

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

**“PROPIEDADES DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA EN MADERAS  
DE NOGAL CRIOLLO (*Juglan australis-griseb*) Y ALISO (*Alnus  
jorullensis*) PROVENIENTES DE LA PROVINCIA O’CONNOR  
DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

**Por:**

**CARLOS ALBERTO VARCA RUIZ**

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

Abril del 2012  
**TARIJA-BOLIVIA**

El tribunal calificador de la presente tesis, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

## **PENSAMIENTO**

*Hay quienes pretenden ser ricos y no tiene nada y hay quienes pretenden ser pobres y tienen muchas riquezas. Prov. Cap. 13, 7*

## **DEDICATORIA**

---

*Dedicado a mis padres: Emillo Varca y Marcia ruiz por darme la vida, hogar y educación, a mis hermanos: Emilio, Efrain y Marisol por su apoyo y hermandad*

---

## **AGRADECIMIENTO**

---

*Muy especial al Ing. Dionicio Cruz, por su colaboración en la elaboración de la presente tesis, así también al Ing. Deimer Moreno y al Ing. Sebastián Ramos por el apoyo al realizar este trabajo de investigación, que Dios los acompañe siempre.*

---

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
1.-Introducción.....	1
1.1.-Justificación.....	3
1.2.-Objetivo.....	4
1.2.1.-Objetivo general.....	4
1.2.2.-Objetivos específicos.....	4
1.3.-Hipótesis.....	5

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.- La madera y sus características.....	6
2.1.- Definición de la madera.....	6
2.2.- Características de la madera.....	6
2.3.- Propiedades de la madera.....	7
2.3.1.- Propiedades mecánicas.....	7
2.3.1.1.- Tracción paralela a la fibra.....	8
2.3.1.2.- Compresión paralela a la fibra.....	8
2.3.1.3.- Flexión.....	9

	<b>Página</b>
2.3.1.4.- Tracción perpendicular a la fibra.....	9
2.3.1.5.- Compresión perpendicular a la fibra.....	9
2.3.1.6.- Cortante.....	10
2.3.1.7.- Módulo de elasticidad.....	10
2.3.2.- Propiedades Físicas.....	11
2.3.2.1.- Humedad.....	11
2.3.2.2.- Densidad.....	11
2.3.2.3.- Contracción e Hinchamiento.....	12
2.3.3.- Propiedades térmicas.....	13
2.3.3.1.- Poder calorífico.....	13
2.3.3.2.- Combustibilidad.....	13
2.3.4.- Propiedades acústicas de la madera.....	14
2.3.4.1.- Aislamiento acústico frente a ruidos aéreos externos.....	14
2.3.4.2.- Aislamiento acústico frente a ruidos aéreos internos.....	14
2.3.4.3.- Aislamiento acústico frente a impactos.....	14
2.3.4.4.- Transmisión acústica.....	15
2.4.- Acústica.....	15
2.4.1.- El sonido, infrasonido, y el ultrasonido.....	15
2.4.1.1.- El Sonido.....	15
2.4.1.2.- Infrasonido.....	16

	<b>Página</b>
2.4.3.- Cualidades del Sonido.....	18
2.4.3.1. Intensidad.....	18
2.4.3.2. Tono.....	19
2.4.3.3.- Timbre.....	20
2.5.- Propagación de las ondas de ultrasonido.....	21
2.5.1.- El ultrasonido en la madera.....	24
2.5.2.- La ofimática en el ultrasonido.....	26
2.5.2.1.- Hardware.....	26
2.5.2.2.- Software.....	27
2.5.3.-Velocidad del sonido en los materiales.....	30

**CAPÍTULO III**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

3.- Materiales y Métodos.....	31
3.1.- Materiales.....	31
3.2. Metodología.....	32
4.2.1.- Fase de Gabinete.....	32
3.2.1.1.- Fórmula para calcular la velocidad del sonido.....	33
3.2.2.- Fase de Laboratorio.....	35

**CAPÍTULO IV**  
**CÁLCULOS Y RESULTADOS**

	<b>Página</b>
4.- Cálculos y Resultados.....	37
4.1.- Cálculo del Módulo de elasticidad en compresión perpendicular de la especie Aliso ( <i>Alnus jorullensis</i> ).....	37
4.2.- Cálculo del módulo de elasticidad en compresión perpendicular, para la especie: nogal criollo ( <i>Jugalns australis-griseb</i> ).....	38
4.3.- Cálculo de la densidad expresada en $\text{kg.s}^2/\text{cm}^4 = 1.0176 (X)+0.001$ y de la velocidad (Mt/s) del sonido de la especie <i>Alnus jorullensis</i> , aliso en estado verde mayor a 30% en compresión paralela y perpendicular.	39
4.3.1.- Tabla de la velocidad del sonido del aliso ( <i>Alnus jorullensis</i> ) en estado verde, en compresión paralela y perpendicular a la fibra.....	40
4.3.2.-. Módulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido en sentido perpendicular y paralelo a la fibra de la especie aliso <i>alnus jorullensis</i> . Estado verde.....	41
4.3.3.- Cálculo de la densidad expresada en $\text{kg.s}^2/\text{cm}^4 = 1.0176 (X)+0.001$ y de la velocidad (Mt/s) del sonido de la especie <i>Alnus jorullensis</i> , aliso en estado seco al aire en compresión paralela (Comp. II) y perpendicular (Comp. I).....	42
4.3.4.- Tabla de la velocidad del sonido del aliso <i>Alnus jorullensis</i> en estado seco al aire, en compresión paralela y perpendicular a la fibra.	43
4.3.5.-Módulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido en sentido perpendicular y paralelo a la fibra de la especie aliso <i>alnus jorullensis</i> .	44

4.3.6.- Velocidad del sonido ajustado al 12% de contenido de humedad, en compresión paralela y perpendicular de la especie aliso <i>alnus jorullensis</i> .....	45
4.3.7.- Tabla de la velocidad del sonido ajustado al 12% en compresión paralela y perpendicular.....	46
4.3.8.- Módulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido paralelo y perpendicular a la fibra de la especie aliso <i>alnus jorullensis</i> . Ajustado al 12%.....	47
4.4.- Cálculo de la densidad expresada en $\text{kg.s}^2/\text{cm}^4 = 1.0176 (X)+0.001$ y de la velocidad (Mt/s) del sonido de la especie <i>Jugalns australis-griseb</i> , nogal en estado verde mayor a 30% en compresión paralela y perpendicular.....	48
4.4.1.- Tabla de la velocidad del sonido del nogal criollo <i>Jugalns australis-griseb</i> , en estado verde, en compresión paralela y perpendicular a la fibra.....	49
4.4.2.- Módulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido en sentido perpendicular y paralelo a la fibra de la especie <i>Jugalns australis-griseb</i> . Nogal criollo estado verde.....	50
4.4.3.- Cálculo de la densidad expresada en $\text{kg.s}^2/\text{cm}^4 = 1.0176 (X)+0.001$ y de la velocidad (Mt/s) del sonido de la especie <i>Jugalns australis-griseb</i> , nogal en estado seco al aire, en compresión paralela y perpendicular.....	51
4.4.4.- Tabla de la velocidad del sonido del nogal criollo ( <i>Jugalns australis-griseb</i> ), en estado seco al aire, en compresión paralela y perpendicular a la fibra.....	52

	<b>Página</b>
4.4.5.- Módulo de elasticidad (MOE) vs velocidad del sonido en sentido perpendicular y paralela a la fibra de la especie <i>Jugalns australis-griseb.</i> Nogal criollo seco al aire.....	53
4.4.6.- Velocidad del sonido ajustado al 12% de contenido de humedad, en compresión paralela y perpendicular. <i>Jugalns australis-griseb.</i> Nogal criollo.....	54
4.4.7.- Tabla de la velocidad del sonido ajustado al 12% en compresión perpendicular y paralela de la especie. <i>Jugalns australis-griseb.</i> Nogal criollo.....	55
4.4.8.- Módulo de elasticidad vs velocidad del sonido, ajustado al 12%, en compresión perpendicular.....	56
4.5.- Resultados del ensayo en laboratorio.....	57
4.6.- Cálculos Estadísticos.....	58
4.7.- Tablas comparativas de los resultados obtenidos en las dos fases del desarrollo de la investigación.....	59

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE DATOS**

5.- Análisis y discusión de datos.....	60
--	----

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

	<b>Página</b>
6.- Conclusiones y Recomendaciones.....	62
6.1.- Conclusiones.....	62
6.2.- Recomendaciones.....	64

**CAPÍTULO VII**  
**BIBLIOGRAFÍA**

7.- Bibliografía.....	65
-----------------------	----

**ANEXOS**

Tabla compresión Perpendicular de la especie ( <i>Alnus jorullensis</i> ) Aliso..	69
Tabla de compresión paralela de la especie ( <i>Alnus jorullensis</i> ) Aliso.....	70
Tabla de compresión Perpendicular de la especie ( <i>Juglans australis-griseb</i> ) Nogal criollo .....	71
Tabla de compresión Paralela de la especie ( <i>Juglans australis-griseb</i> ) Nogal criollo.....	72
Fotos De La Fase Experimental en el Laboratorio de Tecnología de la Madera y en el Laboratorio de Física.....	73
Descripción de los instrumentos utilizados en la fase experimental.....	76