

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**



***“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN  
MADERA LAMINADA ENCOLADA DE LA ESPECIE LAPACHO  
ROSADO (*Tabebuia avellanae* L.) PROVENIENTE DE LA  
COMUNIDAD DE RÍO CONCHAS”***

**Por:**

**VARINIA KEIKO TERCEROS CONDE**

Tesis presentada a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Forestal.

Octubre 2018

**TARIJA – BOLIVIA**

**V°B°**

.....  
**M. Sc. Ing. Adel Molina Ramos**  
**DOCENTE GUÍA**

.....  
**M. Sc. Ing. Fredy Castro Salinas**  
**DECANO a.i. FACULTAD**  
**DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**  
**Y FORESTALES**

.....  
**M. Sc. Ing. Luis Arandia Mendivil**  
**VICEDECANO FACULTAD**  
**DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**  
**Y FORESTALES**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

.....  
**Ing. Javier Ariel Castillo Gareca**

.....  
**M. Sc. Ing. Deimer Jesús Moreno Molina**

.....  
**M. Sc. Ing. Pedro Brozovich Farfán**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del (la) autor (a).

## **DEDICATORIAS**

Dedicado con mucho cariño a mi madre, hermanas, y familia por el constante amor y apoyo que me han dado durante esta etapa de mi vida y por su inagotable esfuerzo en querer hacer de mí una mejor persona.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por bendecirme, por guiarme a lo largo de esta etapa, por ser mi apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mi Madre por traerme al mundo y ser la principal promotora de mis sueños, por confiar y creer en mí, por los valores y principios que me ha inculcado.

A mis hermanas que me acompañaron en muchos momentos y me dieron su apoyo y su confianza.

A todos mis amigos y amigas quienes me acompañaron en los buenos y malos momentos, me dieron su apoyo a lo largo de mi formación académica y creyeron en mí.

Un agradecimiento especial a mis docentes por haber compartido sus conocimientos a lo largo de esta etapa muy importante para mí.

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2 HIPÓTESIS.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	4

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2 La madera.....	5
2.1 Partes del árbol.....	5
2.1.1 Partes de un tronco.....	6
2.1.2 Características externas de la madera.....	7
2.1.3 Clasificación de la madera.....	8
2.1.3.1 Maderas duras.....	8
2.1.3.2 Maderas blandas.....	8
2.1.4 La madera como materia prima.....	8
2.1.5 Formación y estructura de la madera.....	8
2.1.6 Microscopia de la madera.....	9
2.1.7 Anisotropía de la madera.....	11
2.1.8 Higroscopia de la madera.....	11
2.2 Madera laminada encolada.....	12
2.2.1 Definición de madera laminada encolada.....	12
2.2.2 Generalidades de la madera laminada encolada.....	13
2.2.3 Tipos de madera laminada encolada.....	14

2.2.4 Historia de la madera laminada encolada.....	14
2.2.5 Ventajas y desventajas de la madera laminada encolada.....	16
2.2.6 Los adhesivos.....	17
2.2.7 Proceso de fabricación de la madera laminada encolada.....	19
2.2.8 Aplicaciones de la madera laminada encolada.....	21
2.3 Propiedades mecánicas de la madera.....	22
2.4 Flexión estática.....	23
2.5 Compresión paralela al grano.....	24
2.6 Compresión perpendicular al grano.....	24
2.7 Dureza.....	25
2.8 Factores que afectan las propiedades mecánicas de la madera laminada.....	25
2.9 Descripción de la especie de estudio.....	26
2.9.1 Descripción taxonómica.....	26
2.9.2 Distribución y origen.....	26
2.9.3 Descripción botánica.....	27
2.9.4 Hojas.....	28
2.9.5 Flores.....	28
2.9.6 Frutos.....	28
2.9.7 Corteza.....	28
2.9.8 Propiedades físicas.....	29
2.9.9 Resistencia mecánica.....	29
2.9.10 Usos y aplicaciones.....	29

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

3 Descripción de la zona de estudio.....	30
3.1 Ubicación.....	30
3.2 Características físicas.....	31
3.2.1 Geología.....	31
3.2.2 Geomorfología.....	31
3.2.3 Fisiografía.....	31
3.2.4 Suelo.....	32
3.3 Características meteorológicas.....	32
3.3.1 Clima.....	32
3.3.2 Hidrología.....	32
3.4 Característica bióticas.....	32
3.4.1 Vegetación.....	32
3.4.2 Estrato arbóreo.....	33
3.4.3 Estrato arbustivo.....	35
3.4.4 Estrato herbáceo.....	36
3.5 Aspectos socioeconómicos.....	36
3.5.1 Uso actual de la tierra.....	36
3.5.2 Vías de comunicación.....	37
3.5.3 Población.....	37
3.5.4 Educación.....	37
4 Descripción de los pegamentos utilizados.....	38
4.1 Carpicola Monopol pegamento vinílico para carpintería.....	38
4.1.1 Usos.....	38
4.1.2 Ventajas.....	39
4.1.3 Preparación de la superficie.....	39
4.1.4 Modo de empleo.....	39
4.1.5 Recomendaciones de uso.....	39



4.1.6 Precauciones.....	40
4.1.7 Productos complementarios.....	40
4.2 Cola vegetal para carpintero.....	41
4.2.1 Como preparar la cola.....	41
4.2.2 Aplicación de la cola.....	41
4.3 Materiales.....	42
4.3.1 Material de aserradero.....	42
4.3.2 Material para la elaboración de probetas de madera laminada encolada.....	42
4.3.3 Material de laboratorio.....	42
4.3.4 Material de gabinete.....	42
4.4 Metodología.....	43
4.4.1 Selección y colección de muestras.....	44
4.4.2 Definición de la población.....	44
4.4.3 Selección de los árboles.....	44
4.4.4 Ubicación de los árboles en el área de estudio.....	44
4.4.5 Selección de trozas.....	44
4.4.6 Selección de viguetas dentro de la troza.....	45
4.4.7 Aplicación de tratamientos profilácticos.....	45
4.4.8 Elaboración de probetas.....	45
4.4.9 Elaboración de la madera laminada encolada.....	46
4.4.10 Encolado de las probetas.....	48
4.4.11 Codificación de las probetas.....	48
4.5 Realización de los ensayos.....	49
4.5.1 Flexión estática.....	49
4.5.2 Compresión paralela al grano.....	51
4.5.3 Compresión perpendicular al grano.....	54
4.5.4 Dureza.....	56
4.5.5 Cizallamiento.....	57
4.5.6 Contenido de humedad.....	59

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS**

4.6 Análisis Estadístico.....	60
4.6.1 Valor promedio total de todos los valores individuales.....	60
4.6.2 Estimación de la Varianza.....	61
4.6.3 Determinación del coeficiente de variación.....	63
4.6.4 Cálculo del intervalo de confianza para el valor promedio.....	64
4.6.5 Determinación del valor relativo del intervalo de confianza.....	65

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.7 Presentación de los resultados.....	68
4.7.1 Resultados de los Ensayos realizados con Carpicola Monopol.....	68
4.7.2 Flexión Estática.....	68
4.7.3 Compresión Paralela al Grano.....	70
4.7.4 Compresión Perpendicular al Grano.....	72
4.7.5 Dureza.....	73
4.7.6 Cizallamiento.....	74
4.8 Resultados de los Ensayos realizados con Cola Vegetal.....	75
4.8.1 Flexión Estática.....	75
4.8.2 Compresión Paralela al Grano.....	77
4.8.3 Compresión Perpendicular al Grano.....	79
4.8.4 Dureza.....	80
4.8.5 Cizallamiento.....	81
4.8.5 Datos totales de las propiedades mecánicas madera laminada encolada.....	85
4.8.6 Discusión.....	94

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.10 Conclusiones.....	98
a) Flexión Estática con Carpícola Monopol.....	98
b) Compresión Paralela al Grano con Carpícola Monopol.....	98
c) Compresión Perpendicular al Grano con Carpícola Monopol.....	98
d) Dureza con Carpícola Monopol.....	99
e) Cizallamiento con Carpícola Monopol.....	99
5. Conclusiones de las propiedades mecánicas con cola vegetal.....	99
a) Flexión Estática con Cola Vegetal.....	99
b) Compresión Paralela al Grano con Cola Vegetal.....	99
c) Compresión Perpendicular al Grano con Cola Vegetal.....	100
d) Dureza con Cola Vegetal.....	100
e) Cizallamiento con Cola Vegetal.....	100
6. Usos.....	101
7. Conclusiones sobre el tipo de pegamento más resistente.....	102
RECOMENDACIONES	103

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1:</b> Estrato Arbóreo.....	33
<b>Cuadro 2:</b> Estrato Arbustivo.....	35
<b>Cuadro 3:</b> Estrato Herbáceo.....	36
<b>Cuadro 4:</b> Normas para realizar los ensayos (COPANT 1974).....	43
<b>Cuadro 5:</b> Coordenadas de los árboles.....	44
<b>Cuadro 6:</b> Dimensiones y Cantidad de probetas para los Ensayos.....	46
<b>Cuadro 7:</b> Cantidad de láminas y dimensiones para elaborar las probetas....	47
<b>Cuadro 8:</b> Datos para el análisis estadístico.....	60
<b>Cuadro 9:</b> Fórmulas para determinar la varianza.....	61
<b>Cuadro 10:</b> Resumen de los Resultados de las Propiedades Mecánicas con Carpicola Monopol.....	83
<b>Cuadro 11:</b> Resumen de los Resultados de las Propiedades Mecánicas con Cola Vegetal.....	84
<b>Cuadro 12:</b> flexión estática con Carpicola Monopol.....	85
<b>Cuadro 13:</b> Compresión Paralela al Grano con Carpicola Monopol.....	86
<b>Cuadro 14:</b> Compresión Perpendicular al Grano con Carpicola Monopol....	87
<b>Cuadro15:</b> Dureza con Carpicola Monopol.....	88
<b>Cuadro16:</b> Cizallamiento con Carpicola Monopol.....	89
<b>Cuadro 17:</b> flexión estática con Cola Vegetal.....	90
<b>Cuadro 18:</b> Compresión Paralela al Grano con Cola Vegetal.....	91
<b>Cuadro 19:</b> Compresión Perpendicular al Grano con Cola Vegetal.....	92
<b>Cuadro20:</b> Dureza con Cola Vegetal.....	93
<b>Cuadro21:</b> Cizallamiento con Cola Vegetal.....	94
<b>Cuadro22:</b> Análisis comparativo de la madera laminada encolada con la madera maciza.....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1:</b> El Árbol y sus Componentes.....	6
<b>Figura 2:</b> Componentes del Tronco.....	6
<b>Figura 3:</b> Direcciones Ortogonales de la Madera.....	11
<b>Figura 4:</b> Laminado Vertical y Horizontal.....	13
<b>Figura 5:</b> Mapa de Tarija.....	30
<b>Figura 6:</b> Carpicola Monopol.....	38
<b>Figura 7:</b> Cola Vegetal.....	41
<b>Figura 8:</b> Láminas para las Probetas.....	48
<b>Figura 9:</b> Ensayo de Flexión Estática.....	50
<b>Figura 10:</b> Ensayo de Compresión Paralela al Grano.....	52
<b>Figura 11:</b> Tipos de Falla Compresión Paralela al Grano.....	53
<b>Figura 12:</b> Ensayo de Compresión Perpendicular al Grano.....	55
<b>Figura 13:</b> Ensayo de Dureza.....	56
<b>Figura 14:</b> Ensayo de Cizallamiento.....	58
<b>Figura 15:</b> Pesaje de las galletas para la determinación del CH.....	59

## ÍNDICE DE FOTOS

<b>Foto 1:</b> Ubicación y levantamiento de los datos generales del árbol
<b>Foto 2:</b> Dimensionamiento y cantoneado de la troza
<b>Foto 3:</b> Elaboración de las láminas para las probetas
<b>Foto 4:</b> Secado de la madera
<b>Foto 5:</b> Preparación de la cola vegetal
<b>Foto 6:</b> Encolado de las láminas
<b>Foto 7:</b> Prensado de las probetas
<b>Foto 8:</b> Probetas para los ensayos
<b>Foto 9:</b> Ensayo de flexión estática
<b>Foto 10:</b> Tipos de falla de compresión paralela
<b>Foto 11:</b> Ensayo de Dureza
<b>Foto 12:</b> Ensayo de Compresión Perpendicular
<b>Foto 13:</b> Ensayo de Cizallamiento

## ABREVIATURAS

**KN** = Kilo Newton

**Mpa** = Megapascal

**ELP** = Esfuerzo al Límite Proporcional (Kg. /cm.<sup>2</sup>)

**MOE** = Módulo de Elasticidad (Kg. /cm.<sup>2</sup>)

**MOR** = Módulo de Ruptura (Kg. /cm.<sup>2</sup>)

**P<sub>1</sub>** = Carga la Límite proporcional (Kg.)

**A** = Área de Compresión (cm.<sup>2</sup>)

**HB** = Dureza (Kg. /cm.<sup>2</sup>.)

**F** = Fuerza (Kg.)

**A** = Área del circulo de penetración según Janka es de 1cm<sup>2</sup>.

$\sqrt{\text{cizall}}$  = Resistencia al Cizallamiento (kg. /cm.<sup>2</sup>.)

**P<sub>max</sub>** = Carga Máxima (kg.).

**A** = Área de la zona de Cizallamiento (cm.<sup>2</sup>.)

**CH** = Contenido de Humedad (%)

**Ph** = Peso Húmedo (gr.)

**Po** = Peso Anhidro (gr.)

$\bar{X}$  = valor promedio

**CV<sub>1</sub>** = coeficiente de variación entre arboles

**CV<sub>2</sub>** = coeficiente de variación dentro de los arboles

**CV<sub>T</sub>** = coeficiente de variación total

**S<sub>1</sub>** = desviación típica entre árboles

$S_2$  = desviación típica dentro de los árboles

$S_T$  = desviación típica total

$S_1^2$  = varianza entre árboles

$S_2^2$  = varianza dentro de los árboles

$S_T^2$  = varianza total

$\pm q$  = intervalo de confianza

$\pm p\%$  = porcentual