

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

**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE LA  
ESPECIE TOBOROCHI BLANCO (*Chorisia insignis* HBK.) PROVENIENTE  
DE LA PROVINCIA GRAN CHACO”**

Por:

**MARCO ANTONIO ALFARO SAUCANI**

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

**Gestión 2021**

**TARIJA-BOLIVIA**

V° B°

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

.....  
M.Sc. Ing. Juan Oscar Hiza Zúñiga  
**DECANO a.i.**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

.....  
M.Sc. Ing. Sebastián Ramos Mejía  
**VICEDECANO a.i.**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**AGRICOLAS Y FORESTALES**

**APROBADO POR:**  
**TRIBUNAL:**

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

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

.....  
M.Sc. Ing. Fidel Ibarra Martínez  
**TRIBUNAL**

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

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres Gualberto e Inés que con sacrificio, educación, amor y apoyo incondicional pude cumplir una etapa muy importante en mi vida, de ser profesional.

A mis hermanos Cristhian y Jhoelma que estuvieron siempre apoyándome en las buenas y en las malas, demostrando su cariño y amor incondicional.

A mi esposa Gimena, persona muy importante que estuvo detrás de este proyecto apoyándome en todo momento.

A mis dos amigos Jerson Llampa y Yimi Baldivieso que fueron las personas fundamentales para lograr esta meta.

## **AGRADECIMIENTO**

De manera muy especial agradezco a Dios, por guiarme y por darme salud y fuerza para continuar y concluir esta etapa muy importante en mi vida.

Agradezco a mis padres y hermanos que estuvieron y están en todo momento brindándome su apoyo, su amor y confianza en los momentos más difíciles.

Agradezco a mi pilar fundamental que son mi esposa Gimena y mi hijo Mateo que gracias a su ayuda, confianza, amor y sacrificio pudimos lograr esta meta juntos.

A mis mejores amigos Jerson y Yimi que estuvieron cuando más lo necesitaba.

A toda mi familia y amigos que estuvieron detrás de todo esto con su apoyo.

Al ingeniero Ariel Castillo por su tiempo, colaboración y por guiarme en la realización de esta investigación.

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.2 HIPÓTESIS.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	3
1.3.1 Objetivo General .....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. Descripción de la especie.....	4
2.1 Porte .....	4
2.1.1 Hojas .....	4
2.1.3 Frutos y semillas .....	4
2.1.4 Época de Floración y Fructificación .....	4
2.1.5 Distribución.....	5
2.1.6 Ecología.....	5
2.2 La madera.....	5
2.3. Composicion, estructura y propiedades de la madera.....	6
2.3.1 Composición .....	6
2.3.2 Estructura .....	6
2.3.3 Corteza .....	6
2.3.4 Cambium .....	6
2.3.5 Albura.....	6
2.3.6 Duramen.....	7
2.3.7 Núcleo o médula .....	7
2.4 Propiedades de la madera.....	7

2.4.1 Fácil mecanización.....	8
2.4.2 Dureza .....	8
2.4.3 Flexibilidad .....	8
2.4.3 Fendabilidad.....	8
2.4.4 Higroscopicidad .....	8
2.4.5 Combustibilidad.....	8
2.4.6 Conductividad .....	8
2.5 Calidad de la madera.....	9
2.6 Propiedades mecánicas de la madera .....	9
2.6.1 Flexión.....	10
2.6.2 Cortante .....	10
2.6.3 Módulo de Elasticidad.....	10
2.6.4 Compresión paralela a la fibra .....	10
2.6.5 Compresión perpendicular a la fibra .....	11
2.6.6 Dureza .....	11
2.6.7 Cizallamiento .....	11
2.6.8 Extracción de clavos .....	11
2.6.9 Tracción.....	11
2.7 Taxonomía y descripción de la especie.....	12

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y METODOS**

3. Descripción de la zona de obtención de la madera .....	13
3.1. Ubicación .....	13
3.2 Accesibilidad.....	13
3.3 Características biofísicas de la zona.....	15
3.3.1 Clima.....	15
3.3.2 Precipitaciones .....	15
3.3.3 Temperatura .....	15
3.3.4 Vientos .....	15
3.3.5 Suelos .....	17

3.3.6 Vegetación.....	17
3.3.7 Fauna.....	20
3.3.7.1 Aves.....	21
3.3.7.2 Peces.....	20
3.3.7.3 Abejas.....	21
3.3.7.4 Mamíferos.....	21
3.4 Materiales.....	23
3.4.1 Materiales de campo.....	23
3.4.2 Materiales de Laboratorio.....	23
3.4.3 Material de escritorio.....	24
3.4.4 Material biológico.....	24
3.5 Metodología.....	24
3.5.1 Selección y recolección de muestras.....	25
3.5.2 Definición de la población.....	25
3.5.3 Selección de los arboles.....	26
3.5.4 Ubicación de los arboles dentro del área de estudio.....	26
3.5.5 Selección de las trozas.....	27
3.5.6 Selección de las viguetas dentro de la troza.....	28
3.5.7 Elaboración de las probetas.....	28
3.5.8 Ensayo en estado verde.....	29
<b>3.6 Realización de los ensayos en laboratorio.....</b>	<b>31</b>
3.6.1 Flexión estática.....	31
3.6.2 Compresión paralela.....	33
3.6.3 Compresión perpendicular.....	35
3.6.4 Cizallamiento.....	36
3.6.5 Dureza.....	38
3.6.6 Extracción de clavos.....	40
3.6.7 Tracción o tensión.....	41
3.6.8 Contenido de Humedad.....	42



**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS**

4. Análisis Estadístico .....	43
4.1 Valor promedio total de todos los valores individuales .....	43
4.2 Estimación de la Varianza.....	44
4.3 Determinación del coeficiente de variación.....	46
4.4 Cálculo del intervalo de confianza para el valor promedio .....	47
4.5 Determinación del valor relativo del intervalo de confianza .....	48

**CAPÍTULO V**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

5.1 Presentación de los resultados.....	51
5.2 Resultados de los ensayos realizados.....	51
5.2.1 Flexión estática.....	51
5.2.2 Compresión Paralela al grano .....	53
5.2.3 Compresión perpendicular al grano .....	54
5.2.4 Cizallamiento .....	54
5.2.5 Dureza .....	55
5.2.6 Extracción de clavos .....	55

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1 Conclusiones .....	64
6.2 Recomendaciones.....	66
Bibliografía .....	67
Anexos	

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Datos climáticos del municipio de Villamontes.....	16
Cuadro 2: Especies del estrato arbóreo.....	18
Cuadro 3: Especies del estrato arbustivo.....	19
Cuadro 4: Especies del estrato herbáceo.....	19
Cuadro 5: Especies de mamíferos.....	21
Cuadro 6: Especies de aves.....	22
Cuadro 7: Especies de peces.....	23
Cuadro 8: Normas para realizar los ensayos (COPANT 1974).....	25
Cuadro 9: Datos dasometricos de los árboles.....	26
Cuadro 10: Selección de arboles.....	26
Cuadro 11: Coordenadas de los árboles.....	26
Cuadro 12: Dimensiones y número de probetas para los ensayos de las propiedades mecánicas de la madera en estado seco al aire.....	29
Cuadro 13: Datos para el análisis estadístico.....	43
Cuadro 14: Fórmulas para determinar la varianza.....	44
Cuadro 15: Resumen de los resultados de las propiedades mecánicas en estado seco al aire.....	57
Cuadro 16: Ensayo flexión estática.....	58
Cuadro 17: Ensayo compresión paralela.....	59
Cuadro 18: Ensayo compresión perpendicular.....	60
Cuadro 19: Ensayo de cizallamiento.....	61
Cuadro 20: Ensayo de dureza.....	62
Cuadro 21: Ensayo de extracción de clavos.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura interior de la madera.....	7
Figura 2: Trozado y aserrado de la madera.....	28
Figura 3: Desprendimiento de las fibras .....	30
Figura 4: Ensayo estática.....	31
Figura 5: Ensayo compresión paralela al grano.....	33
Figura 6: Ensayo compresión perpendicular al grano.....	36
Figura 7: Ensayo de cizallamiento.....	37
Figura 8: Ensayo de dureza.....	39
Figura 9: Ensayo de extracción de clavos.....	40
Figura 10: Probetas rotas en el dimensionamiento para tracción.....	41
Figura 11: Secado de las galletas en el horno para determinación del CH.....	42

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Mapa de ubicación de la zona de extracción de los árboles.....	14
Mapa 2: Uso de suelo.....	17
Mapa 3: Cobertura vegetal.....	20
Mapa 4: Ubicación de los árboles dentro del área de estudio.....	27

## ÍNDICE DE GRÁFICA

Grafica 1: Flexión estática.....	51
Grafica 2: Compresión paralela.....	53

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Identificación de la ubicación de los árboles.	
Foto 2: Medición de los árboles.	
Foto 3: Medición de la altura del tocón.	

Foto 4: Volteo de los árboles.

Foto 5: Realizando el troceado.

Foto 6: Cortado de las trozas.

Foto 7: Cargado y extracción de la madera.

Foto 8: Madera en carpintería.

Foto 9: Codificación y apilado de la madera para el secado en el laboratorio de tecnología de la madera.

Foto 10: Ensayo flexión estática.

Foto 11: Ensayo compresión paralela al grano.

Foto 12: Ensayo compresión perpendicular al grano.

Foto 13: Ensayo de cizallamiento.

Foto 14: Ensayo de dureza.

Foto 15: Ensayo de extracción de clavos.