



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del título  
de Ingeniero Forestal**

**“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE LA  
MADERA DE *Alnus nepalensis* D. Don EN INTAG, ZONA ANDINA DEL  
ECUADOR”**

**AUTOR**

Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

**DIRECTORA**

Ing. Vizcaíno Pantoja María Isabel

**IBARRA – ECUADOR**

2016

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE LA  
MADERA DE *Alnus nepalensis* D. Don EN INTAG, ZONA ANDINA DEL  
ECUADOR”**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la  
presentación como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

**APROBADO**

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja  
**Directora de trabajo de titulación** .....

Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación** .....

Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación** .....

Ing. Walter Armando Palacios Cuenca  
**Tribunal de trabajo de titulación** .....

**Ibarra – Ecuador**

2016



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
<b>Cédula de identidad:</b>	100360769-2	
<b>Apellidos y nombres:</b>	Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla	
<b>Dirección:</b>	Otavalo ciudadela Proaño Maya II Etapa	
<b>Email:</b>	franktense@gmail.com	
<b>Teléfono fijo:</b>	063-052-148	<b>Teléfono móvil:</b> 0979649361

DATOS DE LA OBRA	
<b>Título:</b>	“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE <i>Alnus nepalensis</i> D. Don EN INTAG, ZONA ANDINA DEL ECUADOR”
<b>Autor:</b>	Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla
<b>Fecha:</b>	19 de julio del 2016
<b>Solo para trabajos de titulación</b>	
<b>Programa:</b>	Pregrado
<b>Título por el que opta:</b>	Ingeniero Forestal
<b>Directora:</b>	Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, **Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla**, con cédula de ciudadanía Nro. 100360769-2; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de titulación descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

## **3. CONSTANCIA**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 19 de julio del 2016

**EL AUTOR:**

**ACEPTACIÓN:**

.....  
Ing. Betty Mireya Chávez Martínez  
**JEFE DE BIBLIOTECA**

.....  
Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla  
**C.C: 100360769-2**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla**, con cédula de ciudadanía Nro. 100360769-2; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominada **“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE *Alnus nepalensis* D. Don EN INTAG, ZONA ANDINA DEL ECUADOR”** que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....  
Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla  
**C.C.:100360769-2**

Ibarra, a los 19 días del mes de julio del 2016

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA -UTN

**Fecha:** 19 de julio del 2016

**Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla:** “Propiedades Físicas Químicas y de Trabajabilidad de la madera de *Alnus nepalensis* D. Don en Intag, zona andina del Ecuador” / TRABAJO DE TITULACIÓN. Ingeniero Forestal.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal Ibarra, 19 de Julio del 2016, 90 páginas.

**DIRECTORA: Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja**

El objetivo principal de la presente investigación fue: Establecer los posibles usos maderables de *Alnus nepalensis*. Entre los objetivos específicos se encuentra: Determinar las propiedades físicas, Determinar las propiedades químicas y Determinar las propiedades de trabajabilidad.

**Fecha:** 19 de julio del 2016

.....

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja

**Directora de trabajo de titulación**

.....

Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

**Autor**

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

*Por ser mi principal fuente de inspiración, estar siempre conmigo y darme las fuerzas que necesite para luchar y para lograr mis metas y sueños, por guiarme por el buen camino, y darme la oportunidad de ser una buena persona.*

### **A MI MADRE**

*Sra. Patricia Mediavilla, por darme la vida, por su amor, cariño y comprensión en todos los momentos de mi vida, por ser lo que es y por hacer de mí lo que ahora soy. Por el apoyo incondicional que me ha brindado durante toda mi vida.*

### **A MI PADRE**

*Sr. Vicente Mediavilla jefe ejemplar, valiente, fuerte que el problema grande lo hace pequeños, que nunca se da por vencido ante nada, por sacarnos adelante a todos sus hijos, gracias por darme la oportunidad de superarme y pueda cumplir mis metas..*

### **A MIS HERMANOS**

*Javier, por haberme regalado la dicha de ser tío, Diego, Jhonny, Marcelo, Alexander gracias por su apoyo, cariño confianza y comprensión recibido durante todo mi periodo académico. Les deseo la mejor de la suerte en su vida y todos puedan cumplir sus sueños.*

### **A MI TÍA**

*Elizabeth Mediavilla, madre, amiga, hermana una persona luchadora, ejemplar gracias por haberme abierto las puertas de su casa, y depositar su confianza en mí y pueda superarme.*

## **AGRADECIMIENTO**

A la **Universidad Técnica del Norte** por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Ingeniería Forestal.

Al **Ing. María Vizcaíno**, Directora de Tesis, ya que con la ayuda de sus conocimientos se aclaró dudas y por sus substanciales sugerencias durante la redacción de toda la investigación.

Al **Ing. Hugo Vallejos, Ing. Karla Dávila e Ing. Walter Palacios**, por su buena disposición para formar parte del cuerpo de asesores y por sus oportunas sugerencias, y aportes en el desarrollo de la investigación.

Al **Ing. Carlos Boada**, por su colaboración en el manejo y utilización de las máquinas de la central maderera y poder realizar los ensayos de trabajabilidad.

A mi tía **Martha Mediavilla, Abelardo Mediavilla y Sra. Silvia Mediavilla** que en su momento contribuyeron con un granito de arena, en este camino duro y complicado.

A mis primos **Fernando A., Estefanía B., Mauricio M.** gracias por los consejos, cariño, apoyo incondicional y sus buenos deseos.

Y a todos mis amigos que siempre estuvieron ahí para apoyarme en el momento más difíciles de mi vida estudiantil.

**El autor**



## ÍNDICE DEL CONTENIDO

	<b>Págs.</b>
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	iii
CONSTANCIA.....	iii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	iv
REGISTRO BIBIOGRÁFICO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY .....	xv
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 OBJETIVOS .....	17
1.1.1 General.....	17
1.1.2 Específicos .....	17
1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES .....	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 FUNDAMENTACION LEGAL .....	18
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	18
2.2.1 Propiedades de la madera.....	18
2.2.1.1 Características de la madera .....	18
2.2.2 Propiedades físicas .....	19
2.2.2.1 Contenido de humedad .....	19
2.2.2.2 Peso específico .....	20
2.2.2.3 Densidad .....	20
2.2.2.4 Contracción.....	21

	<b>Págs.</b>
2.2.3	Propiedades químicas.....21
2.2.3.1	Lignina.....22
2.2.3.2	Celulosa .....22
2.2.3.3	Hemicelulosa .....22
2.2.3.4	Cenizas .....22
2.2.4	Propiedades de trabajabilidad .....23
2.2.4.1	Cepillado.....23
2.2.4.2	Lijado.....24
2.2.4.3	Moldurado .....25
2.2.4.4	Taladrado .....25
2.2.4.5	Torneado.....27
2.2.5	Características de <i>Alnus nepalensis</i> .....28
2.2.5.1	Hábitat y distribución .....28
2.2.5.2	Descripción botánica .....28
2.2.5.3	Descripción de la madera .....29
2.2.5.4	Usos .....30
2.2.5.5	Propiedades físicas .....30
2.2.6	Características de <i>Alnus acuminata</i> .....31
2.2.6.1	Hábitat y distribución .....31
2.2.6.2	Descripción de la madera .....31
2.2.6.3	Propiedades físicas .....31
2.2.6.4	Usos:.....32
2.2.7	Sistema de clasificación de madera aserrada .....32
2.2.7.1	Maderas de densidad tipo “D” .....33
2.2.8	Investigaciones a fines .....33
CAPÍTULO III..... 35	
MATERIALES Y MÉTODOS ..... 35	
3.1	UBICACIÓN DEL SITIO ..... 35
3.1.1	Fase de campo .....35
3.1.2	Fase de laboratorio .....35
3.2	MATERIALES E INSUMOS ..... 36

	<b>Págs.</b>
3.2.1	Materiales .....36
3.2.2	Insumos .....36
3.2.3	Equipos e instrumentos .....36
3.2.4	Material vegetativo.....36
3.3	METODOLOGÍA..... 37
3.3.1	Sitio y obtención de material.....37
3.3.2	Obtención del material experimental .....38
3.3.3	Determinación de las propiedades físicas .....38
3.3.3.1	Contenido de humedad .....39
3.3.3.2	Densidad .....40
3.3.3.3	Contracción.....42
3.3.4	Determinación de las propiedades químicas .....46
3.3.5	Determinación de las propiedades de trabajabilidad.....47
3.3.5.1	Cepillado.....48
3.3.5.2	Lijado.....50
3.3.5.3	Moldurado .....51
3.3.5.4	Taladrado .....52
3.3.5.5	Torneado.....53
3.3.5.6	Tallado .....54
	CAPÍTULO IV..... 55
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 55
4.1	PROPIEDADES FÍSICAS ..... 55
4.1.1	Contenido de humedad.....55
4.1.2	Densidad.....56
4.1.3	Contracción volumétrica total .....57
4.1.4	Contracción relación T/R .....57
4.2	PROPIEDADES QUÍMICAS ..... 58
4.2.1	Cenizas .....58
4.3	PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD ..... 59
4.3.1	Cepillado .....59
4.3.2	Lijado .....60

	<b>Págs.</b>
4.3.3	Moldurado .....60
4.3.4	Taladrado.....61
4.3.5	Torneado .....61
4.3.6	Tallado.....61
4.3.7	Resumen de defectos.....62
4.3.8	Usos probables .....62
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 63
5.1	CONCLUSIONES ..... 63
5.2	RECOMENDACIONES ..... 63
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 65
	GLOSARIO ..... 68
	LISTA DE ABREVIATURAS ..... 69
	ANEXOS ..... 70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipo de corte en la troza para la obtención de probetas .....	37
<b>Figura 2.</b> Probetas para determinar las propiedades físicas .....	39
<b>Figura 3.</b> Probetas para determinar las propiedades físicas .....	40
<b>Figura 4.</b> Tipos de corte según la orientación en el tronco .....	48
<b>Figura 5.</b> Dimensión de las probetas para ensayos de cepillado.....	49
<b>Figura 6.</b> Cuchillas de cepilladora .....	50
<b>Figura 8.</b> Dimensión de probeta destinada a ensayos de moldurado .....	52
<b>Figura 9.</b> Probeta para ensayos de torneado.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Contenido de cenizas de especies a fines .....	23
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de densidades de maderas´ .....	32
<b>Tabla 3.</b> Características de especies de densidades tipo “D” (maderas blandas). 33	
<b>Tabla 4.</b> Densidad y ensayos de trabajabilidad de maderas tipo “D” (maderas blandas) .....	34
<b>Tabla 5.</b> Resumen de las propiedades físicas .....	55
<b>Tabla 6.</b> Calificación de <i>Alnus nepalensis</i> .....	59

**TITULO: “PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE *Alnus nepalensis* D. Don EN INTAG, ZONA ANDINA DEL ECUADOR”**

**Autor:** Mediavilla Franklin

**Directora de Trabajo de Titulación:** Ing. For. María Vizcaíno

**Año:** 2016

## **RESUMEN**

En la zona de Intag, los primeros árboles establecidos, se encuentran en el turno de corta; sin embargo, no existe información sobre las características de propiedades físicas, químicas, y de trabajabilidad de la madera, por lo que se planteó en la investigación como objetivo general. Establecer los posibles usos maderables de *Alnus nepalensis*; y como objetivos específicos los siguientes: a) Determinar las propiedades físicas, b) Determinar las propiedades químicas, y, c) Determinar las propiedades de trabajabilidad. El material experimental se obtuvo en el sector Peñas Blancas de la parroquia Plaza Gutiérrez, del cantón Cotacachi. Según las normas COPANT, para para los ensayos de las propiedades físicas, se seleccionaron siete árboles, la dimensión de las probetas fueron 10 x 3x 3 cm en las caras radial, tangencial y oblicua, con un total de 98 probetas, mientras que para ensayos de las propiedades químicas se utilizó las normas AOAC 923,03, se extrajo astillas de la albura y el duramen; respecto a la trabajabilidad, las normas utilizadas son ASTM D 1666-87 (1999), se cortó probetas de 100 x 10 x 6 cm con un total de 45. En lo referente a los resultados del contenido de humedad fue de 115,39% con una densidad básica de 0,31 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que la contracción volumétrica total fue 10,91%, y la relación tangencial/ radial 2,63%; en cuanto al contenido de ceniza para la albura se registró 0,64%, para el duramen 0,73%, con un promedio total de 0,68%; en lo referente al ensayo del lijado con lija número 100, moldurado en la cara a favor y en contra del grano y en el taladrado en la cara de ingreso, presentó un comportamiento excelente, mientras que en el cepillado y lijado con lija número 60 presentó un comportamiento de bueno, además en el ensayo de torneado y taladrado en la cara de salida presentó un comportamiento de regular.

**TITLE:** "PHYSICAL PROPERTIES, CHEMICAL AND WOOD MACHINING from *Alnus nepalensis* D. Don IN INTAG, ANDEAN ZONE OF ECUADOR"

**Author:** Mediavilla Franklin

**Director:** Eng. María Vizcaíno

**Year:** 2016

## SUMMARY

In Intag zone, the first established trees are in short turn; however, there is no information on the characteristics of physical, chemical properties, and workability in wood. Therefore, a general goal was raised for the investigation. To establish potential uses from *Alnus nepalensis* timber and as specific goals were the following: a) to determine physical properties, b) to determine the chemical properties, and c) to determine the properties of workability. The experimental material was gotten in the Peñas Blancas area from the parish Gutierrez square in Cotacachi. According to COPANT standards, in order to test physical properties, seven trees were selected, the dimension of the specimens were 10 x 3x 3 cm in the radial, tangential, and oblique sides, a total of 98 samples, whereas tests chemical properties of the AOAC 923.03 standards, chips sapwood and heartwood were extracted; according to workability, the standards that were used were ASTM D 1666-87 (1999), it were cut into pieces of 100 x 10 x 6 cm with a total of 45. In regardless to the results of the moisture, was 115.39% with a basic density of 0.31 g / cm<sup>3</sup>, while the total volumetric shrinkage was 10.91%, and tangential / radial ratio 2.63%; on the other hand in ash to the sapwood 0.64% was recorded for the heartwood 0.73%, with an overall average of 0.68%; in relation for the testing sanding with sandpaper number 100, molded in the face in favor and against to the grain and in the drilling in the face of income, it was presented an excellent performance, while brushing and sanding with sandpaper number 60, it presented good behavior; also, in testing and drilling in the turning output face showed a regular behavior.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

*Alnus nepalensis* originario de Nepal, fue introducido en 1995 a la zona de Intag en el marco del proyecto SUBIR, que buscaba proteger la Reserva Ecológica Cotacachi - Cayapas, principalmente en zona de amortiguamiento, a fin de evitar la ampliación de la frontera agrícola. En el estudio realizado por Castillo (2012), se evidencia que la especie ha tenido excelentes rendimientos, a los 24 meses obtuvo un incremento en las variables dasométricas de 5,47 cm de diámetro basal (DB); 4,25 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP); 3,91 m de altura total (HT) y 2,45 m en el diámetro de copa (DC), e incorpora gran cantidad de biomasa al suelo; esto ha motivado a los habitantes de la zona de Intag, a establecer prácticas agroforestales y rodales puros.

En la zona de Intag, los primeros árboles plantados, han llegado al turno de corta; sin embargo, no existe información sobre las características de propiedades físicas, químicas, y de trabajabilidad de la madera que ha desarrollado la especie según las condiciones ecológicas del área de estudio.

El estudio determinó las propiedades físicas, químicas, y de trabajabilidad de la madera, con el fin de dar a conocer los usos actuales como: artesanías y cajonería, además potenciar las otras formas de empleo que se podrá dar a la misma, motivando el interés en la plantación con fines de producción maderera.



## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 General**

Establecer los posibles usos maderables de *Alnus nepalensis*.

### **1.1.2 Específicos**

- Determinar las propiedades físicas.
- Determinar las propiedades químicas.
- Determinar las propiedades de trabajabilidad.

## **1.2 PREGUNTAS DIRECTRICES**

- ¿Cuáles son las propiedades físicas?
- ¿Cuáles son las propiedades químicas?
- ¿Cuáles son las propiedades de trabajabilidad?

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 FUNDAMENTACION LEGAL

La investigación se enmarca en la línea de investigación de la carrera de Ingeniería Forestal de la UTN: Producción y protección sustentable de los recursos forestales. Esta línea de investigación a su vez se sustenta en el objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013, pag 221), en la política y lineamiento estratégico 7.10 del mismo objetivo:

**Objetivo 10:** Impulsar la transformación de la matriz productiva, este objetivo a su vez incluye

**Política y lineamientos estratégicos 10.2** Promover la intensidad tecnológica en la producción primaria, de bienes intermedios y finales literal y el lineamiento estratégico **b**. Tecnificar los encadenamientos productivos en la generación de materias primas y la producción bienes de capital, con mayor intensidad tecnológica en sus procesos productivos.

#### 2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

##### 2.2.1 Propiedades de la madera

###### 2.2.1.1 *Características de la madera*

La madera es un material de origen vegetal, compacto y fibroso, higroscópico anisotrópico, heterogéneo, poroso, está constituido por células muertas, biodegradable y combustible (Norma Ecuatoriana de Construcción [NEC], 2014), que no tiene una estructura uniforme y cumple con tres funciones: la conducción de la savia, agua y sustancias disueltas,

la transformación y almacenamiento de sustancias de reserva y el sostenimiento o resistencia mecánica del vegetal (Sibile, 2006).

La evaluación y caracterización de propiedades de la madera de cualquier especie, facilita la información acerca de su procesado y transformación en las diferentes industrias, lo cual permite acceder a los diferentes la potencialidad en los mercados que puede llegar a tener cierta especie (CMA citado por Quemá, 2015).

## **2.2.2 Propiedades físicas**

### **2.2.2.1 Contenido de humedad**

El contenido de humedad (CH) es la cantidad de agua contenida en la madera, expresado en porcentaje de su peso anhidro (Fuentes, *et al.* citado por Meneses, 2011); se encuentra en forma líquida y gaseosa (Arroyo citado por Meneses, 2011).

El contenido de humedad influye en la capacidad mecánica de la madera, a menor CH, baja el Punto de Saturación de las Fibras (PSF), en general, aumenta la capacidad mecánica y resistencia de la madera, tanto en flexión estática, compresión paralela y compresión perpendicular (Pérez & Campos *et al.*, citado por Meneses, 2011).

La madera contiene agua bajo tres formas, de las cuales únicamente las mencionadas a continuación influyen en el contenido de humedad del agua (NEC, 2014):

- Agua libre. - se encuentra en las cavidades celulares y se desprende de la madera antes que el agua de las paredes celulares.
- Agua higroscópica. - es también conocida como ligada, está presente en las paredes celulares.

El mismo autor afirma que cuando las células están vacías y las paredes celulares se encuentran saturadas de agua, la madera ha llegado al denominado Saturación de (PSF), que es alrededor del 30% de contenido de humedad, a partir de este porcentaje, empiezan a aparecer los defectos que suele presentar la madera.

### 2.2.2.2 *Peso específico*

El peso específico es la relación, entre el peso de la madera de un determinado contenido de humedad y el volumen de agua de una determinada temperatura, esta propiedad influye directamente en la resistencia a la flexión, entonces mientras mayor es el peso específico mayor será la resistencia (Dudek citado por Pozo & Terán, 1997).

El tamaño de las células, el espesor de sus paredes y la interrelación entre el número de las clases celulares constitutivas de cada especie, son determinantes en el valor del peso específico (Acosta citado por Flores & Muñoz, 1989).

La selección y clasificación de las maderas, permiten estimar su resistencia, habilidad para sostener clavos y facilidad de trabajo en las maquinas (Acosta citado por Flores & Muñoz, 1989).

### 2.2.2.3 *Densidad*

La densidad es el coeficiente entre la masa y el volumen de la madera, la cual varía entre la humedad, es decir cuando la humedad crece la densidad también crece y se encuentra muy relacionada con las propiedades mecánicas (Kursulovic, *et al.*, citado por Díaz, 2005).

La densidad es la relación entre el peso y el volumen de la madera en un determinado contenido de humedad, esto da lugar a que la densidad sea calculada en diferentes estados, (Comisión Panamericana de Normas Técnicas [COPANT] citado por Díaz, 2005):

- a) **Densidad de referencia.** - relación entre la masa y el volumen de la probeta, determinado ambos de un mismo contenido de humedad para este tipo de humedad se definen:
  - i. **Densidad normal.** - relación entre la masa y el volumen determinados ambos de un mismo contenido de humedad igual al 12%.
  - ii. **Densidad en estado anhidro.** - es la relación entre la masa y el volumen de la probeta madera seca al horno.

- b) **Densidad básica.** - es la relación entre de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta en estado verde.
- c) **Densidad nominal.** - relación entre la masa de la probeta en estado anhidro y el volumen de la probeta al contenido de humedad.

#### **2.2.2.4 Contracción**

La contracción es una propiedad en el cambio de volumen y dimensiones de la madera, causadas por la alteración del contenido de humedad (Dudek, citado por Flores & Muñoz, 1989), se expresa en porcentaje (Pozo & Terán, 1997).

La contracción se produce cuando la madera se seca por debajo del PSF, esta disminuye el volumen, si vuelve a aumentar su volumen, este fenómeno se llamado movimiento o juego de la madera, y se expresa en cifras (Torres & Cueva citado por Díaz, 2005).

#### **2.2.3 Propiedades químicas**

Los elementos químicos principales de madera son carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno en cantidades muy pequeñas. El análisis químico de varias especies, incluso maderas de gimnospermas o y maderas duras de angiospermas, muestra la siguiente proporción: carbono 49-50%, hidrógeno 6%, oxígeno 44-45%, y nitrógeno sólo 0.1-1%. El carbono, hidrógeno y la combinación de oxígeno sirven para formar los componentes orgánicos principales de sustancia de madera, como: celulosa, hemicelulosa, y lignina ( Paz, 2008).

La celulosa, hemicelulosa y lignina son componentes orgánicos de la madera, estos al ser sometidos al laboratorio con el uso de solventes y técnicas específicas y relacionarlos entre si forman varios componentes químicos ( Paz, 2008).

### **2.2.3.1 Lignina**

La lignina, también conocida como polímeros estructurales, formada por un grupo de compuestos químicos, abundante en los tejidos de las paredes celulares (Paz, 2008), mantiene unidas las fibras y regular el contenido de humedad (Universidad de la República de Uruguay [UDELAR] 2010), actúan como puente de unión entre las células de la madera, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones (Paz, 2008).

### **2.2.3.2 Celulosa**

La celulosa es un homopolisacárido (es decir, compuesto de un único tipo de monómero) más abundante en la biomasa terrestre, es rígido, insoluble, contiene varios cientos y miles de unidades de glucosa (Paz, 2008).

Su estructura es lineal o fibrosa, se establece de múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables e insolubles al agua, y su función es servir como tejido de sostén para la planta (Paz, 2008).

### **2.2.3.3 Hemicelulosa**

La hemicelulosa es un heteropolisacárido, posee moléculas cortas y ramificadas e incrementa la solubilidad en el agua, tiene habilidades de enlazarse con el agua para la elasticidad de la pared celular (UDELAR, 2010).

### **2.2.3.4 Cenizas**

Según Fonseca (2006), el contenido de cenizas en el carbón es de alrededor del 30% en peso, y el balance es carbono fijo, alrededor del 67-70%. Además, puede contener cantidades

diminutas de una lista larga de otros elementos, como fósforo, azufre, sodio, aluminio, titanio, manganeso, hierro, cobalto, níquel, plata, bario, plomo y oro.

Pequeñas cantidades de elementos minerales, como calcio, potasio y magnesio, se encuentran en ceniza de madera. Normalmente, el volumen de la ceniza raramente es más bajo que 0.2% o más alto que el 1% del porcentaje en peso de madera (Paz, 2006).

**Tabla 1.** Contenido de cenizas de especies a fines

Autor	Especie	Porcentaje (%)		
		Albura	Duramen	Cenizas
Fonseca, 2006	<i>Pinus maximinoi</i>	0,1	0,7	0,40
Paz, 2006	<i>Gmelina arborea Roxb</i>	0,4	1,2	0,80
Francis, 1991	<i>Ochroma pyramidale Cav</i>			2,12

**Elaborado por:** Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

**Fuente:** Fonseca y Paz (2006), Francis (1991)

## 2.2.4 Propiedades de trabajabilidad

La trabajabilidad es el proceso de maquinado que se le aplica a la madera e influye en su utilización. El comportamiento que presenta cada especie después de este proceso determina el grado de dificultad y calidad superficial que se obtendrá una vez elaborado el producto final (Serrano citado por Meneses, 2011).

### 2.2.4.1 Cepillado

El cepillado es una operación primordial en el proceso de transformación de la madera, mediante la acción de cuchillas, con movimiento lineal o circular (Jonhton, Martínez & Martínez, 1996). La velocidad de alimentación de la madera depende del afilado de las cuchillas, mientras que en la mayoría de los cepillos el factor que puede variar, en la máquina es la velocidad de avance del material, ya que las revoluciones por minuto en el cabezal y el ángulo para colocar las cuchillas son fijas. Este último factor puede ser modificado con la

variación del ángulo de la punta de las cuchillas, logrando tener diferentes ángulos de corte, dependiendo de la especie a cepillar podría ser eficientes (Martínez & Martínez, 1996).

Para determinar la trabajabilidad de la madera se debe tomar en cuenta la siguiente terminología (Jonhton citado por Meneses, 2011):

- Ángulo de cara anterior. - Es el ángulo dado por la inclinación de la cuchilla o cuchillas en el cabezal portacuchillas.
- Ángulo de corte. - Es el ángulo comprometido entre la cara anterior de la cuchilla o entre el bisel frontal y un plano que pasa por el filo de la cuchilla y el eje del cabezal portacuchillas.
- Bisel Frontal. - Es el bisel que se hace sobre la cara anterior para reducir el ángulo de corte.
- Ángulo libre. - Es el ángulo comprendido entre la tangente que pasa por el filo de la cuchilla y el bisel posterior.
- Ancho del igualado. - Es el ancho que se produce en la zona inmediata al filo de las cuchillas al afilarlas para que generen un círculo de corte común.
- Marcas de viruta. - Son los segmentos de trocoides que se genera sobre la madera por el paso sucesivo de las cuchillas.
- Profundidad de corte. - Es el espesor de la madera que se va a remover.

#### **2.2.4.2 Lijado**

El lijado es una operación que tiene como finalidad corregir los defectos de los procesos de cepillado, como: las marcas de viruta, huellas de cuchillas y posibles imperfecciones manifestadas como grano algodonoso o velloso, grano arrancado, o grano levantado en la madera para obtener superficies suaves mediante la acción del papel lija con movimiento lineal o circular (Jonhton citado por Meneses, 2011).

Las imperfecciones en el proceso de lijado generalmente varían de acuerdo con los defectos que tenga la superficie de la madera, los mismos que no pueden ser eliminados



fácilmente, debido a esto es necesario utilizar lijas de espesor diferente (Martínez & Martínez, 1996).

#### **2.2.4.3 *Moldurado***

El moldurado es una operación que se realiza en los cantos de las piezas con el objetivo de dar un buen terminado y forma de la madera. (Flores & Muñoz, 1989).

El proceso del moldurado tiene un gran número de formas pues varía de acuerdo con la forma que tenga la herramienta de corte, pueden ser en secciones rectas, curvas o combinadas (Flores & Muñoz, 1989). El proceso de moldurado se da a marcos de puertas, ventanas, cantos o esquinas de muebles. En el maquinado de los perfiles se deberá obtener una superficie limpia y lista para someterse a la operación de lijado (Martínez & Martínez, 1996).

Tanto el moldurado como el cepillado es una operación de corte periférico, que permite dar a la madera perfiles muy variados a partir de las proyecciones de cuchillas de configuraciones variables, hay dos tipos de moldurados (Martínez & Martínez, 1996).

- Moldurado longitudinal.
- Moldurado transversal (en curva o recto).

Los dos tipos son utilizados en ebanistería, pero el primero es utilizado con más frecuencia en obras de construcción (Martínez & Martínez, 1996).

#### **2.2.4.4 *Taladrado***

El taladrado es el proceso que consiste en la realización de huecos sobre una pieza de madera, destinados a recibir tornillos, puntillas o cualquier otra pieza en forma de un cilindro (Herrera & Hidalgo citado por Meneses, 2011).

Los factores que afectan la calidad, el desgaste, la eficiencia y el gasto de energía en taladrarse son (Herrera & Hidalgo citado por Meneses, 2011):

**a) Factores relativos a la madera**

Es evidente que cuatro son los factores de la madera que afectan al taladrado: propiedades físicas, mecánicas, características anatómicas, de la anisotropía de la madera y su contenido de humedad CH.

**b) Factores relativos a máquinas y brocas**

Existen diferentes tipos de taladro, desde el berbiquí e inclusive la simple broca manual, hasta los taladros complejos, automáticos con cabezales múltiples verticales, horizontales y dispositivos angulares.

Los tipos de taladros más conocidos son: taladros portátiles, verticales de columna con un solo eje, múltiples verticales y horizontales.

**c) Condiciones de Corte**

Velocidad de corte: Una velocidad de giro excesiva para una potencia dada reduce la eficiencia, ya que limita la velocidad y su penetración; y, suelen producir quemaduras internas del hueco y desgaste acelerado de los filos.

Carga de penetración: El uso de cargas de penetración elevadas para lograr velocidades de penetración elevadas, sobre todo en el caso de especies de alta densidad y otras que presentan problemas de corte neto, fricciones y dificultades de evaluación por fibrociencia (células largas y delgadas que cumplen la función de sostén del leño o resistencia mecánica (Puertas, Guevara & Espinoza 2013), implica potencias suficientes para velocidades determinadas de giro. Por lo tanto, dada la carga de penetración, la especie y la potencia instalada, la velocidad de giro tendrá un valor (Herrera & Hidalgo citado por Meneses, 2011).

#### 2.2.4.5 Torneado

Es una operación a través de la cual se obtiene una pieza cilíndrica de una pieza cuadrada. El torneado es importante cuando se tienen que fabricar artículos de madera como pies de lámparas y patas de cama, entre otros (Moya *et al.*, citado por Meneses, 2011). También se define al moldurado como el proceso mediante el cual se imprime un movimiento rotatorio a la pieza de madera que es puesta a disposición de cuchillas, cuyo ángulo de corte permite obtener productos de diferente tipo tales como pasamanos, palas para muebles, etc., (Flores & Muñoz, 1989).

Flores & Muñoz, (1989) señalan los defectos comunes en torneado en orden de importancia:

- Grano astillado
- Grano arrancando
- Grano velloso

Los parámetros que influyen en el torneado básicamente son:

- Ángulo de corte
- Velocidad de giro
- Velocidad de penetración (depende de la madera)

La falta de cohesión transversal, en relación con la resistencia, produce astillamiento, arrancado, etc.

Por lo general, las maderas de grano fino dan buenos resultados, pero desgastan las cuchillas y el avance es lento; la madera blanda y de grano grueso presenta dificultades para un torneado satisfactorio a menos que se tenga un ángulo apropiado, buen filo, velocidad de la herramienta suficiente y una lenta velocidad de alimentación (Flores & Muñoz, 1989).

## **2.2.5 Características de *Alnus nepalensis***

### **2.2.5.1 Hábitat y distribución**

El *Alnus nepalensis* es originario de la cordillera de los Himalaya del continente asiático, se encuentra al este de Bután y Nepal, al norte de India, al sur-oeste de China, además se encuentra de Indochina. La especie es introducida en varios países de África, América Central y Asia Sudoriental (Joker, 2000).

El *Alnus nepalensis* especie pionera, crece naturalmente en zonas bajas, cerca de ríos, sitios rocosos expuestos por deslizamientos de tierra o terrenos abandonados luego de un cultivo, además tolera sombra, se adapta fácilmente a climas subtropicales con una estación seca de 4-8 meses, y en las zonas tropicales con alta precipitación (Orwa *et al.*, 2009).

Prefiere los climas húmedos y fríos con temperaturas de 13-26 grados centígrados, los árboles maduros son tolerantes a las heladas, crecen a altas altitudes hasta 3000 msnm en regiones tanto templado y subtropical, con precipitaciones anuales de 500-2500 mm (Joker, 2000).

### **2.2.5.2 Descripción botánica**

El *Alnus nepalensis* (Betuláceae), es una de 35 especies del genero *Alnus* en todo el mundo, tiene la capacidad de fija nitrógeno al suelo (hacen que el nitrógeno atmosférico se combine con oxígeno, y los compuestos formados son arrastrados por la lluvia hacia el suelo), es caducifolio o semideciduo con un tronco recto que alcanza hasta 30 m de altura y 60 cm (rara vez a 2 m) de diámetro (Little *et al.*, citado por Castillo, 2012).

La corteza es de color verde oscuro o gris, a menudo con manchas amarillentas, con lenticelas. Las hojas, son alternas, elípticas, 6 - 20 cm de largo y de 5 - 10 cm de ancho, la superficie superior de la hoja es brillante de color verde oscuro, la parte inferior es pálida. Las flores están distribuidas en amentos, en las cuales encontramos flores masculinas y femeninas por separado en las mismas o diferentes ramas, los 17 amentos masculinos son de

color amarillo, 10 - 25 cm de largo, y cuelgan en racimos al final de ramitas, los amentos femeninos son mucho más cortos, erectos y leñosos, y se producen en la ramificación lateral de las ramitas (Duke citado por Castillo, 2012).

Los frutos, que superficialmente se parecen a conos de pinos, son de color marrón oscuro, en posición vertical sobre tallos cortos, elípticos, son de consistencia leñosa, los conos vacíos pueden persistir en el árbol. Las semillas son de color marrón claro, circular y plana, con dos grandes alas membranosas, más de 2 mm de ancho, las semillas maduran de noviembre a marzo dependiendo de la localización geográfica (Duke citado por Castillo, 2012):

### **2.2.5.3 Descripción de la madera**

Madera difusa porosa con rayos agregados, anillos de crecimiento presentes pero ondulados de 1,5 a 3,3 mm de ancho, que se define por las células parenquimatosas y 2-3 capas de forma tangencial aplanados traqueidas vasculares al margen.

Poros densa y distribuido de manera uniforme, más pequeño en el crecimiento frontera anillo, 17-31 / mm<sup>2</sup>, solitarias o en múltiples radiales de 2-4; poros solitarios oval o redonda en esquema y no uniformes en tamaño, desde 52 hasta 133 × 44 a 118 micras, de pared delgada, de aproximadamente 2 m de espesor.

Elementos de vaso largo, 281-1006 m; placas de perforación escalariformes exclusivamente con 5-27 finas barras. Punteaduras intervasculares alternas y minutos, de forma compacta dispuesta redonda o ligeramente horizontal larga elíptica a grandes rasgos, 4.10 m de diámetro, con aberturas de ranura. Tíldes y engrosamientos helicoidales no observaron.

Elementos traqueales no perforados de traqueidas vasculares y fibras-traqueidas. Traqueidas vasculares paratraqueales y marginales en los anillos de crecimiento, poligonales o rectangulares en sección transversal, de 15-44 micras de diámetro, de pared gruesa, aproximadamente 4 micras; pozos redondas y similares a las punteaduras intervasculares; engrosamientos helicoidales no observaron. Fibra-traqueidas que constituyen la masa de

tierra de la madera, cuadrada o poligonal en sección transversal, 15-33 m de diámetro; fosas bordeadas escasamente dispuestos y vueltas en contorno, a unos 4 m de diámetro, con aberturas de ranura.

Difusa del parénquima madera apotraqueal, oval en sección transversal, de 15-30 m de diámetro, de pared delgada, 1,9 m de espesor, cristales invisibles.

Rayos homogéneos, uniseriados y agregados. Radios uniseriados de células completamente procumbentes, 1-34 células (48-829 micras) de altura y 15 a 25 micras de ancho; células de los radios 25-38, 15-25 × 75 a 155 micras. Rayos de agregado 400-800 micras de ancho y más de 10 mm de altura. Pozos Rayos-vasos numerosos y densos, ovaladas o elípticas horizontalmente, 2,5-6 m de diámetro, con aberturas de hendidura horizontal como de largo (Orwa *et al.*, 2009).

#### **2.2.5.4 Usos**

Según CABI (2013), la madera de *Alnus nepalensis* es utilizada como postes, herramientas, cercas, artesanías, además se utiliza para interiores que estas no estén expuestas a condiciones edafoclimáticas, además en combinación con coníferas es utilizada para pulpa papel.

#### **2.2.5.5 Propiedades físicas**

En un estudio realizado en Hawaii registro un contenido de humedad de 103 %, con una densidad básica de 0,34 gr/cm<sup>3</sup>, la contracción radial 4%, tangencial 6,8% longitudinal 0,24% y contracción volumétrica total 9,9 % a los 26 años de la plantación (Gerhards, 1964).

Según CABI (2013), la densidad va de 0,32 a 0,37 gr/cm<sup>3</sup>. La contracción radial es 2,4 %, tangencial 6,0 %; mientras que, volumétrico 9,3 %, y la relación Tangencial / Radial de 2,5% (Meier, 2008).

## **2.2.6 Características de *Alnus acuminata***

### **2.2.6.1 Hábitat y distribución**

Distribución geográfica dentro de Ecuador: Árbol nativo de los Andes, se distribuye de 1500 a 4000 msnm. En las provincias de Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Morona Santiago, Napo, Pichincha y Tungurahua (MAE, 2014).

El *Alnus acuminata* uno de los árboles nativos del callejón interandino, en condiciones ecológicamente ópticas, pueden alcanzar 35 m de altura y un (DAP) de 70 cm aproximadamente, y el turno de corta es de 13 a 18 años (Corporacion de Manejo Forestal Sustentable [COMAFORS], 2007), prefiere suelos húmedos e inundados pero también vive en tierras con menos humedad, debe destacarse que es una planta pionera en áreas desbastadas y en sitios de derrumbes, crece en suelos de origen volcánico, así como en suelos rocosos (Flores & Muñoz, 1989).

### **2.2.6.2 Descripción de la madera**

La albura es de color castaño-rosado y no se diferencia del duramen. El olor y sabor no son distintivos. El vetado presenta arcos superpuestos con líneas más oscuras que el resto de la madera, producida por bandas más densas y oscuras. El grano es recto a ligeramente ondulado y la textura de una a mediana (MAE, 2014).

### **2.2.6.3 Propiedades físicas**

Según Flores & Muñoz (1989), contenido de humedad es de 113,8%, con una densidad básica de 0,374 g/cm<sup>3</sup>, la contracción en el corte tangencial es 6,98%, corte radial 3,92% y en el corte longitudinal 0,244%; mientras que, la contracción volumétrica total es de 10,66%. La relación tangencial/ radial con un promedio de 1,82%.

El contenido de humedad es 110,38%, la densidad básica es de 0,37 g/cm<sup>3</sup>, la contracción en el corte tangencial 4,62%, radial 2,48% y longitudinal 0,13%, mientras que la contracción volumétrica total es 10,47%, y la relación tangencial / radial 1,73% (MAE, 2014).

#### 2.2.6.4 Usos:

La madera se usa en la construcción como postes, vigas, tijeras, soleras, encofrados; en la elaboración de muebles, artesanías, instrumentos musicales, sillas de montar, cucharas, bateas, arados, yugos, timones, cabos; se emplea también como combustible y para fabricar carbón. Como medicina se utiliza en el tratamiento de afecciones de la piel, garganta, reumatismo, traumatismos y fiebre. En sistemas agroforestales, preparación de abonos, su raíz fija nitrógeno (MAE, 2014).

#### 2.2.7 Sistema de clasificación de madera aserrada

Las maderas mayormente aprovechadas para madera aserrada, sobre la base de la densidad básica, han sido agrupadas en cuatro clases de uso, las que se describen en las siguientes tablas (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] 2011):

**Tabla 2.** Clasificación de densidades de maderas´

<b>Clases</b>	<b>Densidad ( g/cm<sup>3</sup>)</b>
Tipo A	> 0,71
Tipo B	> 0,55 y < 0,70
Tipo C	>0,40 y < 0,54
Tipo D	< 0,40

**Elaborado por:** Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

**Fuente:** INEN, (2011)



### 2.2.7.1 Maderas de densidad tipo “D”

Las maderas de densidad tipo “D”, son las especies cuya densidad básica es menor o igual que  $0,40 \text{ g/cm}^3$ , son maderas muy livianas, o blandas. Los usos más comunes son: cajonería, aeromodelismo, aislantes térmico acústicos, diafragmas y en general en encofrados (INEN, 2011).

**Tabla 3.** Características de especies de densidades tipo “D” (maderas blandas)

<b>Nombre vulgar</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Familia</b>
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	BOMBACACEAE
Chillalde	<i>Trichospermum galleottii</i>	TILIACEAE
Mata Palo	<i>Ficus sp</i>	MORACEAE
Peine de Mono	<i>Apeiba aspera Aubl.</i>	TILIACEAE
Sapan	<i>Trema spp.</i>	ULMACEAE
Tachuelo	<i>Zanthoxylum sp</i>	RUTACEAE

**Elaborado por:** Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

**Fuente:** INEN (2011)

### 2.2.8 Investigaciones a fines

En los Estados Unidos se realizó una investigación propiedades de maquinado o trabajabilidad de algunas para usos madera como muebles y carpintería (Peters & Lutz, 1966).

**Tabla 4.** Densidad y ensayos de trabajabilidad de maderas tipo “D” (maderas blandas)

Especie	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Cepillado	Moldurado	Torneado	Taladrado	Escopleado
	Básica	Libre de defectos	Buena a excelente	Buena	Buena a excelente	Buena
<i>Alnus nepalensis</i>	0,35	58	54	86	98	27
<i>Molucca albizzia</i>	0,33	56	91	69	100	89
<i>Salix</i> sp.	0,34	52	5	58	71	24
<i>Tilia americana</i>	0,35	64	10	68	76	51
<i>Alnus rubra</i>	0,37	61	20	88	64	52
<i>Populus</i> spp.	0,38	21	3	70	70	52
<i>Liriodendron tulipifera</i>	0,42	70	13	81	87	63

**Elaborado por:** Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

**Fuente:** Peters & Lutz, (1966)

Según Peters & Lutz, (1966), la madera fácil de aserrar, de regular a buen comportamiento al cepillado, moldurado y lijado, pero moderadamente difícil al torneado. Retiene clavos y tornillos, solamente en la parte firme de la madera.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN DEL SITIO

La investigación tuvo dos fases: campo y laboratorio.

##### 3.1.1 Fase de campo

El sitio se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquia Plaza Gutiérrez, sector Las Peñas las Blancas, con una altitud que oscila entre 1700 y 2700 msnm, con una precipitación media anual de 1500 y 2000 mm, y una temperatura de 12 y 15 °C (Plan de Ordenamiento Territorial de Plaza Gutiérrez [PDOTPG], 2012), el lugar de estudio pertenece al *bosque siempre verde montano alto de la cordillera occidental de los Andes* (MAE, 2013) (Ver figura 1).

##### 3.1.2 Fase de laboratorio

En el Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca de la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, se realizaron las propiedades físicas de la madera, y en la Central Maderera todos los ensayos de trabajabilidad.

Las muestras para las propiedades químicas se enviaron al Laboratorio Análisis Físicos, Químicos, y Microbiológicos de la FICAYA para su análisis respectivo.

## **3.2 MATERIALES E INSUMOS**

### **3.2.1 Materiales**

- Formulario para toma de datos

### **3.2.2 Insumos**

- Material para embalaje

### **3.2.3 Equipos e instrumentos**

- Motosierra
- Estufa
- Calibrador
- Balanza
- Cepillo
- Moldurera
- Taladro
- Lijadora
- Canteadora
- Despuntadora
- Sierra circular
- Torno
- Formones

### **3.2.4 Material vegetativo**

- Probetas de madera

### 3.3 METODOLOGÍA

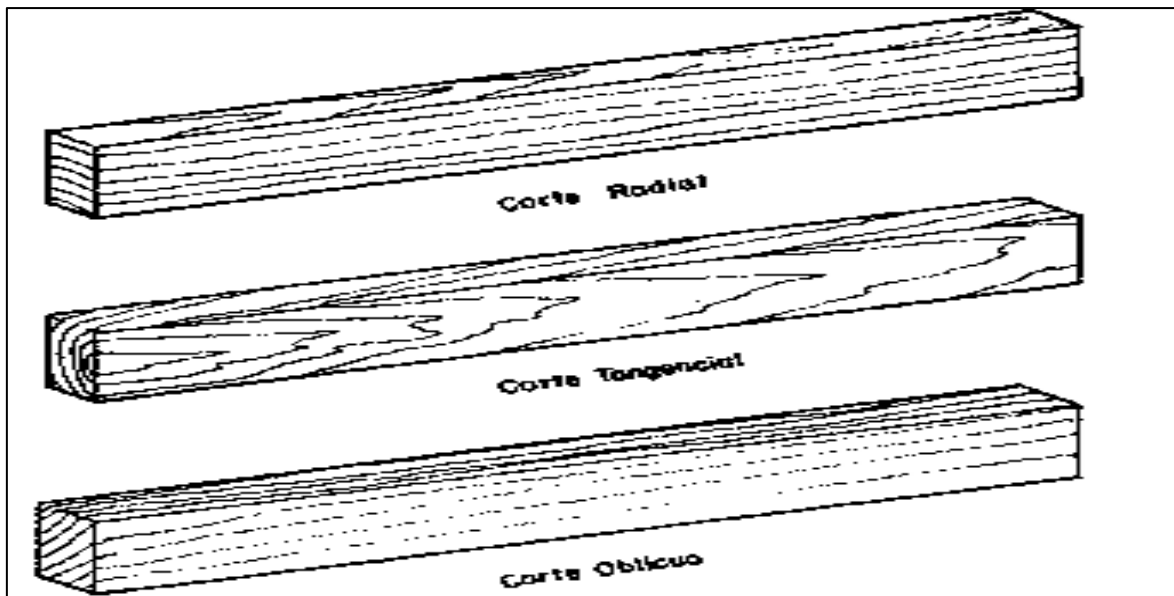
#### 3.3.1 Sitio y obtención de material

##### a) Selección de árboles

Se seleccionaron siete árboles, con las mejores características fenotípicas (sanos, tronco recto y sin deformaciones).

##### b) Tumba y extracción de bloques

Con una motosierra se tumbaron los árboles seleccionados, se extrajo trozas de 1,60 m de largo de la base de los árboles, luego de cada troza se obtuvo tres bloques de 160 x 20 x 20 cm en sentido radial, tangencial y oblicuo, hasta obtener los 21 bloques, se codificaron según el número de árbol, troza y su orientación (*Ver figura 1*).



*Figura 1.* Tipo de corte en la troza para la obtención de probetas

Fuente: NEC (2014)

### c) Embalaje y transporte

Los bloques de madera fueron embalados y llevados a hombro hacia patio de carga, posteriormente se trasladó en acémilas a una distancia de 2 km en un camino pedregoso con un tiempo de 30 minutos, hasta llegar a la vía de segundo orden para su respectivo transporte.

Luego se transportó en un vehículo hasta la Central Maderera y Laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte el mismo día del corte de los bloques, para evitar la pérdida de humedad, y realizar los ensayos de las propiedades físicas.

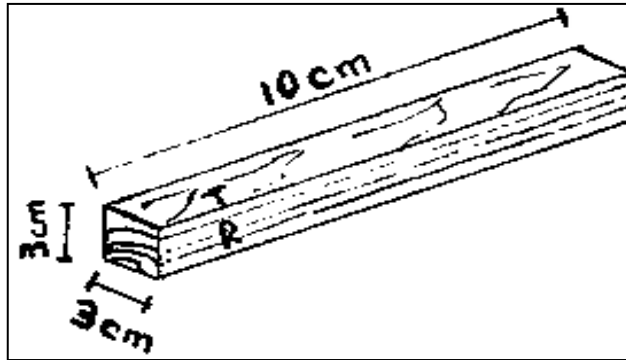
### 3.3.2 Obtención del material experimental

En la central maderera, de acuerdo a la Normas COPANT, ASTM Y AOAC 923,03. El material fue codificado y etiquetado según número de árbol y su orientación.

### 3.3.3 Determinación de las propiedades físicas

Para el ensayo de las propiedades físicas según las normas COPANT procedió a obtener las probetas de  $10 \times 3 \times 3$  cm, de siete árboles en sentido radial, tangencial y oblicuo de la base y parte media del árbol con un total de 98 probetas.

COPANT 458	Selección y colección de muestras
COPANT 459	Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos.
COPANT 460	Métodos de determinación de contenido de humedad (probetas de $10 \times 3 \times 3$ cm).
COPANT 461	Método de determinación de densidad (probetas de $10 \times 3 \times 3$ cm)
COPANT 462	Método de determinación de contracción (Probetas de $10 \times 3 \times 3$ cm) (Figura 3).



**Figura 2.** Probetas para determinar las propiedades físicas  
**Fuente:** Normas COPANT.

### 3.3.3.1 *Contenido de humedad*

Esta propiedad se determinó según los estándares de las Normas COPANT 460. Se utilizaron siete probetas libres de defectos, en sección trasversal, bien orientadas de tal forma que se distinguan dos caras radiales y dos caras tangenciales (*Ver Figura 2*).

#### ✓ **Procedimiento**

Las probetas fueron dimensionadas etiquetadas y pesadas en una balanza electrónica, en condición verde (peso húmedo), luego se dejó 12 días en estado ambiente, hasta que todas la probetas no varíen en su peso, se pesaron las probetas cada 24 horas hasta tener dos pesos consecutivos iguales y posteriormente se colocaron en una estufa eléctrica provista de termo regulador a una temperatura inicial de 60 °C durante 72 horas y se tomaron pesos parciales cada 12 horas hasta tener dos pesos consecutivos iguales, al final se procedió a retirar las probetas.

Para la estimación del contenido de humedad se empleó la siguiente fórmula:

$$CH\% = \frac{PV - PSH}{PSH} \times 100$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

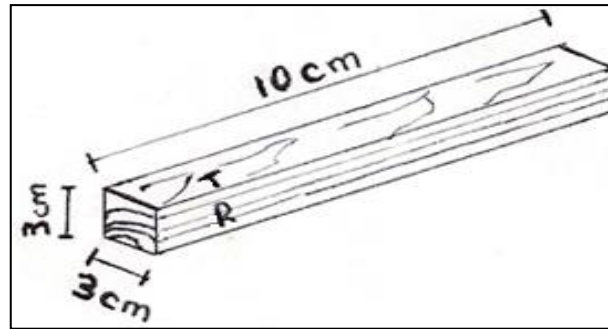
CH = Contenido de humedad expresada en porcentaje (%).

PV = Peso de la probeta en estado verde expresado en gramos (g).

PSH = Peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g).

### 3.3.3.2 Densidad

Esta propiedad se determinó según los estándares de la norma COPANT 461, Para determinar esta propiedad se utilizó siete probetas con las siguientes dimensiones: 10 cm de longitud y de 3 cm x 3 cm de sección transversal, orientadas de tal forma que se distingan dos caras radiales y dos caras tangenciales (Ver figura 3).



**Figura 3.** Probetas para determinar las propiedades físicas  
**Fuente:** Normas COPANT.

#### ✓ Procedimiento

Para determinar la densidad se tomó en cuenta las tres condiciones: madera en condición (verde, seca al aire, seca al horno) y se analizó la densidad básica.

#### i. Madera en condición verde

Para determinar la densidad en estas condiciones, las probetas fueron almacenadas en plástico, se pesaron en una balanza electrónica obteniendo el peso verde (PV). En las mismas probetas se realizó la medición con el calibrador o pie de Rey en las 6 caras, con el fin de



determinar el volumen verde, posterior se realizó los cálculos de la densidad en esta condición.

$$DV = \frac{PV}{VV} \text{ g/cm}^3$$

**Fuente:** Norma COPANT 461

Donde:

DV = Densidad de la probeta en condición verde expresada en gramos / cm<sup>3</sup>

PV = Peso de la probeta en estado verde expresado en gramos (g).

VV = Volumen de la probeta en estado verde expresado en cm<sup>3</sup>.

## ii. Madera en estado seco al aire

Las probetas se dejaron al ambiente durante 12 días, hasta tener dos pesos consecutivos iguales luego fueron colocadas en un cuarto climatizado a una temperatura de 20 ° C a una humedad relativa del 65 %. Se registraron valores periódicos hasta obtener un peso constante (P.S.A) y obtener el peso seco al aire.

$$DSA = \frac{PSA}{VSA} \text{ g/cm}^3$$

**Fuente:** Norma COPANT 461

Donde:

DSA = Densidad de la probeta en condición seca al aire expresada en g / cm<sup>3</sup>

PSA = Es el peso de la probeta en estado seco al aire expresado en gramos

VSA = Volumen de la probeta en estado seco al aire expresado en g / cm<sup>3</sup>

## iii. Madera en estado seco al horno (anhidra)

- Con las probetas en estado seco al horno se tomaron las medidas tangenciales radiales y longitudinales para obtener el volumen aplicando la fórmula de la densidad

- Para los cálculos de densidad en los tres estados de las probetas (verde, seco al aire y seco al horno) se realizó mediante las siguientes fórmulas:

$$DA = \frac{PSH}{VSH} \text{ g/cm}^3$$

**Fuente:** Norma COPANT 461

Donde:

DA = Densidad de la probeta en estado anhidro expresada en gr/ cm<sup>3</sup>

PSH = Es el peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g)

VSH = Volumen de la probeta en estado seco al horno expresado en cm<sup>3</sup> (g).

#### **iv. Densidad básica**

- Se tomó el peso en estado seco al horno y se lo relacionó con el volumen en estado verde.

$$DB = \frac{PSH}{VV} \text{ g/cm}^3$$

**Fuente:** Norma COPANT 461

Donde:

DB = Densidad básica expresada gr/ cm<sup>3</sup>

PSH = Es el peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g).

VV = Volumen de la probeta en estado seco verde expresado en cm<sup>3</sup>

### **3.3.3.3 Contracción**

#### **a) Dimensión de probeta**

Las probetas seleccionadas para este ensayo fueron de 10 x 3 x 3 cm orientados, de tal manera que existan dos caras tangenciales y dos caras radiales.

✓ **Procedimiento**

- Se señalaron las probetas en las seis caras con la finalidad de indicar las posiciones donde debe realizarse la medición
- Se procedió a medir con el calibrador en las tres dimensiones de las probetas

✓ **La dimensión longitudinal**, se hizo tomando dos medidas perpendiculares en las caras radial y tangencial, desde la base inferior hacia la base superior de las probetas.

$$CLN(\%) = \frac{DLV - DLSA}{DLV} \times 100$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

CLN = Contracción longitudinal normal de la probeta en condición verde al seco al aire, expresada en porcentaje (%).

DLV = Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde expresada en milímetros (mm)

DLSA = Dimensión longitudinal de la probeta en condición seco al aire, expresado en milímetros (mm).

$$CLT(\%) = \frac{DLV - DLSH}{DLV} \times 100$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

CLT = Contracción longitudinal total de la probeta del estado verde al estado seco al horno, expresada en porcentaje (%).

DLV = Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde expresada, en milímetros (mm).

DLSH = Dimensión longitudinal de la probeta en estado seco al horno, expresado en milímetros (mm).

a) **Dimensión radial**, esta medición se realizaron entre la separación existente entre las dos caras tangenciales a tres cm de las bases hacia el centro de los dos extremos de la probeta.

$$CRN(\%) = \frac{DRV - DRSA}{DRV} \times 100$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

CRN = Contracción en sentido radial normal de la probeta en condición verde al estado seco al aire expresada en porcentaje (%).

DRV = Dimensión radial en estado verde de la probeta expresada en milímetros (mm).

DRSA= Dimensión radial de la probeta en condición seco al aire, expresado en milímetros (mm).

$$CRT(\%) = \frac{DRV - DRSH}{DRV} \times 100$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

CRT = Contracción radial total de la probeta del estado verde al estado seco al horno, expresada en porcentaje (%).

DRV = Dimensión radial de la probeta en estado verde expresada, en milímetros (mm).

DRSH = Dimensión radial de la probeta en estado seco al horno, expresado en milímetros (mm)

b) **Dimensión tangencial**, con el mismo procedimiento de la dimensión radial; se midió entre las dos caras radiales.

$$CTN(\%) = \frac{DTV - DTSA}{DTV} \times 100$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

CTN = Contracción en el sentido tangencial normal de la probeta en condición verde al estado seco al aire, expresada en porcentaje (%).

DTV = Dimensión tangencial de la probeta en estado verde expresada en milímetros (mm).

DTSA = Dimensión tangencial de la probeta en condición seco al aire, expresado en milímetros (mm).

$$CTT(\%) = \frac{DTV - DTSH}{DTV} \times 100$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

CTT = Contracción tangencial total de la probeta del estado verde al estado seco al horno, expresada en porcentaje (%).

DTV = Dimensión tangencial de la probeta en estado verde expresada, en milímetros (mm).

DTSH = Dimensión tangencial de la probeta en estado seco al horno, expresado en milímetros (mm).

c) **Contracción volumétrica total**, es la relación de la contracción en las caras radiales y tangenciales de las probetas

$$CVT = CRT + CTT - \frac{CRT \times CTT}{100}$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

CVT = Contracción volumétrica total de la probeta del estado verde al estado seco al horno, expresada en porcentaje (%).

CRT = Contracción radial total de la probeta, expresada en porcentaje (%).

CTT = Contracción tangencial total de la probeta, expresada en porcentaje (%).

✓ **Relación tangencial radial**, es la relación entre la contracción tangencial y la radial con el fin de analizar la estabilidad dimensional de las probetas.

$$T/R = \frac{CTT}{CRT}$$

**Fuente:** Norma COPANT 460

Donde:

T/R = Relación tangencial radial

CTT = Contracción tangencial total de la probeta, expresada en porcentaje (%).

CRT = Contracción radial total de la probeta, expresada en porcentaje (%).

### 3.3.4 Determinación de las propiedades químicas

Para las propiedades químicas se utilizaron las normas AOAC 923,03

#### ✓ Procedimiento

Del bloque de madera se cortó pequeños pedazos de astillas de la albura y el duramen, se introdujo en una funda de plástico cada muestra por separado, seguidamente se llevó al laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos de la FICAYA para el análisis respectivo.

### 3.3.5 Determinación de las propiedades de trabajabilidad

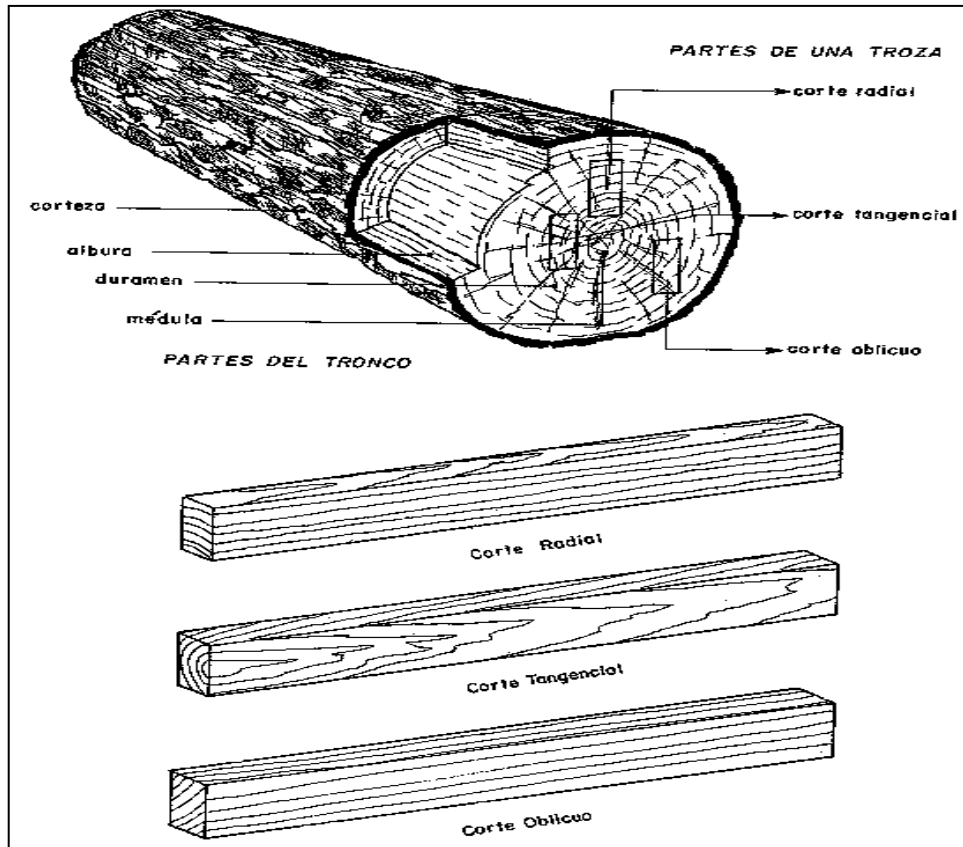
Para el ensayo de trabajabilidad se utilizaron las siguientes normas ASTM D 1666-87 (1999) que se detallan a continuación:

ASTM 1666-87	Ensayo de cepillado (probetas de 100 x10 x 6 cm)
ASTM 1666-87	Ensayo de lijado (probetas de 100 x10 x 6 cm)
ASTM 1666-87	Ensayo de Moldurado (probetas de 100 x 9 x 6 cm)
ASTM 1666-87	Ensayo de Taladrado (probetas de 100 x 9 x 6 cm)
ASTM 1666-87	Ensayo de Torneado (probetas de 15 x 5 x 5 cm)

Para la evaluación de las probetas se realizó una inspección visual, donde se identificó fibras y granos. La magnitud de defectos en las probetas se calificó con la siguiente escala:

- a) Grado 1: Excelente, (E) la probeta debe estar totalmente libre de defectos
- b) Grado 2: Bueno, (B) acepta fibra levantada de 10 a 20%.
- c) Grado 3: Regular, (R) acepta fibra levantada hasta en un 30% y presencia de grano desgarrado.
- d) Grado 4: Malo, (M) acepta fibra levantada hasta en un 40%, y en grano desgarrado se acepta hasta un 30%.
- e) Grado 5: Muy Malo, (Mm) la fibra levantada se encuentra sobre un 40% y grano desgarrado supera el 30%.

Las probetas utilizadas para los ensayos fueron debidamente orientadas según su orientación en el tronco. Todos los ensayos se realizaron en madera seca al aire con un contenido de humedad aproximado del (12 % + - 2 %) (*Ver figura 4*).



**Figura 4.** Tipos de corte según la orientación en el tronco

Fuente: (NEC, 2014)

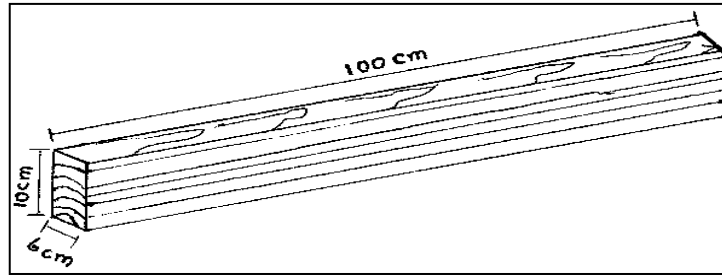
### 3.3.5.1 Cepillado

Para este ensayo se seleccionaron cinco árboles. El número de probetas empleadas fueron las siguientes: tres probetas en corte tangencial, tres probetas en corte radial y tres probetas en corte oblicuo (total 45 probetas).

#### a) Dimensiones de las Probetas

Las dimensiones de las probetas utilizadas para este ensayo fueron las siguientes: 100 cm de longitud, 10 cm de ancho y de 6 cm de espesor (*Ver figura 5*).





**Figura 5.** Dimensión de las probetas para ensayos de cepillado

**Fuente:** Normas COPANT.

**b) Procedimiento**

Para el reconocimiento las probetas se codificaron indicando, número de árbol, orden y orientación de la probeta luego se marcó con una flecha en el extremo de cada probeta para indicar la dirección de alimentación a favor y en contra del grano, se realizaron dos pasadas a favor y dos en contra del grano.

En este ensayo se utilizó 3 cuchillas con un ángulo de corte de 45 grados (ángulo normal de las cuchillas), nivelado y colocado en la porta cuchillas en forma usual, con una velocidad de alimentación de 8,60 m / minuto

**c) Cálculo**

Se determinó la velocidad de alimentación mediante un cronómetro y comparando, las velocidades marcadas en el alimentador con las velocidades obtenidas (*Ver figura 6*).

$$\begin{array}{l} 6,97 \text{ seg.} \text{-----} 1\text{m} \\ 60 \text{ seg.} \text{-----} X = \text{Val.} \end{array}$$

$\text{Val.} = \frac{60 \times 1}{6,97} = 8,60 \text{ m/min.}$
--

**Fuente:** Normas ASTM 1666-87

El ancho de marca se determinó con la máquina ajustada a una velocidad de alimentación de 8,60 m/min.

$$\text{Ancho de marca (A.D.M)} = \frac{\text{Val.}}{N^{\circ} \times \text{R.P.M}}$$

**Fuente:** Normas ASTM 1666-87

Donde:

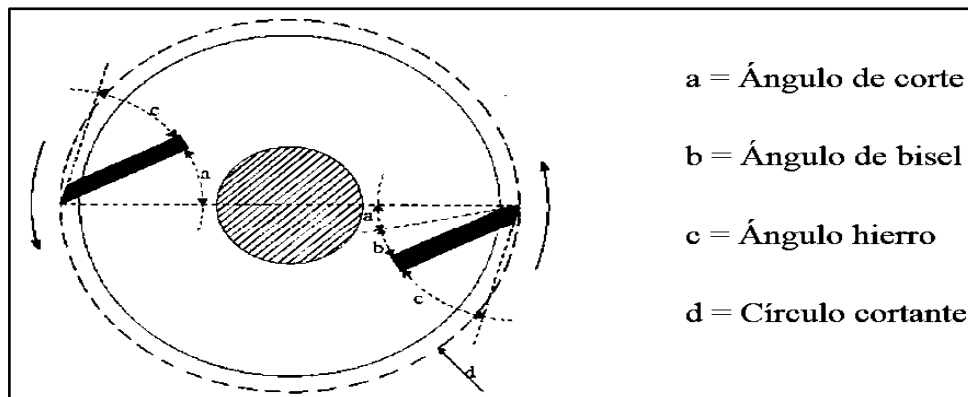
Val. = 8,60 m/min (velocidad de alimentación)

N° = 3 (número de Cuchillas en la porta cuchillas)

R.P.M = 3520 (velocidad de giro de la porta cuchillas)

$$\text{A.D.M} = \frac{8,60}{3 \times 3520} = 0000,81 \text{ mm}$$

**Fuente:** Normas ASTM 1666-87



**Figura 6.** Cuchillas de cepilladora

**Fuente:** (Meneses, 2011)

### 3.3.5.2 Lijado

Para el ensayo se utilizó las mismas probetas que el cepillado (45 probetas en total).

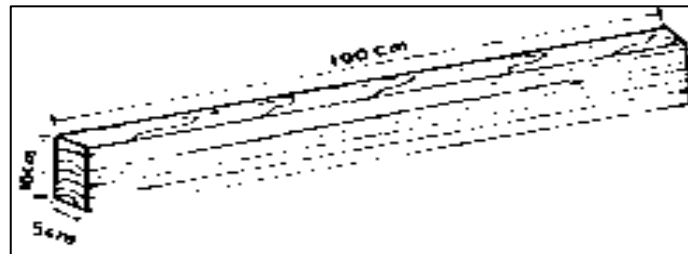
El ensayo de lijado se realizó en dos fases:

El primer proceso de lijado (remoción con lija N° / 60) se lo realizó con la finalidad de obtener una superficie lisa a partir de una superficie brusca, consecuencia del maquinado previo cepillado.

El segundo proceso se realizó la remoción con la lija N° / 100, el propósito de este ensayo fue determinar la eficiencia, calidad superficial y tipos de defectos ocasionados con los dos tipos de lijas.

#### a) Dimensiones de probetas

Se utilizaron probetas con las siguientes dimensiones: 100 x 10 x 5 cm (*Ver figura 7*).



**Figura 7.** Dimensión de probeta destinada a ensayos de lijado

**Fuente:** Normas COPANT.

#### b) Procedimiento

Para iniciar el ensayo del lijado con la ayuda de un calibrador se midió en la parte media de la probeta para al final del ensayo saber el desgaste de la misma, se realizó dos o más pasadas según el estado de la probeta a favor y en contra del grano, mediante un termómetro se determinó la temperatura de la lija para saber el grado de fricción, además se midió la velocidad de desgaste de la lija y velocidad de ensuciamiento esto relacionado con la eliminación fácil o difícil de las partículas de madera, por último se midió nuevamente la probeta y se realizó el respectivo cálculo.

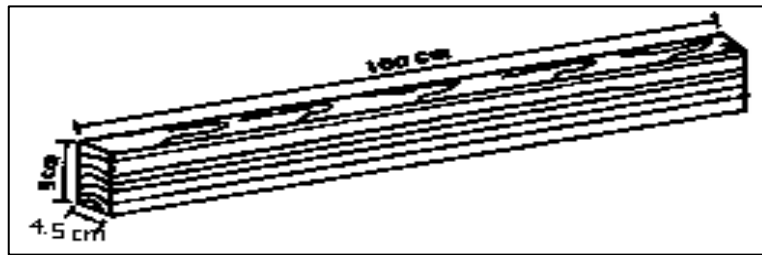
#### 3.3.5.3 Moldurado

Para este ensayo se utilizó las mismas probetas del lijado, tres en corte radial, tres en corte tangencial y tres en corte oblicuo, nueve probetas por árbol (45 probetas en total). Estas

probetas fueron previamente canteadas, cepilladas y lijadas, para obtener una superficie uniforme.

#### a) Dimensiones de Probetas

En este ensayo se utilizó probetas de 100 cm de longitud, 9 cm de ancho y 4,5 cm de espesor (Ver figura 8).



*Figura 8.* Dimensión de probeta destinada a ensayos de moldurado  
Fuente: Normas COPANT.

#### b) Procedimiento

Para el ensayo de moldurado se utilizó con una fresadora manual, con dos tipos de fresas, una fresa para el filo con una y otra en fresa para la parte intermedia de la probeta. Se realizó pasadas en los cantos, y en la parte media de la probeta, para obtener resultados a favor y en contra del grano, se tomó el tiempo de alimentación de la fresadora, se calificó de acuerdo al grado de defecto de la probeta a favor y en contra del grano.

### 3.3.5.4 Taladrado

#### a) Dimensiones de la probeta

Se utilizó nueve probetas por árbol, debidamente orientadas: tres tangenciales, tres oblicuas y tres radiales, de 100 cm de longitud, 9 cm de ancho y 4,5 cm de espesor.

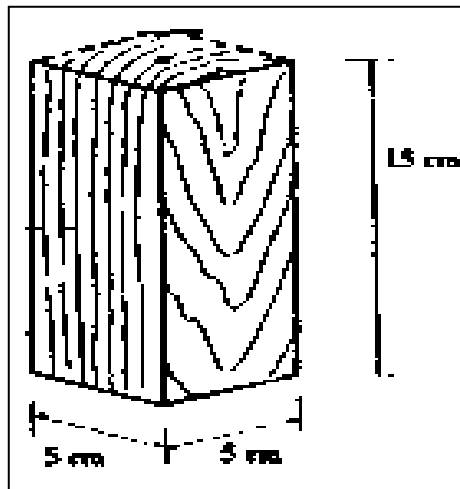
## b) Procedimiento

Con la ayuda de una plantilla se ubicó los puntos a taladrarse, se realizó dos ensayos por probeta, uno a cada extremo, a una distancia de 10 cm de los extremos y a 4.5 cm de los cantos, se aplicó una carga manualmente para realizar la penetración y se cronometró el tiempo de penetración de la broca. La calidad de grados de defectos se realizó de acuerdo a la Norma ASTM D-1666-87.

### 3.3.5.5 Torneado

#### a) Dimensiones de la probeta

Se utilizó 6 probetas por árbol, en las caras radiales, tangenciales y oblicuas con las siguientes dimensiones de 15 x 5 x 5 cm (30 probetas en total), (Ver figura 9).



*Figura 9.* Probeta para ensayos de torneado

Fuente: Normas COPANT.

## b) Procedimiento

Para realizar el ensayo se utilizó un torno manual marca INVICTA de punta móvil, motor de 2H.P, 1720 rpm, se utilizó tres clases de gubias una de 2 cm, 1 cm, 0, 5 cm de ancho

totalmente rectas, se empezó por dimensionar la probeta y colocar en la maquina torneadora, con la gubia de 2 cm se empezó dando forma a la probeta, luego con las dos gubias siguientes se dio forma a la probeta, una en forma de carrete, uva y botella, comúnmente mencionadas por los carpinteros, se tomó el tiempo aproximado que se demora en acabar de dar forma a la probeta. La calidad de grados de defectos se realizó de acuerdo a la Norma ASTM D-1666-87 tomando en cuenta: grano arrancado, grano velloso y grano levantado. El porcentaje de afectación de defectos fue realizada por medición directa en las zonas afectadas de cada probeta, auxiliándose de una lupa para identificar los tipos de defectos que se presentaran en las probetas.

#### **3.3.5.6 Tallado**

##### **c) Dimensiones de la probeta**

Se utilizó dos bloques de 120 cm de longitud, 20 cm de ancho y 18 cm de espesor.

##### **d) Procedimiento**

Las probetas fueron trasladadas al Instituto de Artes Plásticas Daniel Reyes en San Antonio de Ibarra, para ser tallada con diferentes técnicas; matriz, volumen, estilizado y relieve.

Para la evaluación se llenó una ficha de calificación de acuerdo a la Norma ASTM D-1666-87 del comportamiento de la madera ante este proceso de transformación.

Para realizar el ensayo la madera debe estar completamente seca 12% de contenido de humedad, todas las herramientas, gubias y formones totalmente filas.

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

En la tabla 5 se muestran los resultados generales de las propiedades físicas; así como también los estimadores estadísticos.

**Tabla 5.** Resumen de las propiedades físicas

Estimador	CH %	DENSIDAD	CONTRACCIÓN	
		DB gr/cm <sup>3</sup>	VOL Total (%)	T/R (%)
Media	115,39	0,31	10,91	2,63
Suma	1615,44	4,40	152,80	36,81
Desviación estándar	12,28	0,02	1,58	0,39
Error estándar	4,64	0,01	0,60	0,15
CV	10,64	7,44	14,48	14,85

#### 4.1.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad (CH) en estado seco al horno fue de 115,39%, se puede considerar alto, la desviación estándar de la media de 12, 28; demuestra que los datos están agrupados, y homogéneos según el coeficiente de variación calculado; además se afirma que la media es representativa en función del bajo valor del error estándar. Al realizar la prueba de “t” de Student entre los valores promedio por árbol, no se observaron diferencias significativas (*Ver anexo 1B*).

Según Gerhards (1964), determinó un contenido de humedad para *A. nepalensis* a los 26 años de edad de 103%; la variación posiblemente se debe a la diferencia de edades, ya que en el estudio los árboles fueron aprovechados a los 10 años, a mayor edad tienen mayor lignificación, en consecuencia poseen menor cantidad de agua.

Flores & Muñoz (1989), registraron en *A. acuminata* 113,8% de contenido de humedad valor similar registrado por (MAE 2014), de 110,38%.

El mayor contenido de *A. nepalensis* se debe a que posee radios medulares sumamente gruesos de hasta 34 células, mientras que *A. acuminata* posee dos células de espesor, por esto se presume que la especie estudiada posee mayor contenido de humedad.

#### **4.1.2 Densidad**

La densidad básica fue 0,31 gr/cm<sup>3</sup>, se encuentra en el rango de las maderas tipo “D” (maderas blandas) a 0,40 gr/cm<sup>3</sup> (INEN, 2011). La desviación estándar fue de 0,02, esto indica que los datos están agrupados y homogéneos según el coeficiente de variación calculado; además se puede afirmar que, la media es representativa en función del bajo valor del error estándar. Es preciso mencionar que, al realizar la prueba de “t” de Student entre los valores promedio por árbol, se observaron diferencias significativas (*Ver Anexo 2B, 3B, 4B y 5B*).

CABI (2013), indica que el rango de la densidad básica va de (0,32 a 0,37 gr/cm<sup>3</sup>), (Gerhards 1964), 0,34 gr/cm<sup>3</sup> y (Peters & Lutz, 1966), 0,35 gr/cm<sup>3</sup> en *A. nepalensis*. Flores & Muñoz (1989), al igual que (MAE, 2014), para *A. acuminata* un valor de 0,37 g/cm<sup>3</sup>; mientras que en el estudio registró un resultado es inferior a las citadas, debido a la juventud de los árboles, ya que la densidad depende del grado de lignificación de la madera que es directamente proporcional a la edad.

Al comparar con especies del mismo grupo “D” (maderas blandas) (INEN, 2011), *Apeiba membranaceae* posee una densidad seca al aire de 0,27 a 0,42 g/cm<sup>3</sup>, *Ochroma pyramidale*,



de 0,18 g/cm<sup>3</sup> y *Zanthoxylum riedelianum*, de 0,34 g/cm<sup>3</sup>; se evidencia que la densidad de *A. nepalensis* solo es superior a balsa, lo ratifica que es una especie de rápido crecimiento.

#### **4.1.3 Contracción volumétrica total**

La contracción volumétrica total fue de 10,91%, con una desviación estándar de 1,05% lo que indica que los datos están agrupados y homogéneos, según el coeficiente de variación calculado; se afirma que la media es representativa en función del bajo valor del error estándar. Al realizar la prueba de “t” de Student entre los valores promedio por árbol, no se observaron diferencias significativas (*Ver Anexo 6B, 7B, 8B y 9B*).

En estudios realizados según Gerhards (1964), la contracción volumétrica total fue de 9,90% para *A. nepalensis*; mientras que para *A. acuminata* (Meier, 2008), la contracción fue de 10,66%, y (MAE 2014), 10, 47%. Para *Apeiba membranaceae* la contracción varía desde 7,9 a 9,5 % y *Zanthoxylum riedelianum* de 10,11% (MAE, 2014).

En el estudio se observó un mayor contenido de humedad a los autores citados; por lo que la madera al secarse pierde dimensión y volumen, lo que justifica los valores obtenidos de contracción, ya que la pérdida de humedad es directamente proporcional a la disminución del volumen, a pesar de la densidad y la contracción se afirma que la madera tiene una buena estabilidad dimensional.

#### **4.1.4 Contracción relación T/R**

Una vez realizado el cálculo de la relación de las contracciones tangencial y radial se obtuvo una media de 2,63% con una desviación de 0,39%, ratifica que los datos están agrupados y homogéneos según el coeficiente de variación calculado; se afirma que, la media es representativa en función del bajo valor del error estándar.

Meier, (2008), destaca que en relación tangencial / radial fue de 2,50% para *A. nepalensis*; mientras que (Flores & Muñoz 1989), con 1,82% y (MAE, 2014), 1,73% para *A. acuminata*, para *Apeiba membranaceae* es de 2,2%, *Ochroma pyramidale*, de 2,56%, mientras que *Zanthoxylum riedelianum*, de 0,75% (Ver anexo 10B).

## 4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

### 4.2.1 Cenizas

Una vez realizado el análisis de cenizas de *Alnus nepalensis* se obtuvo los siguientes resultados, en albura se obtuvo un 0,64%, mientras que en duramen un 0,73% con un promedio total de cenizas de 0,68% (Ver anexo 11B).

Se analizaron nueve árboles a tres diferentes alturas, siendo altura dap (diámetro a la altura del pecho 1.30 m.) o basal, altura comercial media y alta o apical. Para el (*Pinus maximinoi*) H. E. Moore se obtuvieron los resultados de cenizas entre 0.1 y 0.7% (Fonseca, 2006).

De los ensayos de (*Gmelina arborea Roxb.*) se obtuvieron los siguientes resultados cenizas entre 0.4 y 1.2% (Paz, 2006).

La madera de (*Ochroma pyramidale Cav*) de ceniza inusualmente alto 2,12 %, parece ser que el sílice contribuye poco al contenido de ceniza, ya que la madera no embota con rapidez los filos de las herramientas cortantes (Francis, 1991).

Al comparar los resultados de *A. nepalensis* con especies similar densidad, se observó que no existe mayores diferencias en el contenido de cenizas.

### 4.3 PROPIEDADES DE TRABAJABILIDAD

Se procedió a calificar los resultados obtenidos de cada ensayo, en base a la Norma ASTM D1666 – 87 (2004), en los que se indica rangos de calificación que van de 1 a 5 grados; es decir de muy malo a excelente; la calificación de los ensayos se observa en la tabla 6.

**Tabla 6.** Calificación de *Alnus nepalensis*

Dirección	Ensayo	Grano Arrancado	Grano Levantado	Grano Velloso	Total
<b>A favor</b>	<b>Cepillado</b>	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Bueno a regular	Bueno
	<b>Lijado 60</b>	Excelente a bueno	Bueno a regular	Bueno a regular	Bueno
	<b>Lijado 100</b>	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente	Excelente
	<b>Moldurado</b>	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno
	<b>Taladrado</b>	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
<b>En contra</b>	<b>Cepillado</b>	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Regular a bueno	Bueno
	<b>Lijado 60</b>	Bueno a regular	Bueno a regular	Regular a bueno	Bueno
	<b>Lijado 100</b>	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Bueno a regular	Excelente a bueno
	<b>Moldurado</b>	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno	Excelente a bueno
	<b>Taladrado</b>	Excelente a bueno	Bueno a regular	Excelente a bueno	Bueno
<b>No aplica</b>	<b>Torneado</b>	Bueno a regular	Bueno a regular	Excelente a bueno	Bueno a regular

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

#### 4.3.1 Cepillado

La velocidad de alimentación de la máquina cepilladora fue de 8,60 m/min para los cortes tangencial, radial y oblicuo a favor y en contra del grano.

Con respecto al defecto a favor del grano, en el cepillado se evidencia en la cara radial, tangencial y oblicua, el mayor defecto fue registrado en el grano velloso con grado 3; además, es necesario indicar que los menores valores fueron en el grano arrancado con grado 1; en lo referente al cepillado en contra del grano, se evidencia resultados similares a los observados en el ensayo a favor del grano. Es preciso indicar que el comportamiento de la especie en el ensayo, indica que presenta un excelente comportamiento en todas sus caras en las direcciones evaluadas (*Ver anexo 12B y 13B*).

#### **4.3.2 Lijado**

En el ensayo con lija número 60, a favor del grano, en grano arrancado y levantado se encuentra en el grado 2, mientras que en el grano velloso con grado 3; en cambio, en contra del grano, se evidencia resultados similares a los determinados en el ensayo a favor del grano, por lo que se indica que no existen diferencias en cuanto a su trabajabilidad (*Ver anexo 14B y 15B*).

En lo que respecta al lijado con lija número 100 a favor del grano, en grano arrancado, levantado y velloso, se encuentra en grado 1, esto indica que presenta un excelente comportamiento; mientras que, para el ensayo con lija número 100, en contra del grano, tanto en cara radial, tangencial y oblicua, se evidencia resultados similares a los registrados en el ensayo a favor del grano (*Ver anexo 16B y 17B*).

#### **4.3.3 Moldurado**

Con respecto al defecto a favor del grano, se observa mayor incidencia en los granos arrancado y velloso con grado 2, cabe mencionar que también se presentó grano arrancado en grado 1; en base a estos resultados se puede afirmar que el moldurado va de excelente a bueno; en cambio, los defectos en contra del grano se observa defectos similares a los determinados en el ensayo a favor del grano (*Ver anexo 18B y 19B*).

#### **4.3.4 Taladrado**

Para el ensayo del taladrado en el orificio de entrada no se registraron defectos, por lo que se afirma que la madera no presenta complicación en cuanto a este maquinado (Ver anexo 20B); mientras que en el orificio de salida se registraron defectos, tanto en grano arrancado, y levantado con grado 3, mientras que en grano velloso presenta grado 2 de afectación; cabe recalcar que en el orificio de salida, todas las maderas tienden a presentar defectos por la acción de la apertura del orificio (*Ver anexo 21B*).

#### **4.3.5 Torneado**

Con respecto al defecto en el torneado se evidencia mayores defectos en grano arrancado y levantado con grado 3, mientras que en grano velloso con grado 2; es preciso mencionar que uno de los factores que inciden que las herramientas no fueron las indicadas, pero al realizar el lijado se elimina fácilmente los defectos (*Ver anexo 22B*).

#### **4.3.6 Tallado**

Para el ensayo los expertos de Instituto de Artes Plásticas Daniel Reyes en San Antonio de Ibarra, califican a la madera de acuerdo al tipo de tallado y el grado de afectación en grano arrancado, levantado, y velloso.

En estilo matriz y volumen en se encuentra en grado 2, mientras que estilizado y relieve en grado 1, el rango va de bueno a excelente, los artesanos recomiendan que un 100% la madera se puede utilizar para muebles lineales, un 80% muebles clásicos y un 60% para artesanías en general (*Ver Anexo 23B*).

#### **4.3.7 Resumen de defectos**

A nivel general los defectos a favor del grano, se determinó que la trabajabilidad de la madera de *Alnus nepalensis*, presenta calificaciones de excelente a bueno, ya que presenta defectos hasta grado 3 en todos los tipos de grano (*Ver Anexo 24B*).

Mientras que los defectos en contra del grano, presenta calificaciones bueno con defectos de hasta grado 3 en todos los tipos de granos; si bien el comportamiento es relativamente inferior a los ensayos a favor del grano, se puede afirmar que la madera es de fácil trabajabilidad; es preciso indicar que la madera presenta un mejor comportamiento en todos los ensayos cuando la madera se encuentra en estado seco (*Ver Anexo 25B*).

En los Estados Unidos se realizó una investigación propiedades de maquinado o trabajabilidad de algunas para usos madera como muebles y carpintería (Peters y Lutz, 1966).

Los resultados registrados en la investigación son similares a los citados ya que en todos los ensayos presentan calificaciones de bueno a excelente. Al comparar con especies del mismo grupo de densidades se puede evidenciar que no existen mayores diferencias aceptación de *Populus sp*, ya que presenta de 21 % en el cepillado y 3% en el moldurado, y *Salix* 5 % en moldurado, esto quiere decir que las especies mencionadas no presentan buenas características para los ensayos anteriormente mencionados (*Ver anexo 26B*).

#### **4.3.8 Usos probables**

En función de los resultados de las propiedades físicas, trabajabilidad y el ensayo de tallado, se determina que la madera se puede utilizar en: contrachapado, desenrollo, tallados (relieve, volumen, estilizado matriz), artesanías en general, cajonería, muebles lineales, muebles clásicos, postes para cercas, corales para animales menores.

Se observó que actualmente la madera se está utilizando para realizar artesanías en general, que se encuentran en los mercados locales como plaza de los ponchos en Otavalo.

# CAPITULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en la siguiente investigación se concluye que:

- El contenido de humedad de *Alnus nepalensis* fue de 115,39% con una densidad básica de 0,31 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que la contracción volumétrica total fue 10,91%, y la relación tangencial/ radial 2,63%.
- En la madera de *Alnus nepalensis* se registró el contenido de cenizas para la albura 0,64%, mientras que para el duramen 0,73%, con un promedio total de 0,68%.
- En lo que respecta a la trabajabilidad, la madera de *Alnus nepalensis* presentó un comportamiento de excelente en el ensayo del lijado y moldurado, en el taladrado se observó un comportamiento bueno, y en el torneado y taladrado regular.
- En función de los resultados de las propiedades físicas, trabajabilidad y el ensayo de tallado, se determina que la madera se puede utilizar en: contrachapado, desenrollo, tallados (relieve, volumen, estilizado matriz), artesanías en general, cajonería, muebles lineales, muebles clásicos, postes para cercas, corales para animales menores.

### 5.2 RECOMENDACIONES

- Para realizar todos los ensayos es necesario que la, madera se encuentre seca, para facilitar el trabajo y evitar la presencia de defectos.
- Es necesario realizar el estudio con árboles de mayor edad que los evaluados, para saber si existe alguna variación a las propiedades físicas y de trabajabilidad.

- Difundir la madera de *A. nepalensis* como materia prima para realizar tallados en San Antonio de Ibarra.
- Dar a conocer los resultados del estudio en la zona de Intag, con la finalidad de difundir las potencialidades de la especie y de esta manera logre incrementar los ingresos económicos por venta de madera.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Joker, D. (2000). *Alnus nepalensis* D. Don. *SEED LEAFLET*, 2.
- ASTM D 1666-87. (1999). *Standards, methods of testing small clear specimens of timber. ASTM D1666-87. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09. Wood American Society for Testing and Materials. . USA.*
- CABI. (2013). *The CABI Encyclopedia of Forest Trees*. USA: CAB International.
- Castillo C, N. S. (2012). *Análisis del comportamiento del aliso *Alnus nepalensis* D. Don, asociado con *Brachiaria brachiaria decumbens* staff y pasto miel *Setaria sphacelata* (schumach) staff & c. e. hubb y pasturas en monocultivo*. Ibarra.
- COMAFORS. (2007). Ficha técnica N 1 Aliso. En E. Forestal, *Fichas técnicas de especies forestales*. Quito: COMAFORS.
- COPANT. (1972-1975). *Comisión panamericana de normas técnicas para ensayos tecnológicos de las propiedades físicas, mecánicas y preservación de la madera*. Asunción Paraguay.
- Díaz M, P. P. (2005). *Determinación de los usos posibles de *Alnus acuminata* H.B.K. y *Freziera canencens* H.B.K., en base al estudio de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad*. Chile.
- Flores, S. C., & Muñoz, C. D. (1989). *Determinación de los usos posibles de *Alnus acuminata* H.B.K. y *Freziera canencens* H.B.K., en base al estudio de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad*. Ibarra.
- Fonseca, M. (2006). *Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) procedente a la finca rio frío, tactic, alta Vera Paz*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.

- Francis, J. (1991). Balsa (*Ochroma pyramidale* Cav). En *Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station*.
- Gabriela, Q. T. (2015). *Evaluación de las características anatómicas, y propiedades físicas-químicas de dos especies forestales de la Amazonía Ecuatoriana*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Gerhards. (1964). *Limited evaluation of physical and mechanical properties of Nepal Alder grown in hawaii*. U.S: Forest service reseach note FPL-036 May 1964.
- INEN. (2011). *Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de Bosques Húmedos Tropicales*. Quito: INEN.
- MAE. (2013). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: MAE.
- MAE. (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánica de 93 especies forestales*. Quito: Mae.
- Martínez, & Martínez. (1996). *Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera*. Mexico: Técnicos Académicos. Departamento de Productos Forestales y Conservación de Bosques.
- Meier, E. (2008). *Identyfing and using, hundreds of woods woldwide*.
- Meneses, T. (2011). *Identificación de usos probables de Pinus patula schlect.et cham. con base en la determinación de las propiedades físico- mecánicas y de trabajabilidad de la madera en Iltaqi- Cotacachi- Imbabura*.
- Napoleón, L. G., & Jiménez, H. (2015). *Trabajabilidad de madera Schizolobium parahyba (Vell.) S.F. Blake y diseño de un mueble prototipo con madera de pequeñas dimensiones*. Lola: Universidad Nacional de Loja.
- NEC. (2014). *Estructuras de madera*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Orwa. (2009). *Alnus nepalensis. Agroforestry Database 4.0, 5*.

- Paz F, F. J. (2006). *Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (Pinus maximinoi H. E. Moore) procedente a la finca río frío, tactic, Alta Verapaz*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
- Paz, F. J. (2008). *Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina (Gmelina arborea Roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal*. Guatemala.
- PDOTPPG. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Plaza Gutierrez*. Cotacachi: Gobierno Parroquial Plaza Gutiérrez.
- Peters. & Lutz, C. (1966). *some machining properties of two wood species grown in in hawaii molucca albizzia and nepal ander*. Forest Products Laboratory, Forest Service U.S. Department of Agriculture.
- Pozo, M. P., & Terán, P. I. (1997). *Usos posibles de tachuelo Zanthoxylum riedelianum. Engler. y chillande Trichosoerrnum galioffi Karst. En base a sus propiedades físicas, mecánicas, preservación y trabajabilidad*. Ibarra.
- Puertas, Guevara, & Espinoza. (2013). *Manual de transformación de madera*. Perú.
- SEMPLADES. (2013). *Plan nacional para el Buen Vivir*. Quito.
- Sibile, D. G. (2006). *Anatomía de la madera*. Obtenido de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CCQQFjAC&url=http%3A%2F%2Ffcf.unse.edu.ar%2Farchivos%2Fseries-didacticas%2Fsd-1-anatomia-de-madera>.
- UDELAR. (2010). *Estructura química de la madera*. Uruguay.

## GLOSARIO

**IMA:** Es el incremento promedio de todos los años de crecimiento.

**DAP:** El diámetro del árbol se mide con la corteza, a la altura del pecho, 1,3 m., sobre el terreno

**PNBV:** Es un instrumento creado para articular las políticas públicas con la gestión y la inversión pública.

**NEC:** Esta normativa representa para el Ecuador, un medio idóneo para mejorar la calidad de las edificaciones y sobre todo para proteger la vida de las personas.

**CH:** es la cantidad de agua contenida en una madera

**PSF:** Durante el secado o humedecimiento de la madera, punto en el que las fibras de la madera están saturadas pero las cavidades de las células no contienen agua.

**PV:** Es el peso es la madera que se encuentra recién cortada y no ha perdido el agua

**PSH:** Es el peso de la madera que se encuentra +-12% secado al horno

**COPANT:** Son las normas internacionales para realizar los ensayos de las propiedades físicas

**ASTM:** Son normas internacionales para realización de los ensayos de trabajabilidad

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**IMA** = Incremento Medio Anual

**DAP** = Diámetro a la Altura del Pecho

**PNBV** = Plan Nacional del Buen Vivir

**NEC** = Norma Ecuatoriana de Construcción

**CH** = Contenido de Humedad

**PSF** = Punto de Saturación de las Fibras

**PV** = Peso Verde

**PSH** = Peso Seco al Horno

**COPANT** = Comisión Panamericana de Normas Técnicas

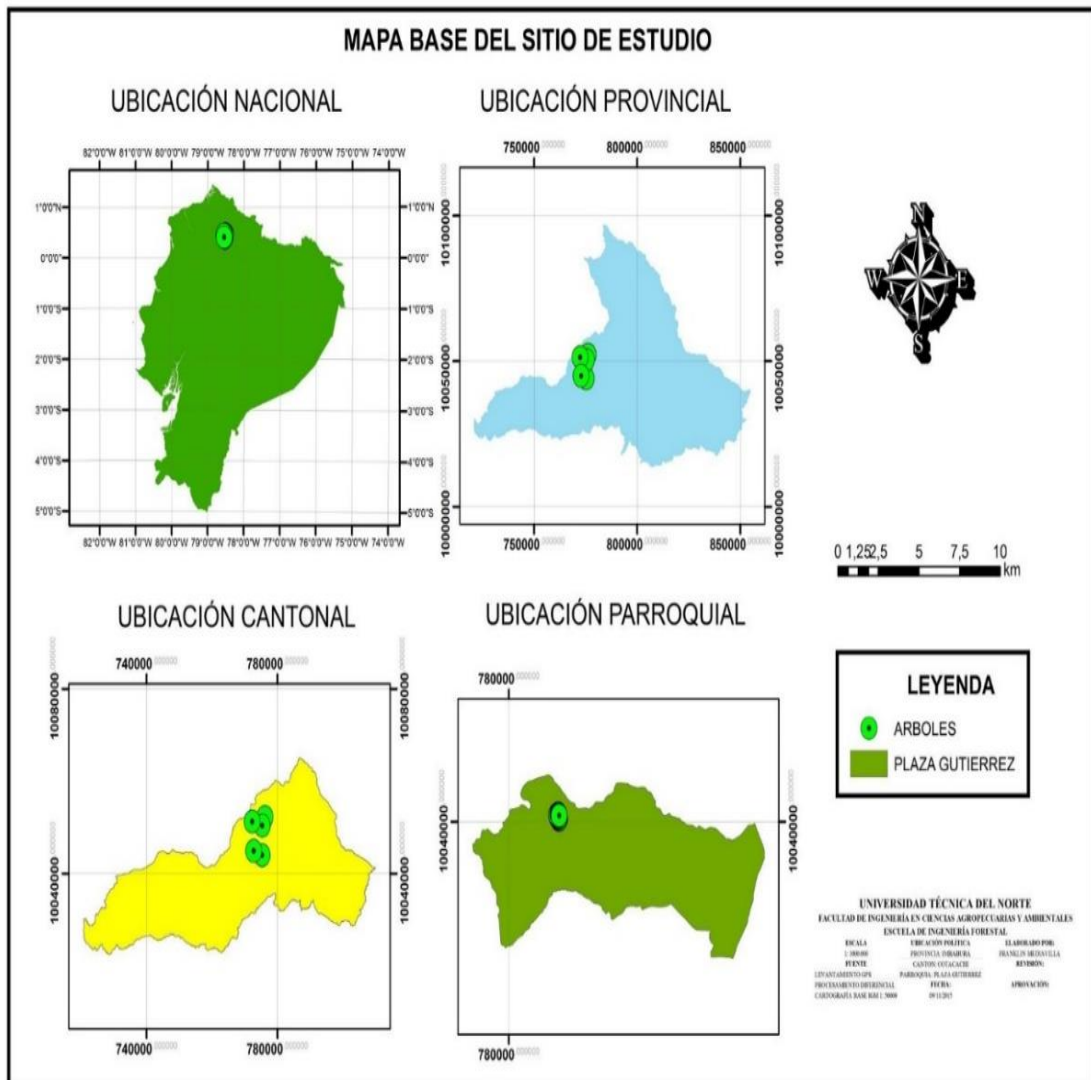
**ASTM** = American Society for Testing Materials

# ANEXOS

## ANEXO A: Gráficos

### Anexo 1A

#### Mapa base del sitio de estudio



## ANEXO B: Cuadros

### Propiedades físicas

#### Anexo 1B

	Contenido de Humedad					
	SA			SH		
	Árbol	Media	Rangos	Árbol	Media	Rangos
	A2	108,51	A	A1	115,73	A
	A6	105,45	A	A2	122,09	A
	A7	104,63	A	A3	115,32	A
	A4	101,21	A	A4	116,23	A
	A3	101,10	A	A5	100,15	A
	A1	100,17	A	A6	121,17	A
	A5	86,06	A	A7	117,03	A
<b>Media</b>		101,02			115,39	
<b>Suma</b>		707,12			1615,44	
<b>Desviación estándar</b>		7,23			12,28	
<b>Error estándar</b>		2,73			4,64	
<b>CV</b>		7,15			10,64	

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

#### Anexo 2B

	Densidad Verde		
	DV gr/cm <sup>3</sup>		
	Árbol	Media	Rangos
	A1	0,70	A
	A6	0,69	B
	A5	0,68	BC
	A4	0,68	CD
	A7	0,67	D
	A2	0,65	E
	A3	0,64	F
	<b>Media</b>	0,67	
	<b>Suma</b>	4,71	
	<b>Desviación estándar</b>	0,02	
	<b>Error estándar</b>	0,01	
	<b>CV</b>	3,29	

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 3B

<b>Densidad Seca al Aire</b>			
<b>DSA gr/cm<sup>3</sup></b>			
	<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>
	A5	0,40	A
	A1	0,38	B
	A6	0,37	C
	A7	0,36	CD
	A4	0,36	D
	A3	0,35	E
	A2	0,34	F
	Media	0,37	
	Suma	2,56	
	Desviación estándar	0,02	
	Error estándar	0,01	
	CV	5,01	

**Elaborado por:** Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 4B

<b>Densidad Seca al Horno</b>			
<b>DSH gr/cm<sup>3</sup></b>			
	<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>
	A5	0,38	A
	A1	0,36	B
	A6	0,36	C
	A4	0,35	CD
	A7	0,35	DE
	A3	0,33	E
	A2	0,33	F
	Media	0,35	
	Suma	2,48	
	Desviación estándar	0,02	
	Error estándar	0,01	
	CV	4,64	

**Elaborado por:** Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla



### Anexo 5B

<b>Densidad Básica</b>		
<b>DB gr/cm<sup>3</sup></b>		
<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>
A5	0,34	A
A1	0,33	B
A6	0,32	C
A4	0,31	CD
A7	0,31	D
A3	0,30	E
A2	0,29	F
<b>Media</b>	0,31	
<b>Suma</b>	2,20	
<b>Desviación estándar</b>	0,02	
<b>Error estándar</b>	0,01	
<b>CV</b>	5,41	

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 6B

	<b>Contracción Longitudinal</b>					
	<b>Normal</b>			<b>Total</b>		
	<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>	<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>
A5	0,31	A	A5	0,44	A	
A4	0,26	A	A1	0,38	A	
A1	0,24	A	A4	0,37	A	
A7	0,22	A	A7	0,34	A	
A6	0,19	A	A6	0,33	A	
A3	0,17	A	A3	0,28	A	
A2	0,14	A	A2	0,27	A	
<b>Media</b>	0,22			0,34		
<b>Suma</b>	1,54			2,39		
<b>Desviación estándar</b>	0,06			0,06		
<b>Error estándar</b>	0,02			0,02		
<b>CV</b>	26,49			17,13		

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 7B

	<b>Contracción Radial</b>					
	<b>Normal</b>			<b>Total</b>		
	<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>	<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>
	A2	3,03	A	A6	4,79	A
	A3	2,71	A	A2	3,96	A
	A6	2,43	A	A3	3,52	A
	A4	2,33	A	A4	3,38	A
	A5	2,14	A	A5	2,95	A
	A1	2,14	A	A7	2,94	A
	A7	1,93	A	A1	2,91	A
<b>Media</b>		2,39			3,49	
<b>Suma</b>		16,71			24,45	
<b>Desviación estándar</b>		0,38			0,69	
<b>Error estándar</b>		0,14			0,26	
<b>CV</b>		15,94			19,75	

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 8B

	<b>Contracción Tangencial</b>					
	<b>Normal</b>			<b>Total</b>		
	<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>	<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>
	A2	6,84	A	A2	8,55	A
	A7	6,22	A	A7	8,26	A
	A3	5,93	A	A1	7,83	A
	A6	5,93	A	A6	7,80	A
	A1	5,45	A	A3	7,50	A
	A5	4,68	A	A4	7,41	A
	A4	3,67	A	A5	6,41	A
<b>Media</b>		5,53			7,68	
<b>Suma</b>		38,72			53,76	
<b>Desviación estándar</b>		1,06			0,69	
<b>Error estándar</b>		0,40			0,26	
<b>CV</b>		19,08			8,98	

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

## Anexo 9B

<b>Contracción Volumétrica Total</b>		
<b>VOL Total (%)</b>		
<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>
A6	12,25	A
A2	12,17	A
A7	10,95	A
A3	10,78	A
A4	10,55	A
A1	10,51	A
A5	9,19	A
<b>Media</b>	10,91	
<b>Suma</b>	76,40	
<b>Desviación estándar</b>	1,05	
<b>Error estándar</b>	0,40	
<b>CV</b>	9,66	

**Elaborado por:** Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

## Anexo 10B

<b>Contracción relación Tangencial/ Radial</b>		
<b>Relación T/R (%)</b>		
<b>Árbol</b>	<b>Media</b>	<b>Rangos</b>
A7	3,03	A
A1	2,80	A
A5	2,61	A
A3	2,58	A
A4	2,56	A
A2	2,49	A
A6	2,33	A
<b>Media</b>	2,63	
<b>Suma</b>	18,40	
<b>Desviación estándar</b>	0,22	
<b>Error estándar</b>	0,08	
<b>CV</b>	8,55	

**Elaborado por:** Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

## Propiedades químicas

### Anexo 11B

Autor	Especie	Porcentaje (%)		
		Albura	Duramen	Cenizas
Mediavilla	<i>Alnus nepalensis</i>	0,64	0,73	0,69
Fonseca, 2006	<i>Pinus maximinoi</i>	0,1	0,7	0,40
Paz, 2006	<i>Gmelina arborea Roxb</i>	0,4	1,2	0,80
Francis, 1991	<i>Ochroma pyramidale Cav</i>	-	-	2,12

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

## Propiedades de trabajabilidad

### Anexo 12B

Cepillado defectos a favor del grano (%)									
Orientación de Probeta	Grano Arrancado			Grano Levantado			Grano Velloso		
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Radial	8	6	1	7	7	1	0	2	12
Tangencial	8	5	2	8	5	3	3	3	9
Oblicua	7	7	1	8	8	1	1	7	8
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>29</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 13B

Cepillado defectos en contra del grano (%)									
Orientación de Probeta	Grano Arrancado			Grano Levantado			Grano Velloso		
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Radial	6	4	3	2	8	4	0	4	9
Tangencial	6	7	2	6	8	4	2	5	8
Oblicua	5	9	1	6	8	1	0	8	6
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>23</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 14B

<b>Lijado # 60 defectos a favor del grano (%)</b>									
<b>Orientación de Probeta</b>	<b>Grano Arrancado</b>			<b>Grano Levantado</b>			<b>Grano Velloso</b>		
	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>
<b>Radial</b>	4	6	4	4	7	3	0	5	10
<b>Tangencial</b>	3	6	6	2	10	3	1	4	9
<b>Oblicua</b>	3	8	4	3	9	3	1	4	9
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>26</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>28</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 15B

<b>Lijado # 60 defectos en contra del grano (%)</b>									
<b>Orientación de Probeta</b>	<b>Grano Arrancado</b>			<b>Grano Levantado</b>			<b>Grano Velloso</b>		
	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>
<b>Radial</b>	4	6	5	3	7	5	0	5	10
<b>Tangencial</b>	2	8	4	2	9	4	0	7	7
<b>Oblicua</b>	2	10	3	2	10	4	0	4	11
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>26</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>28</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 16B

<b>Lijado # 100 defectos a favor del grano (%)</b>						
<b>Orientación de Probeta</b>	<b>Grano Arrancado</b>		<b>Grano Levantado</b>		<b>Grano Velloso</b>	
	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>
<b>Radial</b>	15	0	14	1	12	3
<b>Tangencial</b>	9	4	9	4	11	4
<b>Oblicua</b>	9	6	12	2	8	5
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>	<b>10</b>	<b>35</b>	<b>7</b>	<b>31</b>	<b>12</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 17B

Lijado # 100 defectos en contra del grano (%)							
Orientación de Probeta	Grano Arrancado		Grano Levantado		Grano Velloso		
	Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2	Grado 3
<b>Radial</b>	13	3	13	4	1	14	0
<b>Tangencial</b>	11	4	6	8	4	7	3
<b>Oblicua</b>	4	9	11	4	0	10	5
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>	16	<b>30</b>	16	5	<b>31</b>	8

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 18B

Moldurado defectos a favor del grano (%)						
Orientación de Probeta	Grano Arrancado		Grano Levantado		Grano Velloso	
	Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2
<b>Radial</b>	9	6	6	9	6	9
<b>Tangencial</b>	7	8	7	6	8	7
<b>Oblicua</b>	8	7	9	8	7	8
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	21	22	<b>23</b>	21	<b>24</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 19B

Moldurado defectos en contra del grano (%)						
Orientación de Probeta	Grano Arrancado		Grano Levantado		Grano Velloso	
	Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2
<b>Radial</b>	6	9	8	7	6	9
<b>Tangencial</b>	9	6	8	7	6	8
<b>Oblicua</b>	8	7	9	6	9	7
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>	22	<b>25</b>	20	21	<b>24</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 20B

<b>Taladrado defectos orificio de entrada (%)</b>						
<b>Orientación de Probeta</b>	<b>Grano Arrancado</b>		<b>Grano Levantado</b>		<b>Grano Velloso</b>	
	<b>Grado 1</b>		<b>Grado 1</b>		<b>Grado 1</b>	
<b>Radial</b>	15		15		15	
<b>Tangencial</b>	15		15		15	
<b>Oblicua</b>	15		15		15	
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>		<b>45</b>		<b>45</b>	

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 21B

<b>Taladrado defectos en orificio de salida (%)</b>						
<b>Orientación de Probeta</b>	<b>Grano Arrancado</b>		<b>Grano Levantado</b>		<b>Grano Velloso</b>	
	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>
<b>Radial</b>	4	11	4	11	10	5
<b>Tangencial</b>	2	13	11	4	11	3
<b>Oblicua</b>	7	8		11	11	5
<b>TOTAL</b>	13	<b>32</b>	19	<b>26</b>	<b>32</b>	13

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 22B

<b>Defectos del torneado (%)</b>						
<b>Orientación de Probeta</b>	<b>Grano Arrancado</b>		<b>Grano Levantado</b>		<b>Grano Velloso</b>	
	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>	<b>Grado 2</b>	<b>Grado 3</b>	<b>Grado 1</b>	<b>Grado 2</b>
<b>Radial</b>	5	9	8	7	10	5
<b>Tangencial</b>	4	12	7	8	9	6
<b>Oblicua</b>	6	9	7	8	8	7
<b>TOTAL</b>	15	<b>30</b>	22	<b>23</b>	<b>27</b>	18

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 23B

Defectos en contra del grano (%)									
Orientación de Probeta	Grano Arrancado			Grano Levantado			Grano Velloso		
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Cepillado	17	20	6	14	24	9	2	17	23
Lijado 60	8	24	12	7	26	13	0	16	28
Lijado 100	28	16		30	16		5	31	8
Moldurado	23	22		25	20		21	24	
Taladrado	13	32			19	26	32	13	
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>114</b>	<b>18</b>	<b>76</b>	<b>105</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	<b>101</b>	<b>59</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

### Anexo 24B

Defectos del tallado (%)									
Orientación de Probeta	Grano Arrancado			Grano Levantado			Grano Velloso		
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Matriz		✓			✓			✓	
Volumen		✓			✓			✓	
Estilizado	✓			✓			✓		
Relieve	✓			✓			✓		

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla



## Anexo 25B

Defectos a favor del grano (%)									
Orientación de Probeta	Grano Arrancado			Grano Levantado			Grano Velloso		
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Cepillado	23	18	4	23	20	5	4	12	29
Lijado 60	10	20	14	9	26	9	2	13	28
Lijado 100	33	10	35	35	7		31	12	
Moldurado	24	21		22	23		21	24	
Taladrado	45			45			45		
<b>Total</b>	<b>135</b>	<b>69</b>	<b>53</b>	<b>134</b>	<b>76</b>	<b>14</b>	<b>103</b>	<b>61</b>	<b>57</b>

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

## Anexo 26B

Autor	Especie	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Cepillado	Moldurado	Torneado	Taladrado
		Básica	Libre de defectos	Bueno a excelente	Buena	Bueno a excelente
Mediavilla	<i>Alnus nepalensis</i>	0,31	30	100	40	23
Peters y Lutz, 1966	<i>Alnus nepalensis</i>	0,35	58	54	86	98
	<i>Molucca albizzia</i>	0,33	56	91	69	100
	<i>Salix sp.</i>	0,34	52	5	58	71
	<i>Tilia americana</i>	0,35	64	10	68	76
	<i>Alnus rubra</i>	0,37	61	20	88	64
	<i>Populus spp.</i>	0,38	21	3	70	70
	<i>Liriodendron tulipifera</i>	0,42	70	13	81	87

Elaborado por: Franklin Vicente Mediavilla Mediavilla

## Anexo C: Fotografías

### Anexo 1C

#### Fase de campo



Selección de árboles



Apeo y troceado



Extracción de bloques



Codificado y embalado



Traslado de bloque



Carga en acémilas



Acarreo por acémilas



Descarga de los bloques



Carga y transporte



Descarga en la central Maderera



Preparación maquinaria

Cantado de bloques

## Anexo 2C

### Propiedades físicas



Corte de las probetas



Embalado de las probetas



Medición, codificación y pesado de las probetas



Secado la ambiente



Secado al horno



Pesado de probetas



Cálculo de resultados

### Anexo 3C

#### Propiedades químicas



## Anexo 4C

### Propiedades de trabajabilidad



Canteado



Corte de probetas



Secado al aire



Cepillado



Lijado



Moldurado



Torneado



Taladrado



Matriz



Tallado

## Acompañamiento de los miembros del comité asesor







