un rango de 70% y 87%. Los tableros alistonados son mas rigidos si presentan mayor valor en el MOE, y a la inversa los materiales con menor MOE son mas fáciles de doblar bajo carga (Mercedes, 2012).

En lo que respecta al módulo de elasticidad, pues las propiedades mecánicas del tablero guardan relación con la especie de la cual están fabricados los listones. En la configuración de la estructura interna de estos tableros predomina la dirección longitudinal de los elementos de madera sólida, de tal forma que su acomodo forma una placa compuesta por elementos de dimensiones que no pueden considerarse partículas o pliegues de madera. Así que las propiedades de anisotropía del módulo de elasticidad de la especie que conforma los listones, serán transferidas al comportamiento global del tablero, de acuerdo con (Bodig & Jayne, 1982). Además, los tableros enlistonados presentan un acomodo de los listones que favorece la dirección longitudinal de la madera.

En la tabla 11, se muestra los valores en el módulo de ruptura (MOR) de los tableros elaborados con 7 kgf/cm^2 (P1) y tableros con presión 15 kgf/cm^2 (P2) y el tablero macizo (testigo), todas ellas de la especie *Simarouba amara* Aubl en la cual se utilizaron 8 probetas para cada tratamiento.

Tabla 11

Parámetros estadísticos del MOR

Parámetros	MOR		
	P1	P2	Testigo
Repeticiones	8	8	8
Promedio	446.13	527.75	505.97
Valor máximo	531.00	630.00	657.99
Valor mínimo	344.00	443.00	148.81
Mediana	447.00	528.50	572.91
Varianza	4302.98	4126.21	26163.55
Desviación estándar	65.60	64.24	161.75
Coeficiente de variación	0.15	0.12	0.32
Suma	3569.00	4222.00	4047.79
Suma de cuadrado	1622341.00	2257044.00	2231216.72
Sumatoria de cuadrado	30120.88	28883.50	183144.82

P1: tablero elaborado con presión 7kgf/cm^2, P2: tablero elaborado con presión 15kgf/cm^2

El análisis de varianza indica que no existe diferencias significativas en el MOR entre los tableros elaborados con 7 kgf/cm^2 y 15 kgf/cm^2 respectivamente con el tablero macizo (testigo), todas ellas con la especie de *Simarouba amara* Aubl (Tabla 12). La prueba dunnet refuerza lo demostrado en la ANVA.

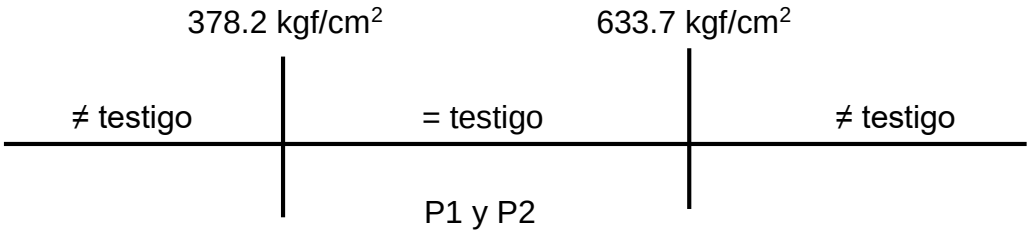
Tabla 12

Análisis de varianza AV1 del MOR

Fuente de Variación	Gl	SC	CM	Fobs	sig.	Ftab	H
Entre tableros	2	28583.16	14291.58	1.24	0.01	3.47	NS
Error	21	242149.19	11530.91				
Total	23	270732.35					

(α:0.05)

PRUEBA DUNNET



El valor del tablero macizo (testigo) en el MOR se asemeja a lo encontrado por Quintana, Cabudivo, Espíritu y Cabudivo (2011), quienes determinaron valor del MOR de la especie la especie *Simarouba amara* (Aubl.) de 593.00 Kgf/cm^2, demostrándose que en ambos casos son inferiores al MOR de la especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) con 744.00 Kgf/cm^2. Esto se debe a que la densidad influye en un 70% en el MOR Igartúa, Moreno y Monteoliva, (2015) y el 30% está influenciado por las condiciones climáticas, topografía y procedencia de la madera (Moncayo, Narváez Muños, Villacís y Melo, 2017), otra influencia directa que afecta a la resistencia a la flexion es la inclinacion de la fibra (Almeida, 2015).

La madera con la que se trabajó proviene de una plantación en la cual sus propiedades tienen un efecto favorable debido a los tratamientos silviculturales como el espaciamiento, distanciamiento y aclareo.

En tal sentido la madera que se utilizará para la fabricación de tableros alistonados debe cumplir el requisito de aptitud al encolado, así como también los lados a encolar no deben presentar defectos, aunque esto dependerá del tipo de tablero que se producirá. La superficie debe estar limpia o libre de partículas extrañas, aceite o aserrín, todo esto conlleva a una mala unión encolada provocando posteriormente propiedades mecánicas no favorables. También podemos agregar que la correcta alineación de los listones al momento del encolado resultará mejores cualidades tecnológicas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- De acuerdo al Objetivo general los resultados nos indican que el tablero elaborado con presión de 15 kgf/cm^2 no difiere significativamente con el tablero macizo en las propiedades mecánicas como el cizallamiento, tracción perpendicular y módulo de ruptura, excepto en el módulo de elasticidad

- De acuerdo al objetivo específico 1, se concluye que el tablero elaborado con presión 15 kgf/cm^2 obtuvo resistencia al cizallamiento de 49.94 kgf/cm^2, no mostrando diferencias estadísticas con el tablero macizo quien obtuvo resistencia al cizallamiento de 65.73 kgf/cm^2, sin embargo estas difieren significativamente con el tablero elaborado con presión 7 kgf/cm^2 que obtuvo una resistencia de 37.24 kgf/cm^2.

- De acuerdo al objetivo específico 2, se concluye que el tablero elaborado con presión 15 kgf/cm^2 obtuvo una resistencia a la tracción perpendicular de 25.15 kgf/cm^2 no mostrando diferencias estadísticas con el tablero macizo quien obtuvo resistencia a la tracción de 32.70 kgf/cm^2, sin embargo, estas difieren con el tablero elaborado con presión 7 kgf/cm^2 que obtuvo una resistencia a la tracción perpendicular de 16.52kgf/cm^2.

- De acuerdo al Objetivo Específico 3, en cuanto a la flexión estática módulo de ruptura (MOR), los resultados nos demuestran que el tablero elaborado con presión de 7kgf/cm^2 obtuvo un valor en el módulo de ruptura de 446.13 kgf/cm^2 y el tablero elaborado con presión 15 kgf/cm^2 obtuvo 527.75 kgf/cm^2, los tableros mencionados no difieren en el módulo de ruptura con el tablero macizo quien obtuvo 505.97 kgf/cm^2.

  Respecto a la flexión estática del módulo de elasticidad (MOE) se concluye que: Los tableros elaborados con presión de 7 kgf/cm^2 presento valor 670000 kgf/cm^2 en el módulo de elasticidad y el tablero elaborado con presión de 15 kgf/cm^2 obtuvo un valor de 722375 kgf/cm^2 en el módulo de elasticidad mostrando diferencias estadísticas con el tablero macizo que obtuvo 166083.77 kgf/cm^2.

5.2. Recomendaciones

- Para mayor resistencia en las uniones de los cantos lisos de los tableros, se recomienda cepillar y verificar el encuadrado de los lados de las tablas minutos previos al encolado, puesto que, estos aspectos influyen en la calidad del encolado.

- Ejecutar ensayos con otros factores como, por ejemplo, diferentes tipos de adhesivos, diferentes condiciones de suelo y diferentes tipos de corte (radial y tangencial).

- Se recomienda a la Industria la fabricación de los tableros enlistonados con una intensidad de presión de 15 Kgf/cm^2, dado que, presentó mejor resistencia a los esfuerzos de cizallamiento, tracción y flexión sobre la línea de cola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, J. (2015). Materials testing. Flexión

Alvis Gordo, J. F., Cabas Giraldo, L. D., & Valencia Ramos, D. P. (25 de Enero de 2017). Propiedades físico-mecánicas de la madera Uraco (Ocotea brevipetiolata van der Werff), Municipio de Sibundoy, Putumayo. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 15(Nro 1), 66-75.

Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y Corcho AITIM. (1 de Julio de 2011). Tableros madera maciza. Obtenido de https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_642_Tableros_MADERA%20MACIZA_01.07.2011.pdf

Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y Corcho AITIM. (15 de Junio de 2015). Uniones encoladas. Obtenido de: https://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/Produc_estruct/Uniones%20encoladas_Adhesivos%20estructurales_15.06.2015.pdf

Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y Corcho AITIM. (04 de Abril de 2018). Madera aserrada estructural.

Barrios, J., Polo Velasco, J., & Barrios Padura, A. (1994). Estudio de maderas y de perfiles de madera laminada encolada. Teoría y técnicas de la edificación, 1-10.

Beraún Macedo, H. (2014). Efecto de dos intensidades de presión y dos gramajes de la cola en la resistencia de la línea de cola a los esfuerzos de cizallamiento y tracción perpendicular, en uniones de cantos lisos en madera de Calycophyllum spruceanum Benth. Capirona. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.

Bodig, J.; Jayne, B. (1982). Mechanics of wood composites, Van Nostrand Reinhold, USA.

Chacón Silva, J. C. (2014). Efecto de dos intensidades de presión y dos dosis de adhesivo en la resistencia al cizallamiento y tracción perpendicular a las fibras de uniones encoladas por el canto, en tableros de madera de Ormosia coccínea Benth (Huayruro) en Pucallapa 2013. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.

Chang-Say, L., & Edgardo, J. (2014). Validación de método para determinar parámetros óptimos de los procesos de unión, mediante adhesivos disponibles del mercado nacional con maderas amazónicas, para la producción de componentes de uso estructural. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España CSCAE. (2010). Tableros de madera maciza. Recuperado el 07 de Marzo de 2020, de http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro2010/10%20Tableros%20de%20madera%20maciza.pdf

Consorcio Exportador de Madera de Ucayali CEMU. (15 de Diciembre de 2017). Marupa. Obtenido de http://www.cemuperu.com/categoria/marupa/

Cotrina Villanueva, W., Sangay Cusquisiban, M., & Vermiglio Pimentel, P. (2014). Estudio de la resistencia mecánica de la madera de Pino radiata en Cajamarca . Universidad Privada del Norte, 16-25.

Días, F. (2003). Fabricación de madera contraplacada con adhesivo poliuretano alternativo a base de ricino. Concepción: Maderas, Ciencia y Tecnología.

Frihart, R.; Hunt, G. (2010). Adhesives with wood materials bond formation an performance. en wood hand book. woods as an engineering materia, forest products laboratory.

Gonzáles, M., Peraza, E., & Peraza, F. (2014). Nacimiento y evolución de los tableros estructurales.

González, J. (2007). Análisis técnico y costos de producción de tableros alistonados de Grevillea Robusta. Argentina: Universidad Nacional de Misiones de Argentina.

Guerra, A. (2015). Resistencia al ciallamiento de la línea de cola en madera de tornillo (Cedrelinga cateniformis Ducke) procedente de plantaciones en la zona de Ucayali - Perú.

Henkel (2004). Teoría de la adhesión.

Igartúa, D., Moreno, K., & Monteoliva, S. (2015). Densidad y propiedades mecánicas de la madera de Acacia melanoxylon. Maderas: Ciencia y tecnología, 17(4), 809-820.

Instituto Nacional de Calidad INACAL. (2015). Diagnóstico sobre las potencialidades de la infraestructura de la calidad en el sector forestal peruano. LIma: INACAL.

Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. (2020). Perfil Sociodemográfico: Censos Nacionales 2020. Perú: INIE.

Jensen, A. (20 de Mayo de 2013). Sistema de encolado. Obtenido de SCRIBD: https://es.scribd.com/doc/142670730/Sistemas-de-Encolado

Londoño Echeverri, C. A., & Sepúlveda Tabares, S. E. (2013). Los tableros alistonados: una alternativa para el sector del mueble y la madera en Pereira y Dosquebradas. Colombia: Scientia et Technica Año XVIII.

López, M. (1976). Resistencia y comportamiento al cizallamiento de la línea de cola resorcinol-formaldehido en doce especies forestales. Lima - Perú.

Madrid, M. (s.f.). Tecnología de la adehesión. Obtenido de: https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curso_de_adhesivos.pdf

Martínez López, Y., Fernández Concepción, R., Álvarez Lazo, D., García González, M., & Martínez Rodríguez, E. (2014). Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica producidos en Cuba respecto a los tableros convencionales. Cuba: Universidad de Pinar del Río.

Mercedes, M. (04 de Junio de 2012). Importancia y determinación de las propiedades mecánicas de la madera. Obtenido de Contacto Rural: https://contactorural.wordpress.com/2012/06/04/importancia-y-determinacion-de-las-propiedades-mecanicas-de-la-madera/

Minaya Arteaga, C. (2012). Linea base para estudio sobre la industria forestal maderera en el Perú. Lima: Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre.

Moncayo, G., Narváez Muños, C., Villacís, N., & Melo, J. (2017). Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (Ochorma Pyramidale). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE , 1-14.

Murillo Olea, C. E. (25 de Abril de 2018). Propiedades mecánicas de los materiales. Obtenido de Prezi: https://prezi.com/p/v9evxpu1da8q/propiedades-mecanicas-de-los-materiales/

Nash Berne, P. E. (2003). Fabricación de tableros alistonados a partir de la madera de álamo, clon I-488, proveniente de las trozas de diámetro inferior al debobinable. Chile: Universidad de Talca.

Nieto Neyra, S. (2019). Resistencia de la línea de cola en uniones de cantos lisos para tableros alistonados con Guazuma crinita C. Marttius, proveniente de Raleo, Pucallpa-Ucayali. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales. FAO.

Pascual Urbán, B. (06 de Marzo de 2013). Construcción de estructuras de madera. Obtenido de: https://books.google.com.pe/books?id=_In6DQAAQBAJ&pg=PA183&lpg=PA183&dq=generalidades+de+encolado+de+la+madera&source=bl&ots=HWBkA6Z_DL&sig=ACfU3U0eRjbovw69aTsWl1VfVWmbwkxWIQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiPl_P3xJDoAhXQZd8KHRbyDo8Q6AEwCHoECAsQAQ#v=onepage&q=gener

Pelen, P., Poblete, H., & Inzunza, L. (1998). Duramen y albura de Acacia melanoxylon como materia prima para tableros de partículas. Bosque, 29-36

Pérez González, A. (23 de Junio de 2014). Resistencia mecánica. Obtenido de Mecapedia: http://www.mecapedia.uji.es/resistencia_mecanica.htm

Pérez Porto, J., & Merino, M. (2018). Adhesivo. Obtenido de Definición: https://definicion.de/adhesivo/

Poblete, H., & Burgos, R. (2010). Eucalyptus nitens como materia prima para tableros de particulas. Maderas. Ciencia y tecnología, Concepción.

Poblete, H., Diaz-Vaz, J., Juacida, R., Niemz, P., & Rolleri, A. (1994). Fabricación de tableros enlistonados con madera proveniente del manejo de renovales de raulí. Bosque, 25-29.

Quevedo Machuca, V. M. (s.f.). Adherencia y adhesivos para madera. Obtenido de Universidad de Alcalá: https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG 200637/TAB42359/ADHERENCIA%20Y%20ADHESIVOS%20PARA%20MADERA%20(V%20Quevedo).pdf

Quintana, S., Cabudivo, A., Espíritu, J., & Cabudivo, J. (2011). Propiedades físico-mecánicas de las maderas de Simarouba amara (Aubl) y Cedrelinga

cateniformis (Ducke) de plantaciones de diferentes edades, San Juan Bautista. Conocimiento Amazónico, 115-123.

Ramírez Acho, J., Reyes Inca, P. P., & Angulo Ruíz, W. (2016). Efecto de la presión a la resistencia mecánica en tableros encolados y Macizos de Calycohyllum sprruceanum (Capirona) provenientes del raleo de una plantación forestal en Pucallpa. Pucallpa: Estación Experimental Agraria Pucallpa - INIA.

Rangel, L., Moreno, P., Trejo, S., & Valero, S. (2017). Propiedades de tableros aglomerados de partículas fabricados con madera de Eucalyptus urophylla. Maderas, Cienc. tecnol, Concepción.

Rivero Moreno, J., & Moya Roque, R. (2016). Propiedades físico-mecánicas de la madera de Tectona grandis Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia. Kurú, 1-14.

Shupingahua Mendoza, R. M. (2016). Determinación del estado sanitario de la plantación mixta de simarouba amara “marupa” y poraqueiba sericea “umari” mediante la evaluación de parámetros silviculturales en el CIEFOR - Puerto Almendra. Loreto. Perú. 2016. Iquitos.

Sibille Martina, A. (2006). Fabricación de muebles con maderas poco conocidas - LKS. Lima.

Spavento, E., & Keil, G. (2009). Tableros Alistonados. Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata.

Takahashi, L. (2002). Resistencia al cizallamiento de la línea de cola, en quinilla colorada (Humiriastrum excelsum Ducke). Revista forestal del Perú.

Tenorio, C., Moya, R., & Camacho, D. (2012). Propiedades físico-mecánicas de tableros terciados construidos con especies tropicales de plantaciones para uso estructural. CERNE.

Vilcayahuri Villa, E. (2009). Propiedades Físico - Mecánicas de Simarouba Amara Aubl (Marupa) Proveniente de las Plantaciones de la Estación Alexander Von Humboldt. Lima.

Viveros, E. (2007). Efecto dl desgaste del cuchillo en la calidad de la unión adhesiva.

Wikipedia. (07 de Abril de 2020). Presión. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n

ANEXO

ANEXO 1

PRUEBA ESTADÍSTICA DUNNET

Prueba Dunnet para cizallamiento

Variable dependiente: cizallamiento

T de Dunnett (bilateral)[a]

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
P1	TESTIGO	-28,4825*	6,65656	,001	-44,2603	-12,7047
P2	TESTIGO	-15,7900*	6,65656	,050	-31,5678	-,0122

Prueba Dunnet para tracción perpendicular

Variable dependiente: Tracción

T de Dunnett (bilateral)[a]

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
P1	TESTIGO	-16,1825*	4,01212	**,001**	-25,6923	-6,6727
P2	TESTIGO	-7,5463	4,01212	**,130**	-17,0560	1,9635

Prueba Dunnet para MOE

Variable dependiente: MOE

T de Dunnett (bilateral)[a]

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
P1	TESTIGO	503916,2325*	28828,10147	**,000**	435586,1848	572246,2802
P2	TESTIGO	556291,2325*	28828,10147	**,000**	487961,1848	624621,2802

Prueba Dunnet para el MOR

Variable dependiente: MOR

T de Dunnett (bilateral)[a]

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
P1	TESTIGO	-59,8475	53,69065	**,443**	-187,1082	67,4132
P2	TESTIGO	21,7775	53,69065	**,888**	-105,4832	149,0382

ANEXO 2

DATOS DE LAS PROBETAS EN EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO EN DOS INTENSIDADES DE PRESIÓN

ENSAYO DE CIZALLAMIENTO (ENCOLADAS)								
PRESIÓN	Nº DE PROBETA	ESPECIE	TRATAMIENTO	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm^2)	C.MAX.(kg)	FÓRMULA
1	1	MARUPA	T1-1-1	5.13	2.48	12.72	189.30	14.88
	2	MARUPA	T1-1-2	4.86	2.44	11.86	369.00	31.12
	3	MARUPA	T1-1-3	5.10	2.42	12.34	437.00	35.41
	4	MARUPA	T1-1-4	5.07	2.48	12.57	598.00	47.56
	5	MARUPA	T1-2-5	5.02	2.34	11.75	507.00	43.16
	6	MARUPA	T1-2-6	4.94	2.51	12.40	650.00	52.42
	7	MARUPA	T1-2-6	4.91	2.51	12.32	462.00	37.49
	8	MARUPA	T1-2-8	5.11	2.42	12.37	444.00	35.90
2	9	MARUPA	T2-1-1	4.96	2.48	12.30	764.00	62.11
	10	MARUPA	T2-1-2	5.08	2.52	12.80	541.00	42.26
	11	MARUPA	T2-1-3	4.91	2.43	11.93	759.00	63.61
	12	MARUPA	T2-1-4	4.99	2.52	12.57	713.00	56.70
	13	MARUPA	T2-2-5	4.98	2.52	12.55	696.00	55.46
	14	MARUPA	T2-2-6	5.11	2.46	12.57	777.00	61.81
	15	MARUPA	T2-2-7	4.96	2.43	12.05	597.00	49.53
	16	MARUPA	T2-2-8	5.02	2.52	12.65	101.20	8.00
	MAXIMO						777.00	63.61
	MINIMO						101.20	8.00
	PROMEDIO						537.78	43.59

ANEXO 3

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS PROBETAS EN EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

ENSAYO DE CIZALLAMIENTO			
Nº DE PROBETA	P1	P2	TESTIGO
1	14.88	62.11	69.9
2	31.12	42.26	65.0
3	35.41	63.61	53.9
4	47.56	56.70	70.5
5	43.16	55.46	58.7
6	52.42	61.81	75.6
7	37.49	49.53	73.5
8	35.90	8.00	58.7
Repeticiones	8	8	8
Promedio	37.24	49.94	65.73
Valor máximo	52.42	63.61	75.6
Valor mínimo	14.88	8	53.88
Mediana	36.7	56.08	67.47
Varianza	130.68	338.62	62.82
Desviación estándar	11.43	18.4	7.93
Coeficiente de variación	0.31	0.37	0.12
Suma	297.94	399.49	525.83
Suma de cuadrado	12010.65	22319.11	35002.01
Sumatoria de cuadrado	914.74	2370.31	439.74

ANEXO 4

DATOS DE LAS PROBETAS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN EN DOS INTENSIDADES DE PRESIÓN

ENSAYO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR (ENCOLADAS)								
PRESIÓN	Nº DE PROBETA	ESPECIE	TRATAMIENTO	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm^2)	C.MAX.(kg)	FÓRMULA
1	1	MARUPA	T1-1-1	2.47	2.49	5.75	25.50	4.15
	2	MARUPA	T1-1-2	2.48	2.48	6.15	103.10	16.76
	3	MARUPA	T1-1-3	2.44	2.40	5.86	43.40	7.41
	4	MARUPA	T1-1-4	2.48	2.45	6.08	207.00	34.07
	5	MARUPA	T1-2-5	2.64	2.41	6.36	199.90	31.42
	6	MARUPA	T1-2-6	2.51	2.52	6.33	29.30	4.63
	7	MARUPA	T1-2-7	2.48	2.41	5.98	87.60	14.66
	8	MARUPA	T1-2-8	2.49	2.51	6.25	118.90	19.02
2	9	MARUPA	T2-2-1	2.56	2.49	6.37	111.00	17.41
	10	MARUPA	T2-1-2	2.54	2.40	6.10	183.00	30.02
	11	MARUPA	T2-1-3	2.46	2.42	5.95	125.00	21.00
	12	MARUPA	T2-1-4	2.64	2.50	6.60	90.00	13.64
	13	MARUPA	T2-2-5	2.59	2.51	6.50	167.30	25.73
	14	MARUPA	T2-2-6	2.38	2.56	6.09	207.00	33.97
	15	MARUPA	T2-2-7	2.53	2.40	6.07	164.30	27.06
	16	MARUPA	T2-2-8	2.48	2.41	5.98	193.50	32.38
	MAXIMO						207.00	34.07
	MINIMO						25.50	4.15
	PROMEDIO						128.49	20.83

ANEXO 5

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS PROBETAS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN

ENSAYO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR			
Nº DE PROBETA	P1	P2	TESTIGO
1	4.15	17.41	28.66
2	16.76	30.02	33.56
3	7.41	21.00	31.85
4	34.07	13.64	31.77
5	31.42	25.73	32.51
6	4.63	33.97	29.53
7	14.66	27.06	35.36
8	19.02	32.38	38.34
Repeticiones	8	8	8
Promedio	16.52	25.15	32.7
Valor máximo	34.07	33.97	38.34
Valor mínimo	4.15	13.64	28.66
Mediana	15.71	26.4	32.18
Varianza	131.02	52.49	9.67
Desviación estándar	11.45	7.25	3.11
Coeficiente de variación	0.69	0.29	0.1
Suma	132.12	201.21	261.57
Suma de cuadrado	3099.13	5428.11	8619.83
Sumatoria de cuadrado	917.13	367.44	67.72

ANEXO 6

DATOS DE LAS PROBETAS EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN EN DOS INTENSIDADES DE PRESIÓN

ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA (ENCOLADAS)													
PRESIÓN	Nº DE PROBETA	ESPECIE	TRATAMIENTO	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm^2)	MOR (kg/cm^2)	MOE (kg/cm^2)	CLP (kg)	C.MAX.(kg)	DLP (cm)	LAPSO DE SOPORTE (mm)	Formula (kg/cm^2)
1	1	MARUPA	T1-1-1	2.5	2.46	0.06	531000	7.48E+08	135.30	148.90	0.57	360.00	24.21
	2	MARUPA	T1-1-2	2.49	2.49	0.06	487000	6.97E+08	123.40	139.10	0.54	360.00	22.44
	3	MARUPA	T1-1-3	2.48	2.44	0.06	344000	5.98E+08	72.80	93.90	0.39	360.00	15.52
	4	MARUPA	T1-1-4	2.55	2.51	0.06	405000	5.71E+08	101.90	120.40	0.52	360.00	18.81
	5	MARUPA	T1-2-5	2.49	2.48	0.06	435000	6.34E+08	115.30	123.40	0.56	360.00	19.98
	6	MARUPA	T1-2-6	2.54	2.49	0.06	520000	7.79E+08	147.00	151.70	0.56	360.00	23.99
	7	MARUPA	T1-2-7	2.53	2.47	0.06	388000	5.84E+08	83.40	110.90	0.44	360.00	17.75
	8	MARUPA	T1-2-8	2.53	2.49	0.06	459000	7.49E+08	125.60	133.40	0.50	360.00	21.18
2	9	MARUPA	T2-1-1	2.42	2.46	0.06	585000	8.28E+08	145.40	158.80	0.57	360.00	26.67
	10	MARUPA	T2-1-2	2.49	2.51	0.06	447000	6.91E+08	121.70	129.40	0.52	360.00	20.70
	11	MARUPA	T2-1-3	2.49	2.47	0.06	522000	7.01E+08	131.10	146.80	0.58	360.00	23.87
	12	MARUPA	T2-1-4	2.49	2.51	0.06	630000	7.35E+08	162.40	183.00	0.65	360.00	29.28
	13	MARUPA	T2-2-5	2.49	2.49	0.06	504000	7.02E+08	131.00	143.00	0.57	360.00	23.06
	14	MARUPA	T2-2-6	2.45	2.5	0.06	443000	6.69E+08	112.40	125.70	0.51	360.00	20.52
	15	MARUPA	T2-2-7	2.53	2.47	0.06	535000	7.04E+08	139.50	153.00	0.61	360.00	24.48
	16	MARUPA	T2-2-8	2.5	2.47	0.06	556000	7.49E+08	147.30	157.10	0.61	360.00	25.44
	MAXIMO						630000	8.28E+08	162.40	183.00	0.65		
	MINIMO						344000	571000000	72.80	93.90	0.39		
	PROMEDIO						486937.5	6.96E+08	124.72	138.66	0.54		

ANEXO 7

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS PROBETAS EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE)

Nº DE PROBETA	MOE (kg/cm²) P1	MOE (kg/cm²) P2	TESTIGO
1	748000.00	828000.00	165476.22
2	697000.00	691000.00	154609.05
3	598000.00	701000.00	170784.97
4	571000.00	735000.00	219193.68
5	634000.00	702000.00	166439.11
6	779000.00	669000.00	134513.78
7	584000.00	704000.00	163935.17
8	749000.00	749000.00	153718.16
Repeticiones	8	8	8
Promedio	670000	722375	166083.77
Valor máximo	779000	828000	219193.68
Valor mínimo	571000	669000	134513.78
Mediana	665500	703000	164705.69
Varianza	6944571429	2438267857	589873951
Desviación estándar	83334.1	49378.82	24287.32
Coeficiente de variación	0.12	0.07	0.15
Suma	5360000	5779000	1328670.14
Suma de cuadrado	3.6398E+12	4.1917E+12	2.248E+11
Sumatoria de cuadrado	4.8612E+10	1.7068E+10	4129117655

ANEXO 8

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS PROBETAS EN EL MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

Nº DE PROBETA	MOR (kg/cm²) P1	MOR (kg/cm²) P2	MOR TESTIGO
1	531.00	585.00	148.81
2	487.00	447.00	580.35
3	344.00	522.00	565.47
4	405.00	630.00	657.99
5	435.00	504.00	596.78
6	520.00	443.00	483.82
7	388.00	535.00	592.88
8	459.00	556.00	421.68
Repeticiones	8	8	8
Promedio	446.13	527.75	505.97
Valor máximo	531	630	657.99
Valor mínimo	344	443	148.81
Mediana	447	528.5	572.91
Varianza	4302.98	4126.21	26163.55
Desviación estándar	65.6	64.24	161.75
Coeficiente de variación	0.15	0.12	0.32
Suma	3569	4222	4047.79
Suma de cuadrado	1622341	2257044	2231216.7
Sumatoria de cuadrado	30120.88	28883.5	183144.82

ANEXO 9

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS PROBETAS EN LOS ENSAYOS DE CIZALLAMIENTO, TRACCIÓN Y FLEXIÓN EN DOS INTENSIDADES DE PRESIÓN

N	CIZALLAMIENTO		TRACCIÓN		FLEXIÓN	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
1	14.88	62.11	4.15	17.41	24.21	26.67
2	31.12	42.26	16.76	30.02	22.44	20.70
3	35.41	63.61	7.41	21.00	15.52	23.87
4	47.56	56.70	34.07	13.64	18.81	29.28
5	43.16	55.46	31.42	25.73	19.98	23.06
6	52.42	61.81	4.63	33.97	23.99	20.52
7	37.49	49.53	14.66	27.06	17.75	24.48
8	35.90	8.00	19.02	32.38	21.18	25.44
Repeticiones	8	8	8	8	8	8
Promedio	37.24	49.94	16.52	25.15	20.48	24.25
Valor máximo	52.42	63.61	34.07	33.97	24.21	29.28
Valor mínimo	14.88	8	4.15	13.64	15.52	20.52
Mediana	36.7	56.08	15.71	26.4	20.58	24.18
Varianza	130.68	338.62	131.02	52.49	9.38	8.67
Desviación estándar	11.43	18.4	11.45	7.25	3.06	2.94
Coeficiente de variación	0.31	0.37	0.69	0.29	0.15	0.12
Suma	297.94	399.49	132.12	201.21	163.87	194.04
Suma de cuadrado	12010.65	22319.11	3099.13	5428.11	3422.16	4767.1
Sumatoria de cuadrado	914.74	2370.31	917.13	367.44	65.65	60.68

ANEXO 10

DATOS DE LAS PROBETAS DE LA MADERA SÓLIDA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN

ENSAYO DE TRACCION (LB)			CARGA (KG)		FORMULA		ESFUERZO
Nº DE PROBETA	ORIENTACIÓN		ORIENTACIÓN		ORIENTACION		
	TANGENCIAL	RADIAL	TANGENCIAL	RADIAL	TANGENCIAL	RADIAL	
1	142	566	64.410	256.733	12.869	44.442	28.656
2	274	538	124.284	244.033	24.513	42.611	33.562
3	288	480	130.635	217.724	25.997	37.701	31.849
4	290	480	131.542	217.724	25.841	37.689	31.765
5	298	488	135.171	221.353	26.528	38.483	32.506
6	324	378	146.964	171.458	29.364	29.690	29.527
7	380	464	172.365	210.467	34.269	36.444	35.357
8	380	544	172.365	246.754	34.132	42.558	38.345
MÁXIMO			172.365	256.733	34.269	44.442	
MÍNIMO			64.410	171.458	12.869	29.690	
PROMEDIO			134.717	223.281	26.689	38.702	

PROBETAS TRACCION PERPENDICULAR		
N°	RADIAL	
	ANCHO	ESPESOR
1	2.32	2.49
2	2.3	2.49
3	2.31	2.5
4	2.32	2.49
5	2.31	2.49
6	2.31	2.5
7	2.31	2.5
8	2.31	2.51

PROBETAS TRACCIÓN PERPENDICULAR		
N°	TANGENCIAL	
	ANCHO	ESPESOR
1	2.01	2.49
2	2.02	2.51
3	2.01	2.50
4	2.02	2.52
5	2.03	2.51
6	2.01	2.49
7	2.02	2.49
8	2.02	2.50

ANEXO 11

DATOS DE LAS PROBETAS DE LA MADERA SÓLIDA EN EL ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

ENSAYO DE CIZALLAMIENTO (LB)			CARGA (KG)		FÓRMULA		ESFUERZO
Nº DE PROBETA	ORIENTACIÓN		ORIENTACION		ORIENTACIÓN		
	TANGENCIAL	RADIAL	TANGENCIAL	RADIAL	TANGENCIAL	RADIAL	
1	1860	1370	843.682	621.422	79.686	60.149	69.917
2	1700	1330	771.107	603.278	71.726	58.331	65.028
3	1600	1040	725.748	471.736	62.586	45.171	53.878
4	1940	1340	879.969	607.814	82.232	58.832	70.532
5	1700	1050	771.107	476.272	72.059	45.293	58.676
6	1860	1650	843.682	748.427	79.533	71.665	75.599
7	2320	1120	1052.334	508.023	99.291	47.793	73.542
8	1850	900	839.146	408.233	78.268	39.049	58.658
MÁXIMO			1052.334	748.427	99.291	71.665	
MÍNIMO			725.748	408.233	62.586	39.049	
PROMEDIO			840.847	555.651	78.173	53.285	

PROBETAS CIZALLAMIENTO		
N°	RADIAL	
	ANCHO	ESPESOR
1	2.01	5.14
2	2.02	5.12
3	2.02	5.17
4	2.01	5.14
5	2.03	5.18
6	2.02	5.17
7	2.06	5.16
8	2.03	5.15

PROBETAS CIZALLAMIENTO		
N°	TANGENCIAL	
	ANCHO	ESPESOR
1	2.04	5.19
2	2.04	5.27
3	2.23	5.2
4	2.05	5.22
5	2.05	5.22
6	2.04	5.2
7	2.05	5.17
8	2.05	5.23

ANEXO 12

DATOS DE LAS PROBETAS DE LA MADERA SÓLIDA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN

N° PROBETA	FLEXIÓN ESTÁTICA					
	M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD	CARGA	CLP	DLP	ESFUERZO
1	148.807	165476.217	45.359	31.751	0.051	7.14
2	580.347	154609.050	176.901	117.934	0.206	27.86
3	565.467	170784.975	172.365	131.542	0.208	27.36
4	657.993	219193.681	195.045	131.542	0.166	31.21
5	596.784	166439.114	176.901	117.934	0.196	28.30
6	483.824	134513.779	145.150	95.254	0.192	23.13
7	592.885	163935.170	181.437	122.470	0.197	28.57
8	421.680	153718.159	127.006	72.575	0.127	20.24
MAXIMO	657.993	219193.681	195.045	131.542	0.208	
MINIMO	148.807	134513.779	45.359	31.751	0.051	
PROMEDIO	505.973	166083.768	152.520	102.625	0.168	

PROBETAS FLEXIÓN ESTATICA		
N°	ANCHO	ESPESOR
1	2.52	2.52
2	2.52	2.52
3	2.51	2.51
4	2.51	2.49
5	2.51	2.49
6	2.5	2.51
7	2.51	2.53
8	2.49	2.52

ANEXO 13

CARGA Y DEFORMACIÓN POR PROBETAS EN MADERA SÓLIDA (FLEXIÓN ESTÁTICA)

PROBETA Nº 1		CARGA(KG)	DEFORMACIÓN (cm)	FÓRMULA (Kgf/cm^2)	
CARGA (LB)	DEFORMACIÓN (PULG)			M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD
10	0	4.536	0.000	148.807	165476.217
20	1	9.072	0.001		
30	13	13.608	0.013		
40	25	18.144	0.025		
50	38	22.680	0.038		
60	48	27.216	0.048		
70	51	31.751	0.051		
80	64	36.287	0.064		
90	78	40.823	0.078		
100	92	45.359	0.092		

PROBETA Nº 2		CARGA(KG)	DEFORMACIÓN (cm)	FORMULA (Kgf/cm^2)	
CARGA (LB)	DEFORMACIÓN (PULG)			M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD
10	8	4.536	0.008	580.347	154609.050
20	16	9.072	0.016		
30	24	13.608	0.024		
40	32	18.144	0.032		
50	40	22.680	0.040		
60	46	27.216	0.046		
70	55	31.751	0.055		
80	63	36.287	0.063		
90	70	40.823	0.070		
100	78	45.359	0.078		
110	86	49.895	0.086		
120	93	54.431	0.093		
130	101	58.967	0.101		
140	108	63.503	0.108		
150	116	68.039	0.116		
160	123	72.575	0.123		
170	131	77.111	0.131		
180	139	81.647	0.139		
190	147	86.183	0.147		
200	155	90.718	0.155		
210	162	95.254	0.162		
220	170	99.790	0.170		

230	178	104.326	0.178		
240	188	108.862	0.188		
250	196	113.398	0.196		
260	206	117.934	0.206		
270	216	122.470	0.216		
280	227	127.006	0.227		
290	238	131.542	0.238		
300	252	136.078	0.252		
310	269	140.614	0.269		
320	281	145.150	0.281		
330	297	149.685	0.297		
340	316	154.221	0.316		
350	335	158.757	0.335		
360	357	163.293	0.357		
370	383	167.829	0.383		
380	413	172.365	0.413		
390	452	176.901	0.452		
		394			

PROBETA Nº 3		CARGA(KG)	DEFORMACIÓN (cm)	FÓRMULA (Kgf/cm^2)	
CARGA (LB)	DEFORMACIÓN (PULG)			M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD
10	4	4.536	0.004	565.467	170784.975
20	11	9.072	0.011		
30	18	13.608	0.018		
40	25	18.144	0.025		
50	32	22.680	0.032		
60	40	27.216	0.040		
70	46	31.751	0.046		
80	53	36.287	0.053		
90	61	40.823	0.061		
100	67	45.359	0.067		
110	74	49.895	0.074		
120	81	54.431	0.081		
130	88	58.967	0.088		
140	95	63.503	0.095		
150	101	68.039	0.101		
160	108	72.575	0.108		
170	116	77.111	0.116		
180	121	81.647	0.121		
190	126	86.183	0.126		
200	135	90.718	0.135		
210	144	95.254	0.144		
220	150	99.790	0.150		
230	157	104.326	0.157		
240	165	108.862	0.165		
250	174	113.398	0.174		
260	181	117.934	0.181		
270	190	122.470	0.190		
280	199	127.006	0.199		
290	208	131.542	0.208		
300	220	136.078	0.220		
310	231	140.614	0.231		
320	243	145.150	0.243		
330	257	149.685	0.257		
340	271	154.221	0.271		
350	289	158.757	0.289		
360	313	163.293	0.313		
370	340	167.829	0.340		
380	416	172.365	0.416		
		386			

PROBETA Nº 4		CARGA(KG)	DEFORMACIÓN (cm)	FÓRMULA (Kgf/cm^2)	
CARGA (LB)	DEFORMACIÓN (PULG)			M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD
10	0	4.536	0.000	657.993	219193.681
20	0	9.072	0.000		
30	0.5	13.608	0.001		
40	3	18.144	0.003		
50	10	22.680	0.010		
60	15	27.216	0.015		
70	21	31.751	0.021		
80	26	36.287	0.026		
90	33	40.823	0.033		
100	39	45.359	0.039		
110	45	49.895	0.045		
120	50	54.431	0.050		
130	56	58.967	0.056		
140	63	63.503	0.063		
150	69	68.039	0.069		
160	75	72.575	0.075		
170	82	77.111	0.082		
180	87	81.647	0.087		
190	95	86.183	0.095		
200	101	90.718	0.101		
210	107	95.254	0.107		
220	115	99.790	0.115		
230	122	104.326	0.122		
240	129	108.862	0.129		
250	136	113.398	0.136		
260	142	117.934	0.142		
270	150	122.470	0.150		
280	158	127.006	0.158		
290	166	131.542	0.166		
300	175	136.078	0.175		
310	186	140.614	0.186		
320	194	145.150	0.194		
330	204	149.685	0.204		
340	215	154.221	0.215		
350	226	158.757	0.226		
360	241	163.293	0.241		
370	256	167.829	0.256		
380	277	172.365	0.277		
390	299	176.901	0.299		
400	322	181.437	0.322		
410	348	185.973	0.348		
420	382	190.509	0.382		
430	526	195.045	0.526		
		439			

PROBETA Nº 5		CARGA(KG)	DEFORMACIÓN (cm)	FÓRMULA (kgf/cm^2)	
CARGA (LB)	DEFORMACIÓN (PULG)			M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD
10	2	4.536	0.002	596.784	166439.114
20	7	9.072	0.007		
30	15	13.608	0.015		
40	23	18.144	0.023		
50	32	22.680	0.032		
60	38	27.216	0.038		
70	46	31.751	0.046		
80	55	36.287	0.055		
90	62	40.823	0.062		
100	70	45.359	0.070		
110	77	49.895	0.077		
120	84	54.431	0.084		
130	92	58.967	0.092		
140	100	63.503	0.100		
150	107	68.039	0.107		
160	115	72.575	0.115		
170	122	77.111	0.122		
180	130	81.647	0.130		
190	138	86.183	0.138		
200	145	90.718	0.145		
210	153	95.254	0.153		
220	160	99.790	0.160		
230	168	104.326	0.168		
240	176	108.862	0.176		
250	186	113.398	0.186		
260	196	117.934	0.196		
270	206	122.470	0.206		
280	218	127.006	0.218		
290	230	131.542	0.230		
300	242	136.078	0.242		
310	254	140.614	0.254		
320	269	145.150	0.269		
330	286	149.685	0.286		
340	303	154.221	0.303		
350	323	158.757	0.323		
360	347	163.293	0.347		
370	377	167.829	0.377		
380	427	172.365	0.427		
390	463	176.901	0.463		
		397			

PROBETA Nº 6		CARGA(KG)	DEFORMACIÓN (cm)	FÓRMULA (Kgf/cm^2)	
CARGA (LB)	DEFORMACIÓN (PULG)			M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD
10	5	4.536	0.005	483.824	134513.779
20	15	9.072	0.015		
30	24	13.608	0.024		
40	33	18.144	0.033		
50	43	22.680	0.043		
60	51	27.216	0.051		
70	60	31.751	0.060		
80	68	36.287	0.068		
90	77	40.823	0.077		
100	86	45.359	0.086		
110	95	49.895	0.095		
120	104	54.431	0.104		
130	113	58.967	0.113		
140	122	63.503	0.122		
150	132	68.039	0.132		
160	140	72.575	0.140		
170	150	77.111	0.150		
180	160	81.647	0.160		
190	170	86.183	0.170		
200	180	90.718	0.180		
210	192	95.254	0.192		
220	203	99.790	0.203		
230	214	104.326	0.214		
240	226	108.862	0.226		
250	242	113.398	0.242		
260	256	117.934	0.256		
270	270	122.470	0.270		
280	290	127.006	0.290		
290	310	131.542	0.310		
300	331	136.078	0.331		
310	356	140.614	0.356		
320	387	145.150	0.387		
		321			

PROBETA Nº 7		CARGA(KG)	DEFORMACIÓN (cm)	FÓRMULA (Kgf/cm²)	
CARGA (LB)	DEFORMACIÓN (PULG)			M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD
10	3	4.536	0.003	592.885	163935.170
20	12	9.072	0.012		
30	19	13.608	0.019		
40	26	18.144	0.026		
50	33	22.680	0.033		
60	41	27.216	0.041		
70	48	31.751	0.048		
80	59	36.287	0.059		
90	61	40.823	0.061		
100	68	45.359	0.068		
110	77	49.895	0.077		
120	83	54.431	0.083		
130	89	58.967	0.089		
140	97	63.503	0.097		
150	103	68.039	0.103		
160	110	72.575	0.110		
170	117	77.111	0.117		
180	126	81.647	0.126		
190	132	86.183	0.132		
200	139	90.718	0.139		
210	147	95.254	0.147		
220	155	99.790	0.155		
230	163	104.326	0.163		
240	171	108.862	0.171		
250	179	113.398	0.179		
260	188	117.934	0.188		
270	197	122.470	0.197		
280	207	127.006	0.207		
290	217	131.542	0.217		
300	231	136.078	0.231		
310	241	140.614	0.241		
320	255	145.150	0.255		
330	269	149.685	0.269		
340	287	154.221	0.287		
350	303	158.757	0.303		
360	327	163.293	0.327		
370	350	167.829	0.350		
380	377	172.365	0.377		
390	412	176.901	0.412		
400	461	181.437	0.461		
		397			

PROBETA Nº 8		CARGA(KG)	DEFORMACION (cm)	FÓRMULA (Kgf/cm^2)	
CARGA (LB)	DEFORMACIÓN (PULG)			M.RUPTURA	M.ELASTICIDAD
10	8	4.536	0.008	421.680	153718.159
20	16	9.072	0.016		
30	24	13.608	0.024		
40	32	18.144	0.032		
50	40	22.680	0.040		
60	48	27.216	0.048		
70	56	31.751	0.056		
80	63	36.287	0.063		
90	71	40.823	0.071		
100	78	45.359	0.078		
110	87	49.895	0.087		
120	95	54.431	0.095		
130	103	58.967	0.103		
140	110	63.503	0.110		
150	118	68.039	0.118		
160	127	72.575	0.127		
170	132	77.111	0.132		
180	145	81.647	0.145		
190	153	86.183	0.153		
200	160	90.718	0.160		
210	168	95.254	0.168		
220	179	99.790	0.179		
230	190	104.326	0.190		
240	201	108.862	0.201		
250	213	113.398	0.213		
260	225	117.934	0.225		
270	239	122.470	0.239		
280	253	127.006	0.253		
		282			

ANEXO 14

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS

Foto 1. Cizallamiento probetas de madera sólida (UNALM)

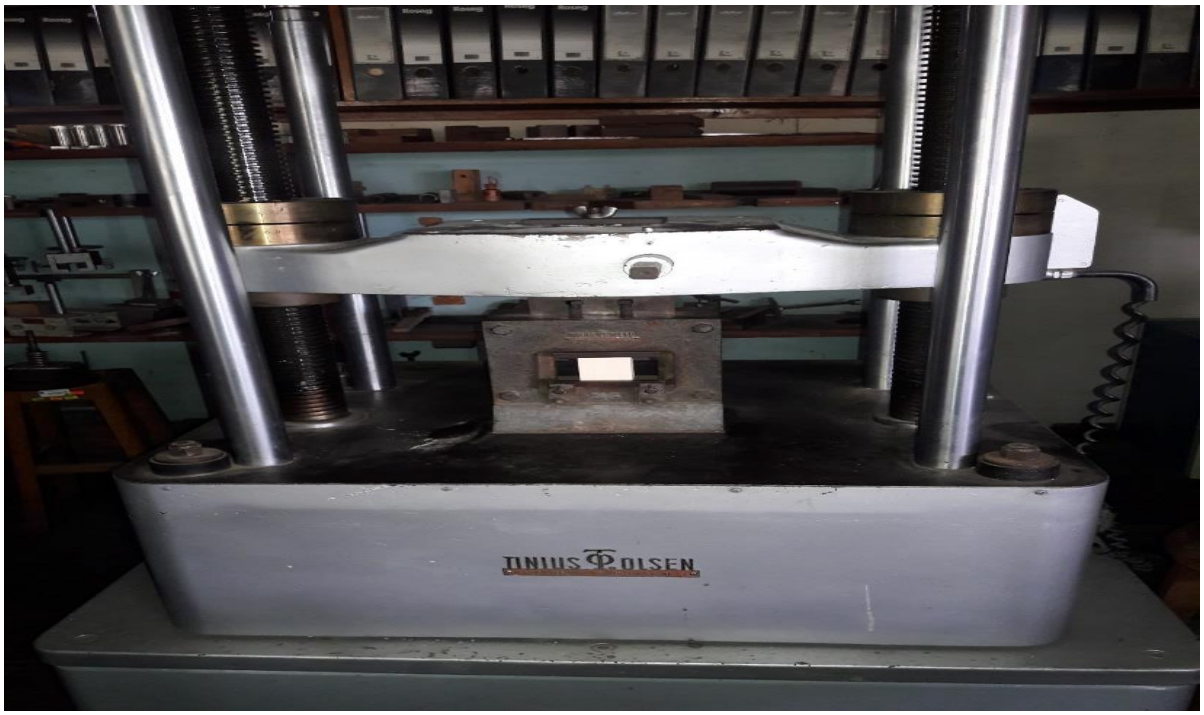




Foto 2. Tracción Probetas de Madera Sólida (UNALM)



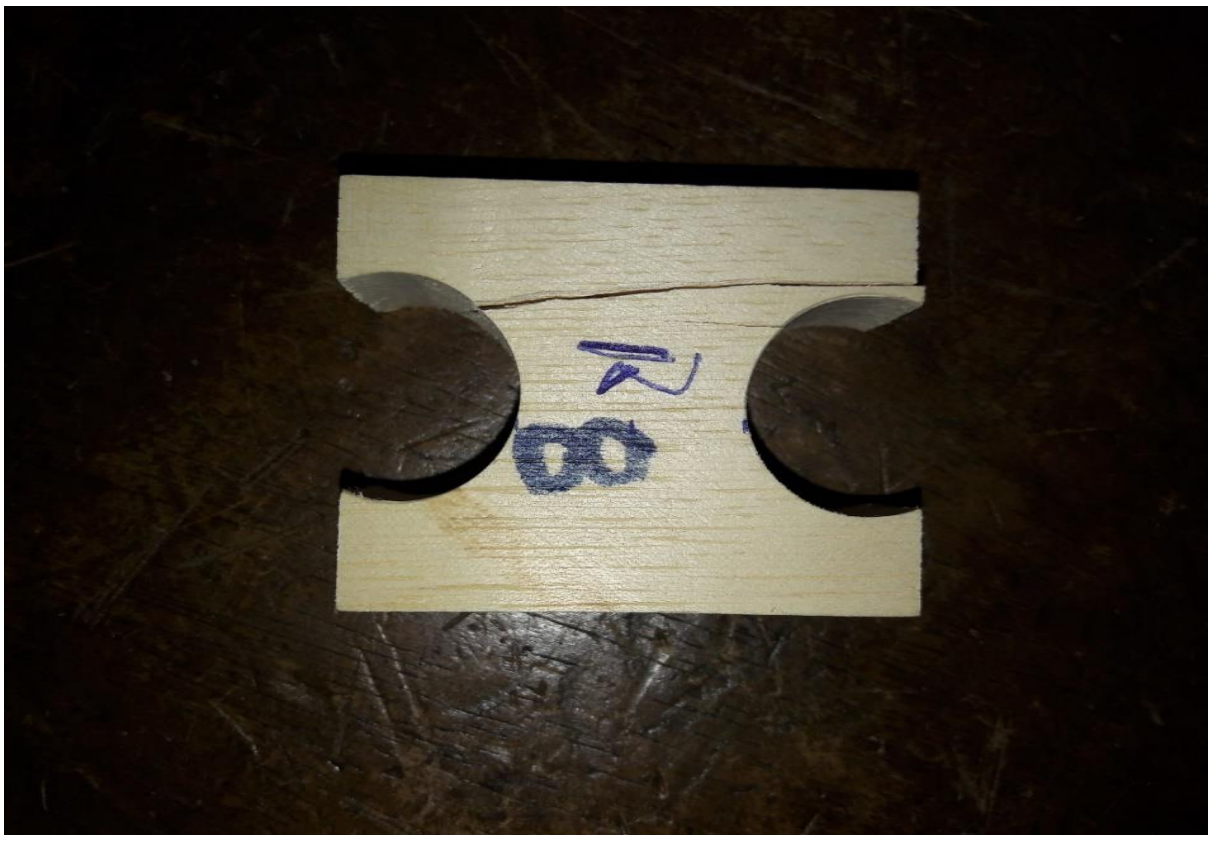


Foto 3. Flexión Probetas de Madera Sólida (UNALM)





Foto 4. Cizallamiento Probetas Enlistonadas (UNU)





Foto 5. Tracción Probetas Enlistonadas (UNU)

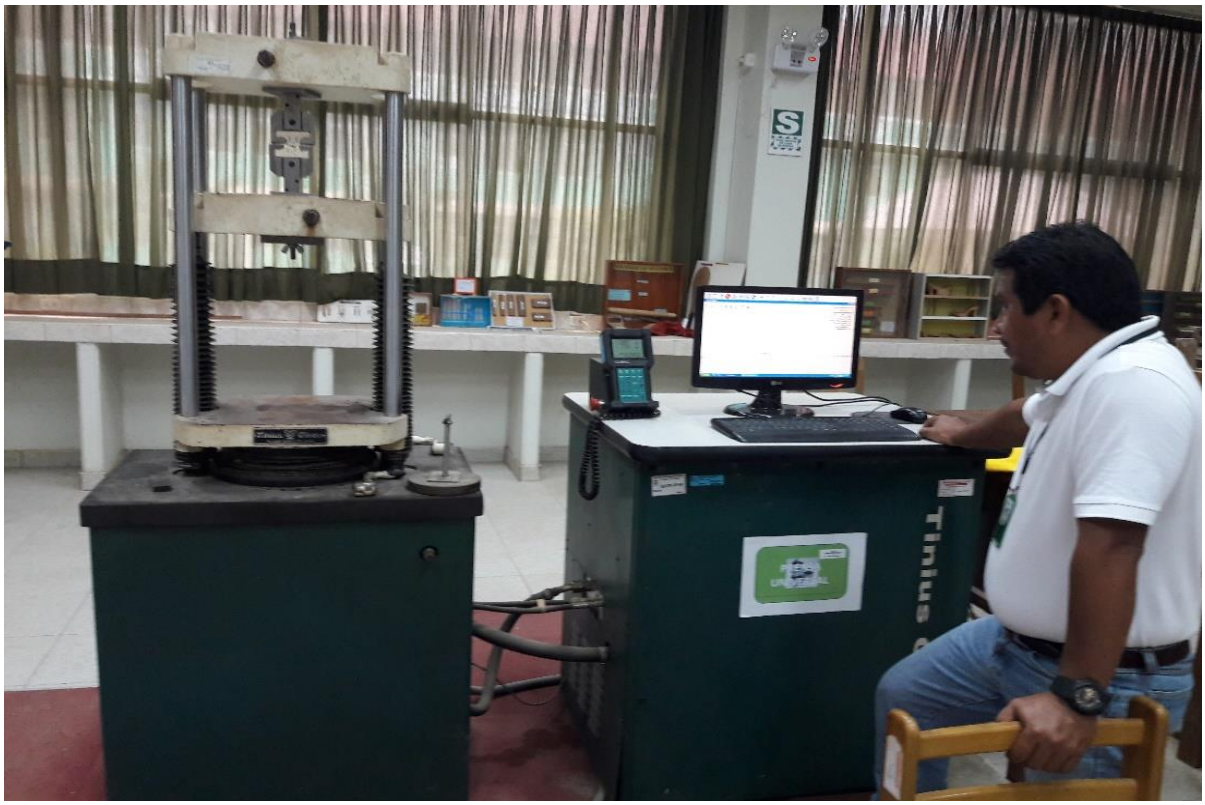




Foto 6. Flexión Probetas Enlistonadas (UNU)



