

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Tesis de Grado**

**“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  
ITALQUI- COTACACHI- IMBABURA”**

***Autor:***

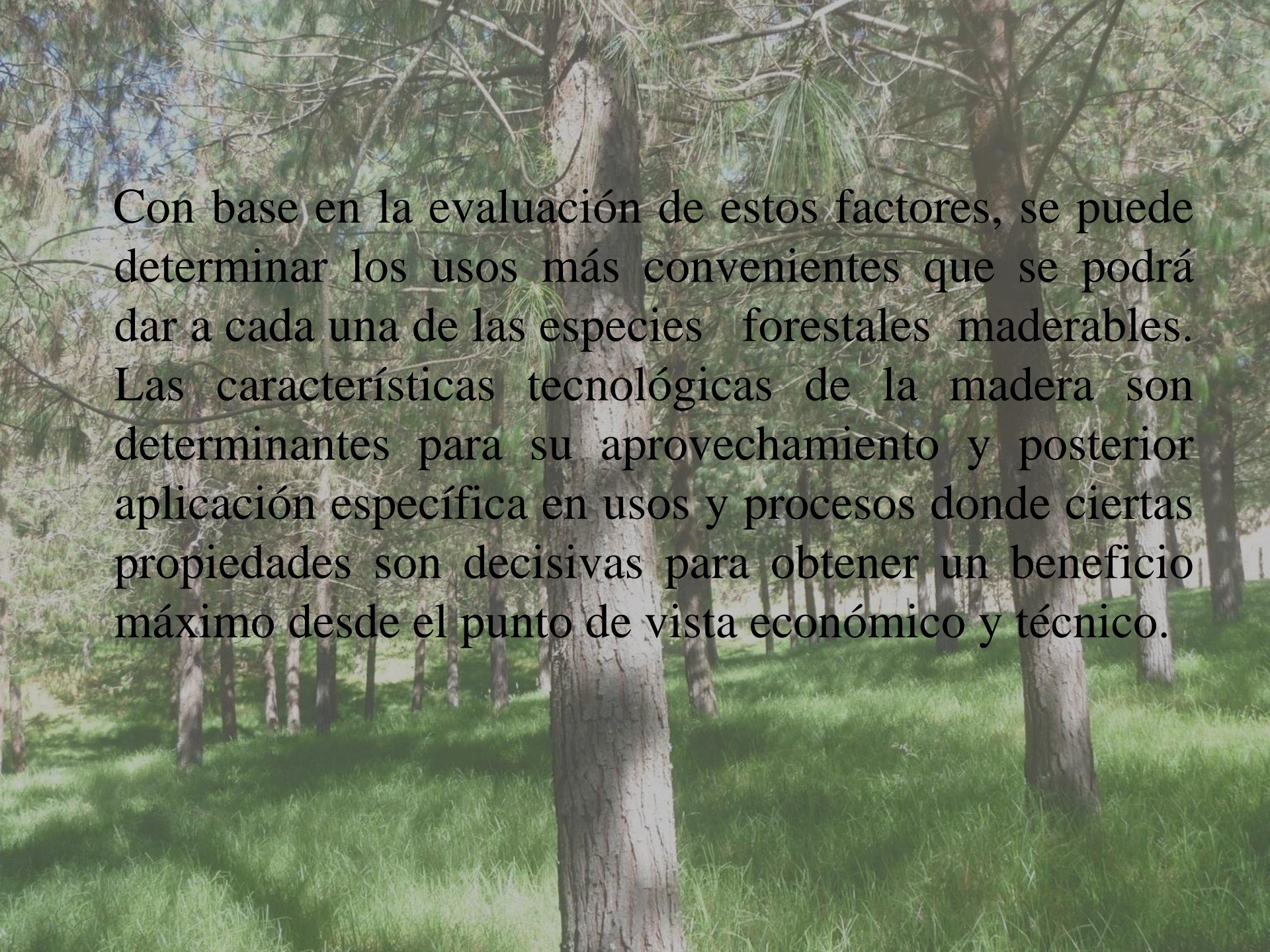
**STALIN MENESES**

**12 de Diciembre del 2011**

# INTRODUCCIÓN

El *Pinus patula* en Ecuador fue introducido como una alternativa en los sitios cuya característica persistente están dadas por la presencia de neblina. Cabe destacar que esta especie es resistente a estas condiciones meteorológicas, al contrario que el *Pinus radiata* que es una especie susceptible en estas condiciones y muy difundida en el callejón interandino.

Para la mejor utilización los recursos forestales, básicamente se necesita conocer las Propiedades Tecnológicas de la madera (propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad).

A photograph of a forest with tall, thin trees and green grass in the foreground. The text is overlaid on the image.

Con base en la evaluación de estos factores, se puede determinar los usos más convenientes que se podrá dar a cada una de las especies forestales maderables. Las características tecnológicas de la madera son determinantes para su aprovechamiento y posterior aplicación específica en usos y procesos donde ciertas propiedades son decisivas para obtener un beneficio máximo desde el punto de vista económico y técnico.

# OBJETIVOS

## **Objetivo General**

**Identificar los 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 Itaqui- Cantón Cotacachi-Provincia de Imbabura.**

## **Objetivos Específicos**

- **Determinar las propiedades físico- mecánicas y de trabajabilidad de la madera de *Pinus patula* Schlect.et Cham.**
  
- **Correlacionar las propiedades físico - mecánicas y de trabajabilidad de *Pinus patula* Schlect.et Cham., con madera de mayor edad.**

# PREGUNTAS DIRECTRICES

**En Iltaqi, cantón Cotacachi Provincia de Imbabura, se conocen los usos actuales de la madera de *Pinus patula* Schlect.et?**

**Se considera que la madera de *Pinus patula*, no origina variación en las propiedades Físico - Mecánicas y Trabajabilidad?**

**Se considera que la madera de *Pinus patula*, origina variación en las propiedades Físico - Mecánicas y Trabajabilidad?**

**Se ha correlacionado las propiedades físico - Mecánicas y de Trabajabilidad de *Pinus patula* Schlect.et Cham. Con madera de mayor edad?**

## Descripción de la especie en estudio

**Familia:** PINACEAE

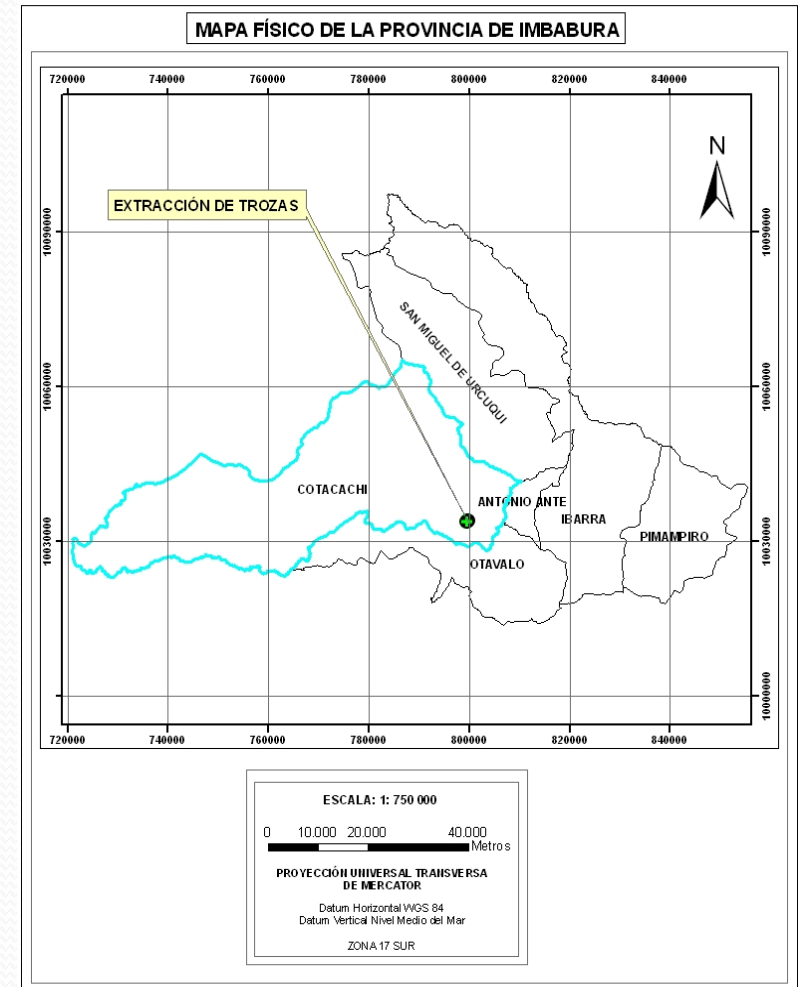
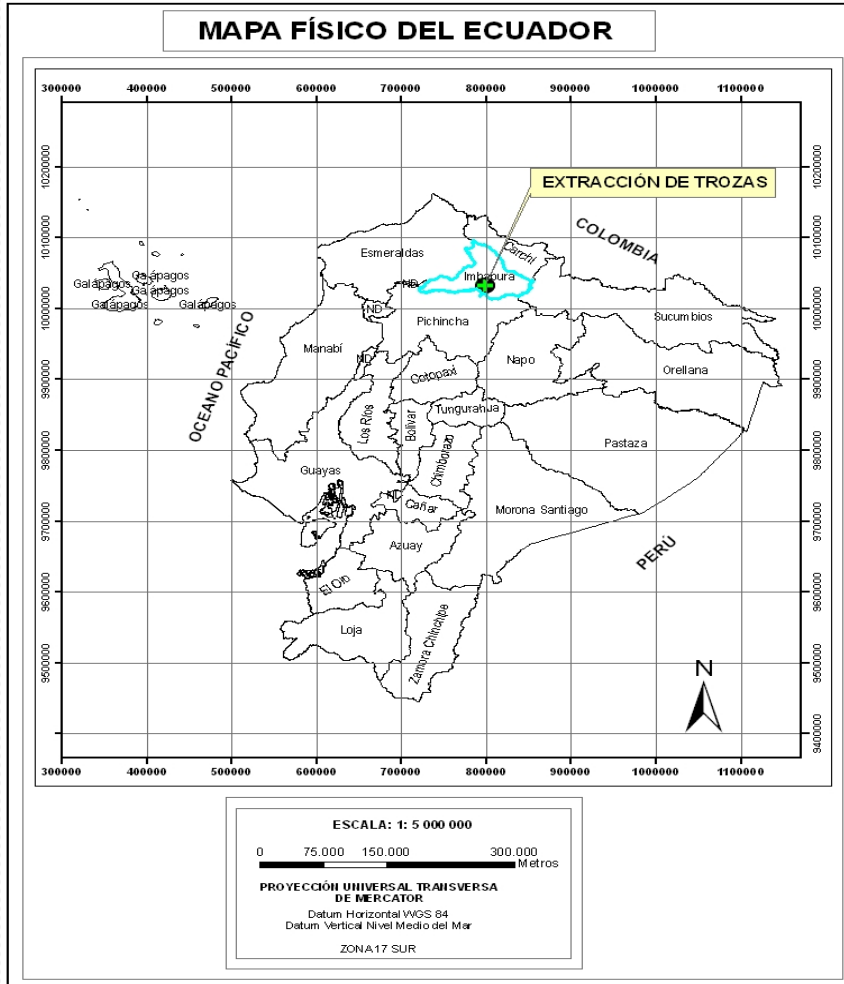
**Nombre Científico:** *Pinus patula* Schlect.et Cham.

**Nombres comunes:** Pino pátula, penador de neblinas, ocote, pino llorón, etc.

### **Distribución Natural**

*Pinus patula* es originario de México. El área de distribución es limitada y continua, crece básicamente en tres zonas boscosas, en las faldas al este de la Sierra Madre Oriental, entre los paralelos de los 18 y 21 a altitudes de 1800 a 2700 msnm.

# Ubicación Geográfica del Sitio de Extracción del Material de estudio





# METODOLOGÍA

## **1. Revisión de bibliografía**

Se siguió pautas desarrolladas en otras investigaciones en las que indican que las variaciones entre los árboles son más significativas que la variación dentro del mismo árbol.

# Etapas de la investigación

## 2. Reconocimiento del sitio de donde se obtuvo las muestras para la investigación

El área de extracción de las trozas de *Pinus patula* cubre 1,94 ha. de bosque y corresponde al estudio “Evaluación de Procedencias de *Pinus patula*” ubicado en la Provincia de Imbabura en la comunidad de Iltaqi.



### 3. Selección de los árboles

Para los diferentes ensayos se seleccionaron 7 árboles, con base en los siguientes criterios: árboles sanos, troncos rectos (lo más cilíndrico posible) y ser representativos de la plantación forestal en diámetro.



## 4. Tumba de árboles, corte de bloques y Codificación

Los árboles seleccionados se cortaron, una vez tumbados se marcaron en trozas de 2.40 m de largo y se extrajeron las trozas 1 y 2 a partir de la base del árbol. Posteriormente, cada una de ellas fue aserrada con la ayuda de una moto sierra. Las piezas obtenidas (bloques) se marcaron con un código, en el que se indica el número de árbol y el orden de la troza para su fácil identificación.



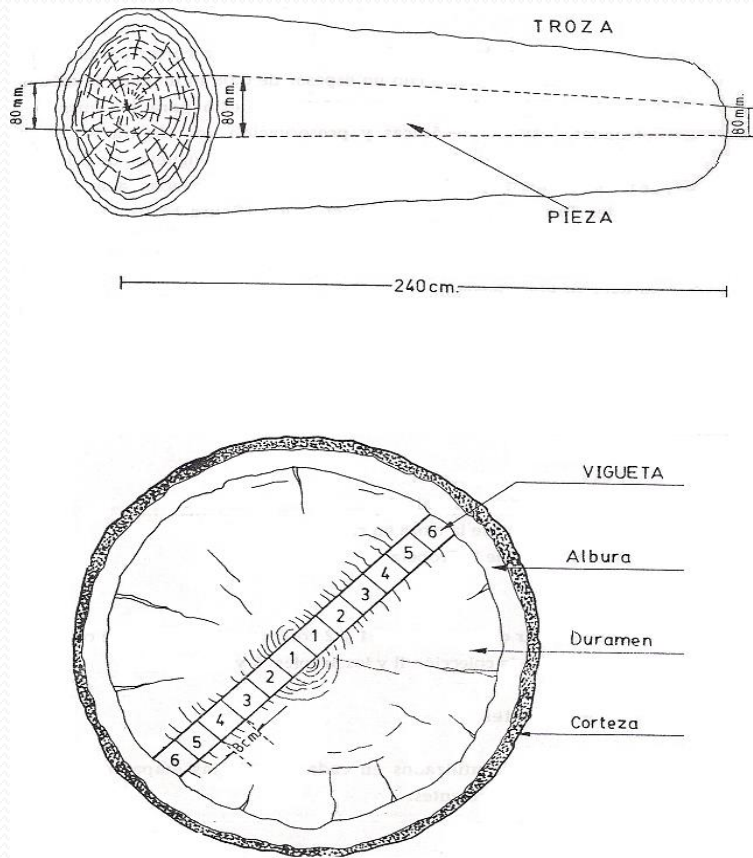
## 5. Tratamiento de bloques y transporte

Se aplicó Maderol en todos los bloques para evitar la presencia de hongo. Se sellaron los extremos con fundas plásticas, se transportó las piezas inmediatamente para evitar deshidratación y no sufran defectos producto de la pérdida del contenido de humedad (tensión).

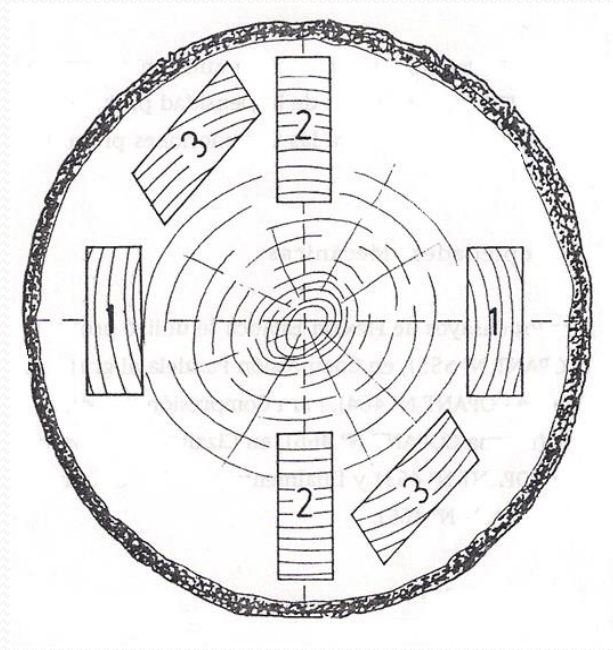
## 6. Preparación, selección de viguetas y probetas

- Se realizaron a partir de cada una de las trozas, cortes paralelos obteniéndose piezas con un espesor de 0.08 m incluida la médula y una longitud del total de la troza de 2.40 m, esto para los ensayos de Propiedades físicas-Mecánicas. En cambio para los ensayos de trabajabilidad se prepararon viguetas de 0.12 x 0.07 m de ancho y espesor y del largo total de la troza orientadas a su vez en los tres cortes: Tangencial, Radial y Oblicuo.

## Preparación, selección de Viguetas y Probetas



## Tipo de corte en la troza para la obtención de probetas



- 1 Corte Tangencial.
- 2 Corte Radial.
- 3 Corte Oblicuo

Cada probeta se codificó para su fácil identificación de la siguiente forma:

**2 P 3 – A**

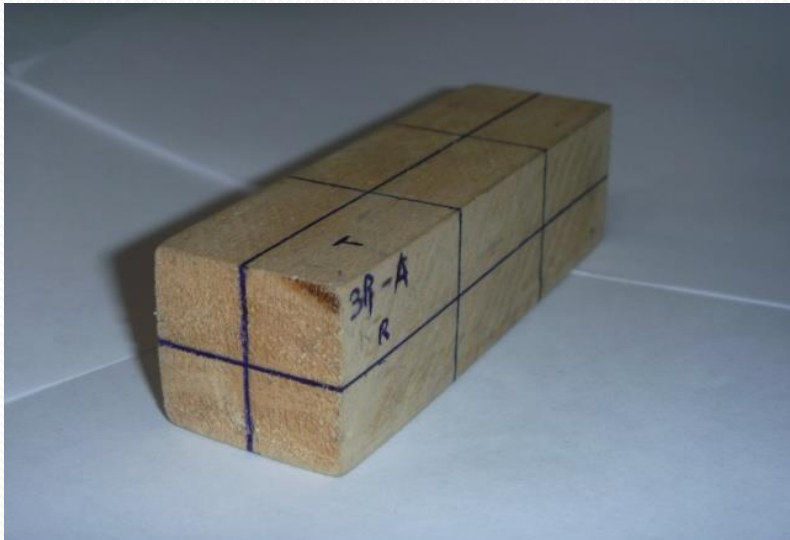
Dónde:

2 = número del árbol

P = especie (*Pinus patula*)

3 = número de troza en cada árbol

A = Orden de la Probeta





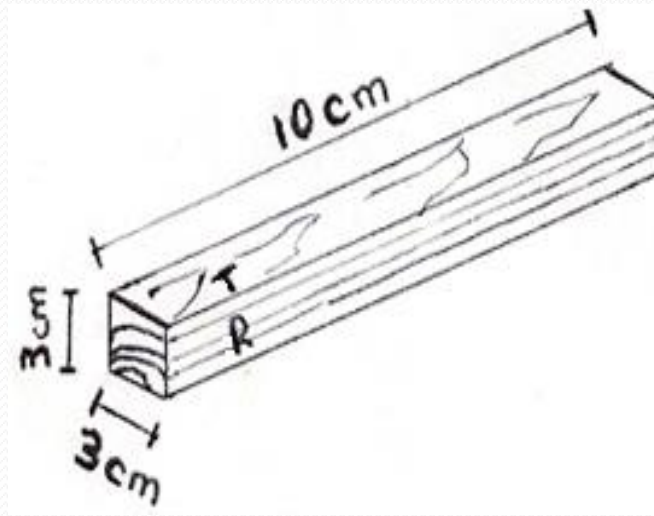
## 7. Determinación de las Propiedades Físicas

Se determinó las siguientes propiedades físicas: contenido de humedad; Densidad en estado Saturado, densidad en estado seco al aire, densidad en estado anhidro, densidad básica, Contracción normal (Tangencial, radial, longitudinal, volumétrica) y Contracción total (Tangencial, radial, longitudinal, volumétrica)

## a) Contenido de humedad

- Para determinar el contenido (CH) se utilizó siete probetas libre de defectos para cada uno de los árboles muestreados (42 probetas en total).
- Esta propiedad se determinó según los estándares de las Normas COPANT 460

## Dimensión de Probetas



## Fórmulas para el Cálculo

$$\text{CH\%} = \frac{P.V. - P.S.H.}{P.S.H.} \times 100$$

## b) Densidad

Para determinar la densidad se tomó en cuenta las tres etapas de acuerdo con el estado de las probetas y por el contenido de humedad:

➤ Madera en Condición Verde

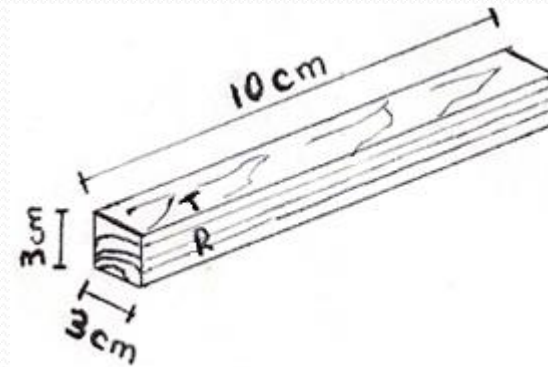
$$D.V = \frac{P.V.}{V.V.} \text{ gr./cm}^3$$

➤ Madera en Estado Seco al Aire

$$D.S.A. = \frac{P.S.A.}{V.S.A.} \text{ gr./cm}^3$$

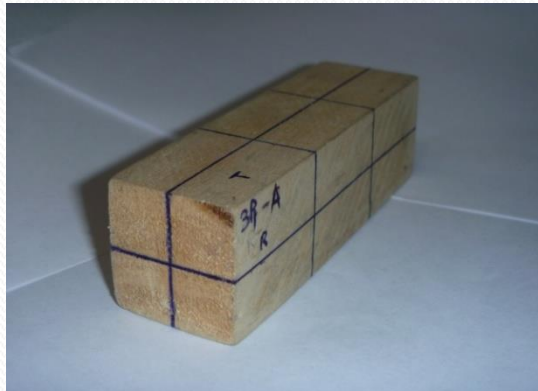
➤ Madera en estado Seco al Horno

$$D.A. = \frac{P.S.H.}{V.S.H.} \text{ gr./cm}^3$$



## c) Contracción

- **Dimensión Longitudinal**, se midió la probeta de una a la otra base en los puntos centrales de la base.
- **Dimensión Radial**, esta medición se la realizó entre la separación existente entre las dos caras tangenciales a 1,5 cm de las bases y al centro de la probeta.
- **Dimensión Tangencial**, con el mismo procedimiento de la dimensión radial; fue medida entre las dos caras radiales.



# Fórmulas

## Contracción Normal

### Contracción radial Normal (C.R.N.)

$$C.R.N. (\%) = \frac{D.R.V. - D.R.S.A.}{D.R.V.} \times 100$$

### Contracción tangencial normal (C.T.N.):

$$C.T.N. (\%) = \frac{D.T.V. - D.T.S.A.}{D.T.V.} \times 100$$

### Contracción longitudinal normal (C.L.N.).

$$C.L.N. (\%) = \frac{D.L.V. - D.L.S.A.}{D.L.V.} \times 100$$

### Contracción volumétrica normal (C.V.N.).

$$C.V.N. = C.R.N. + C.T.N. - \frac{C.R.N. \times C.T.N.}{100}$$

## Contracción Total

### Contracción radial total (C.R.T)

$$C.R.T. (\%) = \frac{D.R.V. - D.R.S.H.}{D.R.V.} \times 100$$

### Contracción tangencial total (C.T.T)

$$C.T.T. (\%) = \frac{D.T.V. - D.T.S.H.}{D.T.V.} \times 100$$

### Contracción longitudinal total (C.L.T)

$$C.L.T. (\%) = \frac{D.L.V. - D.L.S.H.}{D.L.V.} \times 100$$

### Contracción volumétrica total (C.V.T)

$$C.V.T. = C.R.T. + C.T.T. - \frac{C.R.T. \times C.T.T.}{100}$$

## 8. Determinación de las propiedades Mecánicas

Este ensayo se realizó en madera seca al aire, 12% de contenido de humedad aproximadamente, contempla la determinación de: flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y dureza.

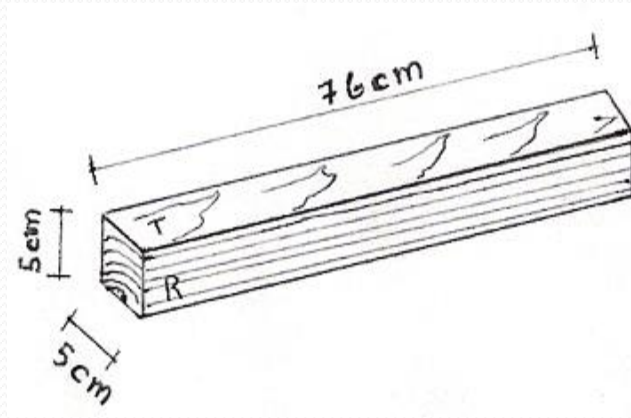
Se utilizó una máquina universal de pruebas mecánicas *Tinius Olsen*, provista de un sistema hidráulico, transductor y software especializado para procesar la información generada en cada ensayo





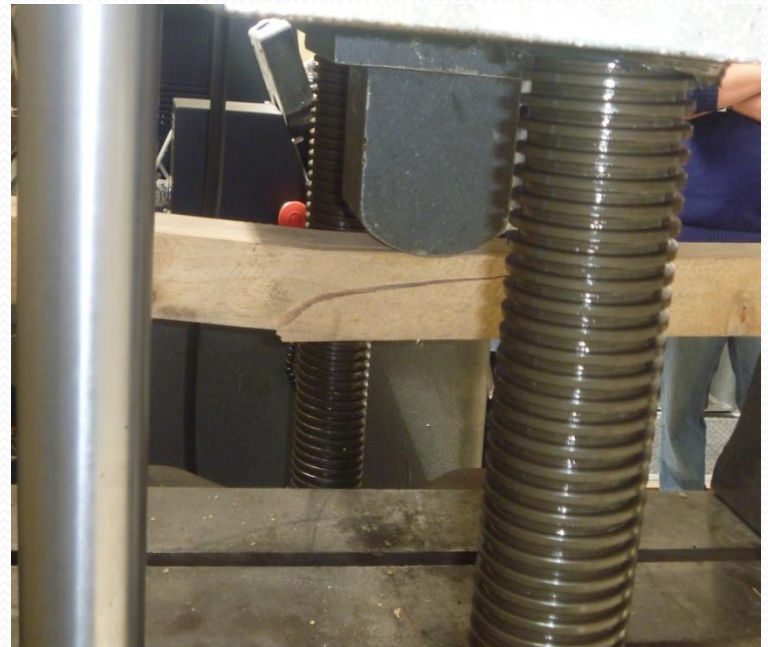
## a) Flexión Estática

### Dimensión de Probetas



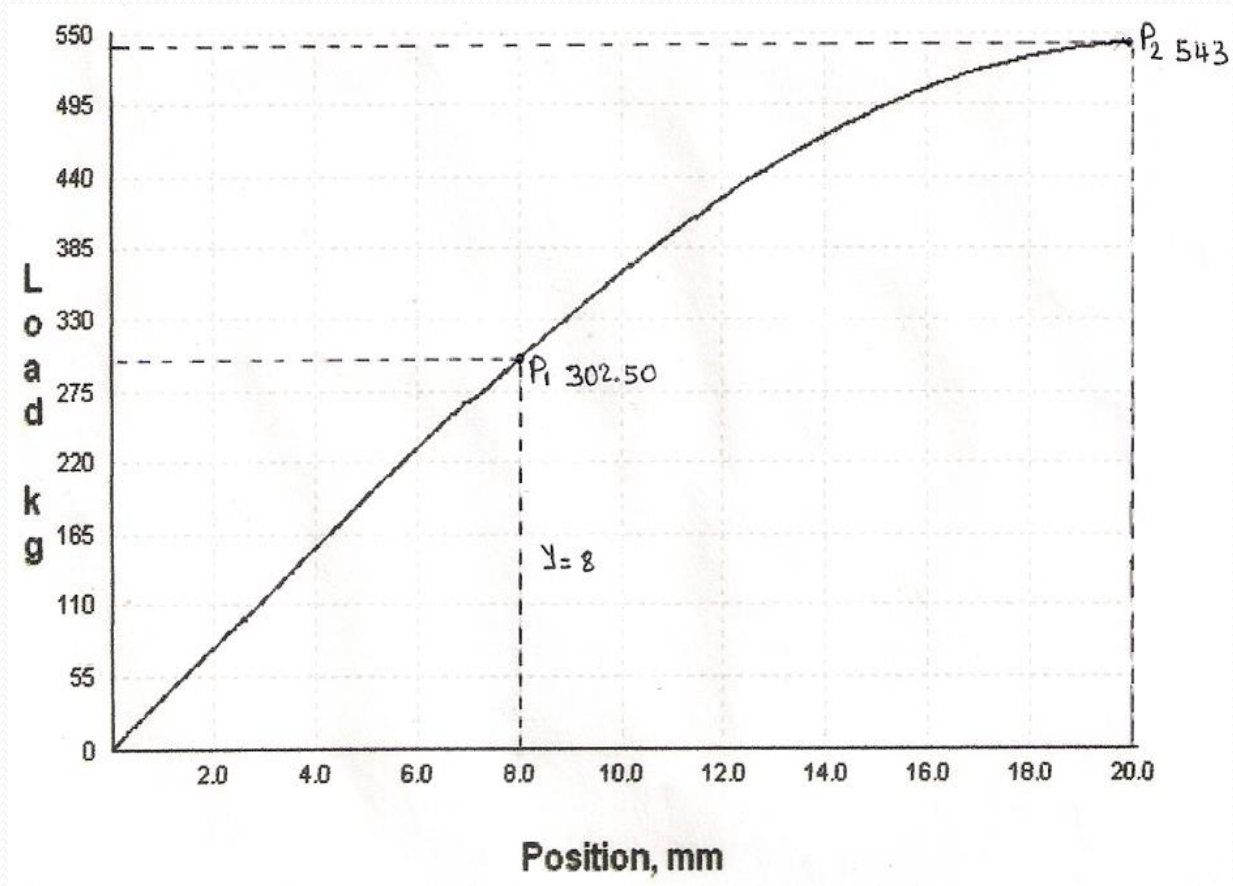
## Procedimiento

La prueba de flexión estática consistió en encontrar las deformaciones y la falla de las probetas sometidas a una aplicación de una carga a una velocidad constante, según la norma ASTM D143-09. La velocidad de aplicación de la carga para este ensayo fue de 2.5mm/minuto y con 71cm de luz entre los apoyos.



## Ensayo de Flexión Estática en *Pinus patula*

Probeta 4P1A



# Fórmulas para el cálculo

Esfuerzo Unitario en el Límite Proporcional (E.F.L.P.)

$$\text{E.F.L.P.} = \frac{1,5 \times L \times P1}{b \times h^2} \text{ kg./cm}^2$$

Módulo de Ruptura o Esfuerzo Unitario Máximo (MOR)

$$\text{M.O.R.} = \frac{1,5 \times L \times P2}{b \times h^2} \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de Elasticidad (MOE)

$$\text{M.O.E.} = \frac{0,25 \times L^3 \times P1}{b \times h^3 \times Y^3} \text{ Kg/cm}^2$$

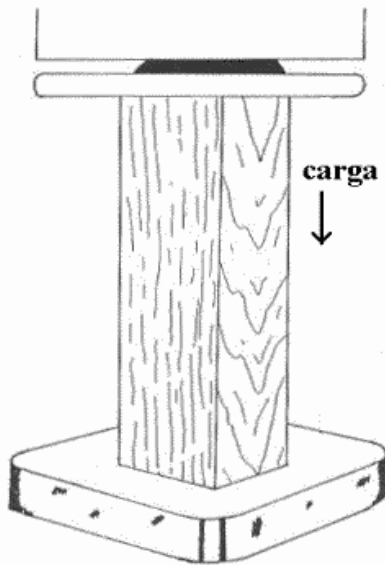
## **b) Compresión paralela al Grano**

- **Dimensión de Probeta**

- En este ensayo se utilizaron probetas con las siguientes dimensiones: 20 cm de longitud y de 5cm x 5cm de sección transversal, orientadas de tal forma que se distingan dos caras radiales y dos caras tangenciales.

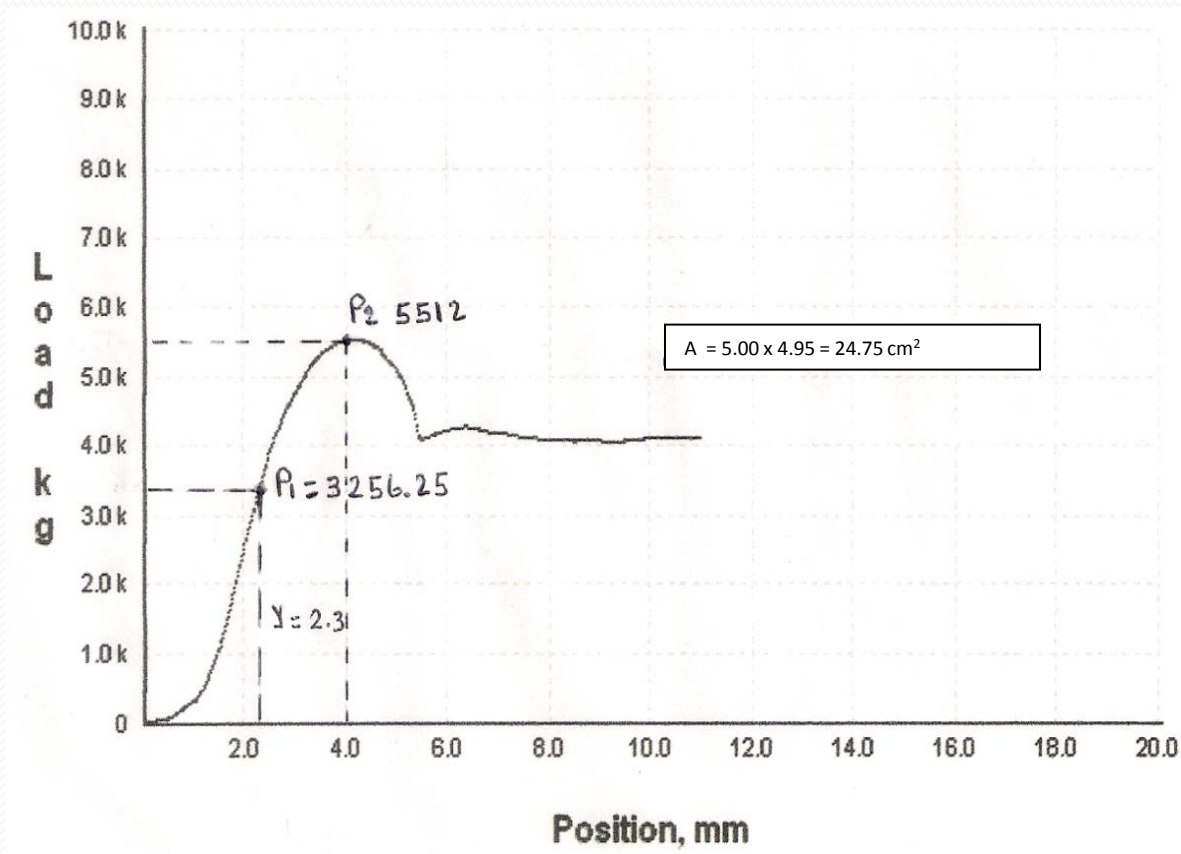
## Procedimiento

El ensayo de compresión paralela, consistió en encontrar las deformaciones y la falla de las probetas sometidas a una aplicación de una carga paralela al grano a una velocidad constante, según los estándares de la Norma ASTM D143-09. La velocidad de aplicación de la carga para este ensayo fue de 0,6mm/minuto.



# Ensayo de Compresión Paralela en *Pinus patula*

## Probeta 1P1D



## Fórmulas para el Cálculo

Esfuerzo Unitario en el Límite Proporcional (E.F.L.P.)

$$\text{E.F.L.P.} = \frac{P_1}{b \times d} \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de Ruptura (M.O.R.)

$$\text{M.O.R.} = \frac{P_2}{b \times d} \text{ kg/cm}^2$$

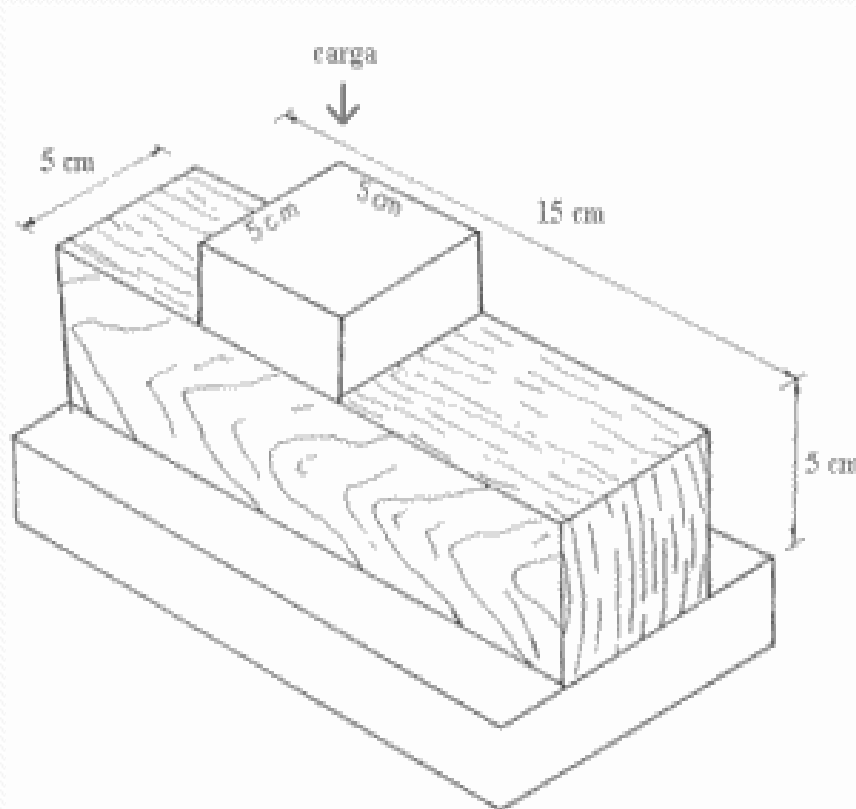
Módulo de elasticidad (M.O.E.)

$$\text{M.O.E.} = \frac{L \times P_1}{b \times d \times y} \text{ kg/cm}^2$$



## c) Compresión Perpendicular

- **Dimensión de Probeta y Accesorios**



## Procedimiento

Este ensayo se lo realizo en la máquina universal de resistencia de materiales; con los implementos necesarios para compresión perpendicular a una velocidad de 0,305 mm/ min, manteniéndose constante durante el ensayo. Además la maquina dispone de un registrador (deflectómetro) el cual grafica la relación carga – deformación, los datos necesarios para el cálculo se los obtiene directamente del gráfico.



# Fórmulas para el Cálculo

$$\text{E.F.L.P.} = \frac{P1}{b \times h} \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

E.F.L.P = Es el esfuerzo en el límite proporcional, expresado en kg/cm<sup>2</sup>.

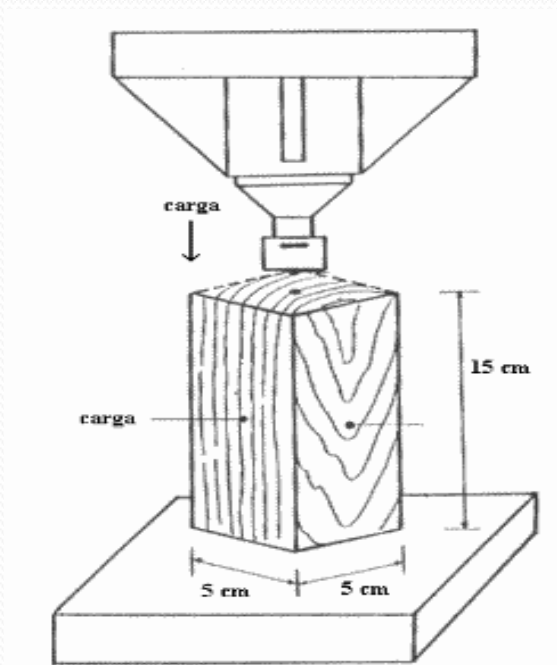
P1 = Es la carga en el límite proporcional en kg.

b = Es el ancho de la probeta en cm.

h = Altura del bloque metálico en cm.

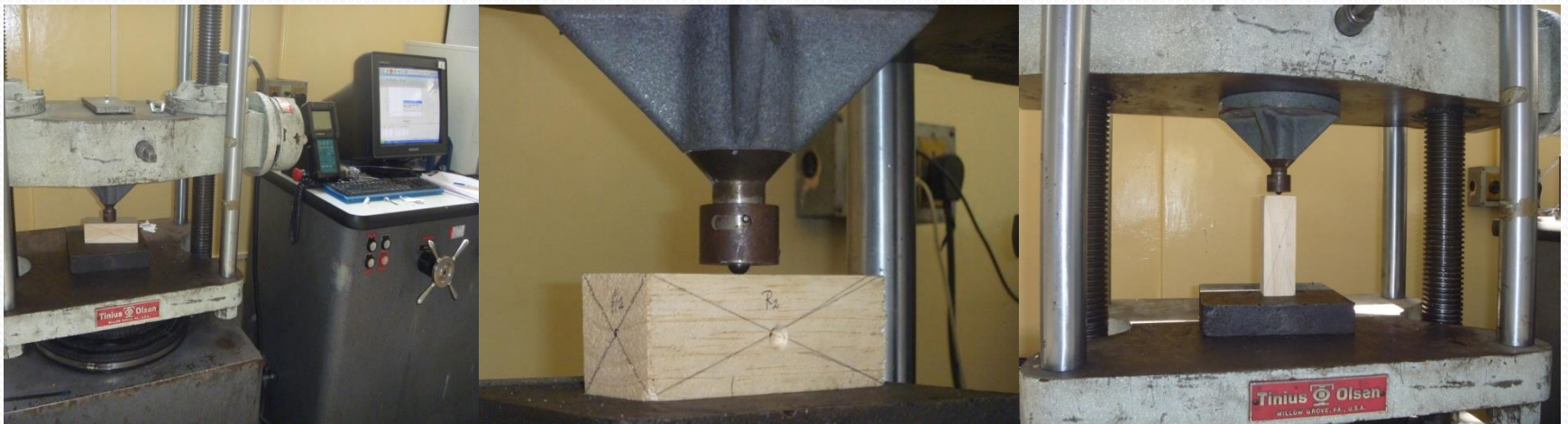
## d) Dureza (Janka)

### Dimensión de Probeta y Accesorios para Ensayo de Dureza



## Procedimiento

- Se aplicó una carga a una velocidad de 6 mm/ minuto, con la máquina prensa Universal accionada de manera que la semiesfera penetre en cada uno de los dos lados contiguos de la probeta, así como en cada uno de sus extremos hasta que la penetración de la semiesfera se encuentre por llegar a su máximo momento en cual el anillo deja de ser móvil, lo que significa que se ha obtenido la penetración total de la semiesfera



## 9. Determinación de las Propiedades de Trabajabilidad

La metodología utilizada se basó en la norma ASTM D 1666-87 (re-aprobada en 2004), que establece un procedimiento de trabajo para la realización de ensayos de trabajabilidad. En ella se menciona que la evaluación de las probetas se debe realizar mediante una inspección visual, donde se identifican fibra levantada y grano desgarrado. Dependiendo de la magnitud de los defectos se clasifican las probetas sobre la base de la siguiente escala:

**Grado 1: Excelente**, no acepta ningún tipo de defecto. La fibra levantada alrededor de los nudos sólo se observa con luz oblicua.

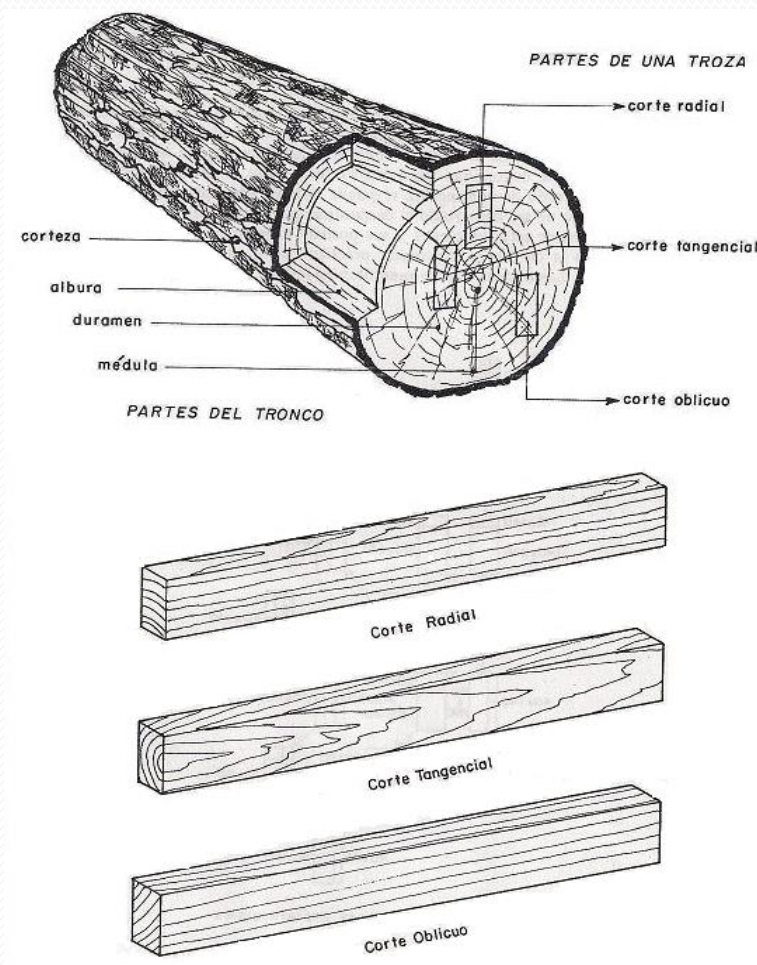
**Grado 2: Bueno**, acepta fibra levantada entre un 10 a 20% del área inspeccionada.

**Grado 3: Regular**, acepta fibra levantada hasta en un 30%. Mínima presencia de grano desgarrado.

**Grado 4: Malo**, acepta fibra levantada hasta en un 40%. Grano desgarrado se acepta hasta un 30% del área inspeccionada.

**Grado 5: Muy Malo**, la fibra levantada se encuentra sobre un 40%. Grano desgarrado se presenta sobre un 30%.

# Tipos de cortes según la orientación del tronco





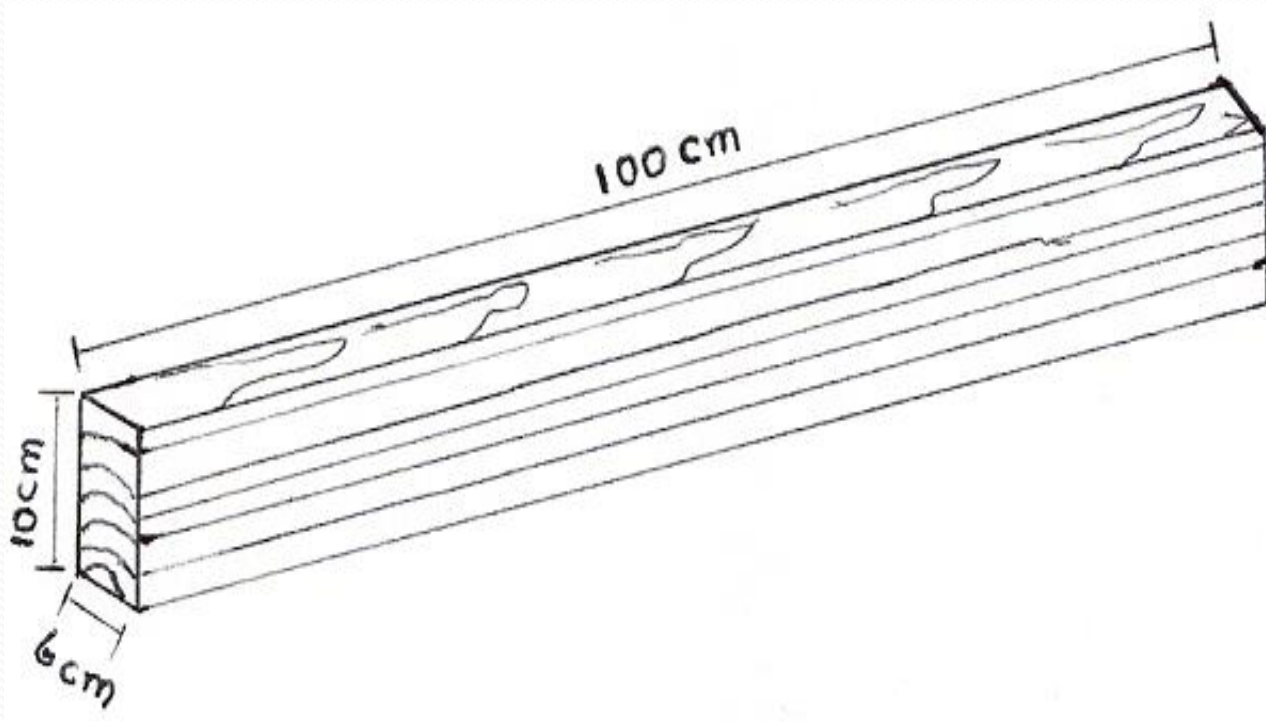
## a) Cepillado

### Descripción de Maquinaria Empleada

En este ensayo se utilizó la cepilladora de marca DAFIGO, motor de 3.7 H.P. 3485 rpm, mandril de 9 cm, mesa de 1.85m de largo y 35cm de ancho, porta cuchillas de 35cm; con tres cuchillas de acero rápido, con un ángulo de corte de 35 grados, alimentador de velocidad (motor) 1.5 H.P 1740 rpm.



## Dimensiones de las Probetas



## ● Procedimiento del Ensayo

Para su reconocimiento las probetas fueron codificadas indicando especie, número de árbol, orden de probeta y su orientación. Además, se marcaron con una flecha en el extremo de cada probeta para indicar la dirección de alimentación a favor y en contra del grano. Se trabajó en ambas caras de las probetas, a favor y en contra del grano.



## Fórmulas para el Cálculo

Velocidad de alimentación

4,55seg. -----1m

60seg. ----- X = Val.

$$\text{Val.} = \frac{60 \times 1}{4,55} = 13.19 \text{ m/min.}$$

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

$$\text{A.D.M} = \frac{13.19}{3 \times 4300} = 1,01 \text{ mm.}$$

## b) Lijado

### Descripción de Maquinaria y Accesorios

Lijadora de Banda, giro de polea de 656,25 rpm, diámetro del tambor porta lija 24 cm fuerza motriz 2H.P 3400 rpm, velocidad de corte de giro de lija, 5,58m/seg, velocidad de avance o alimentación 0,063m/seg. Lijas número 60 y 100 de 7,10 m de largo por 0,15m de ancho



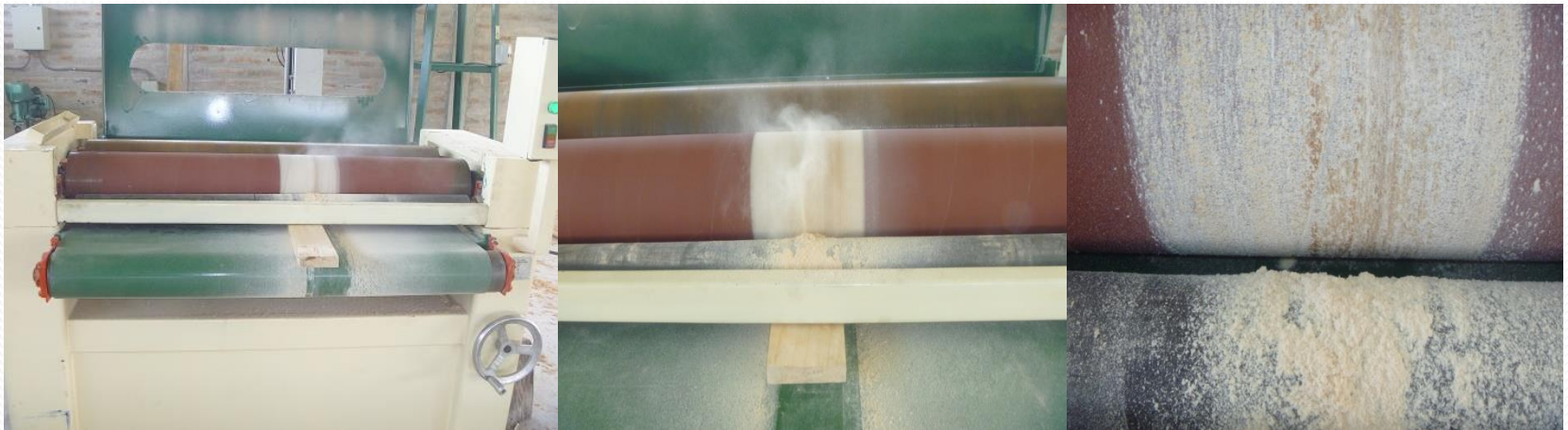
## Dimensiones de Probetas

En ensayo se utilizaron probetas con las siguientes dimensiones: 100 cm de longitud, 10 cm de ancho y 3 cm de espesor



## Procedimiento

Se realizó dos pasadas con la lija en cada una de las probetas a favor y en contra del grano con la finalidad de remover 0,5 mm aproximadamente. Después del lijado inmediatamente se determinó la temperatura de la lija mediante un termómetro para saber el grado de fricción. También 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.



## c) Moldurado

### Descripción de Maquinaria

- MOLDURERA modelo GA-250-5C, con 5 motores de 5HP de 3.450 r.p.m., a 220v, 60hz, la velocidad de corte es de 6.000 r.p.m., las calibraciones tanto verticales como horizontales son por manivela y acople rápido, el sistema de avance de la madera se obtiene por un motor-variador-reductor de 3 HP trifásico de 1.750 r.p.m., a 220v, 60hz, con regulador manual y rango desde 8 hasta 24 mts/min., sistema de cadenas sincronizada para todos los rodillos de arrastre, moto-reductor de ½ HP de 60 r.p.m., para el sistema de calibración del espesor de la madera, centralilla metálica para el sistema eléctrico con contractores térmicos y botoneras más luces de señalización y paro de seguridad.



## • Dimensiones de Probetas

En este ensayo se utilizó probetas con las siguientes dimensiones: 100 cm de longitud, 9 cm de ancho y 2,5 cm de espesor.



## Procedimiento del Ensayo

Se hizo pasadas en los cantos de la probeta para obtener resultados a favor y en contra del grano. Estas pasadas permitieron obtener el tiempo de alimentación para lograr un ancho de marca de cuchilla de 1 mm.



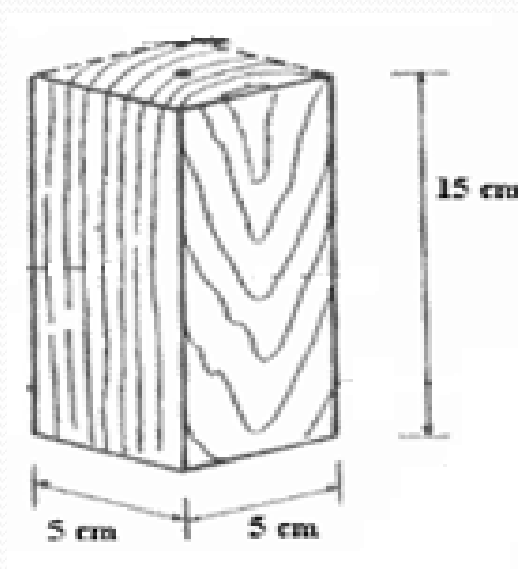
## d) Torneado

### **Descripción de la Maquinaria y Equipos**

Torno manual marca INVICTA de punta móvil, motor de 2H.P, 1720 rpm velocidad variable con correa y poleas, distancia entre puntas 1,30m (capacidad para tornear) volteo de 40cm de diámetro, soporte con guía escalonada para ángulos de 0 grados, 15 grados y 40 grados dos gubias, una cóncava y otra convexa

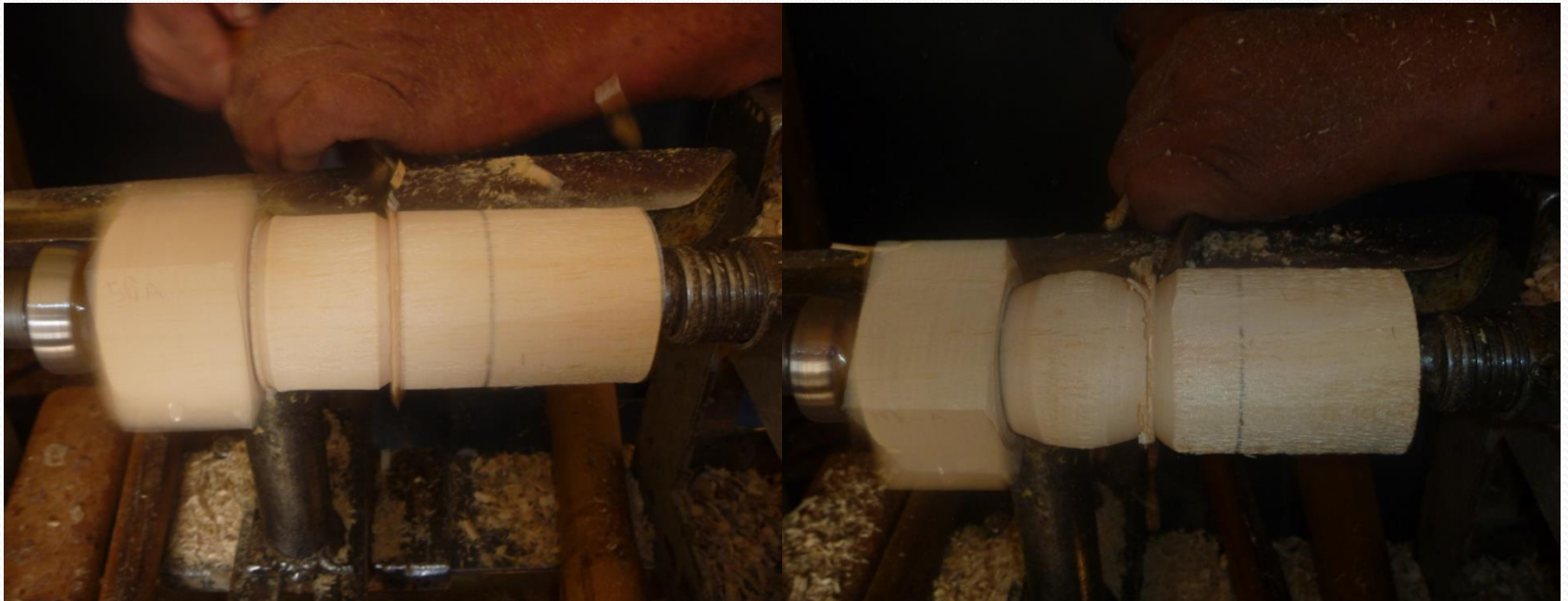
## Dimensiones de Probetas

Para este ensayo se utilizaron seis probetas por árbol (30 probetas en total), con las siguientes dimensiones de 5 x 5 cm de lado y 15 cm de longitud.



## Procedimiento del ensayo

Se realizó el ensayo en la misma probeta con los diferentes ángulos de corte tales como:  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  y  $40^\circ$ .



## e) Taladrado

Se utilizó nueve probetas por árbol, debidamente orientadas: 3 tangenciales, 3 oblicuas y 3 radiales, de 100 cm de longitud, 9 cm de ancho y 2.5 cm de espesor.

Los puntos a taladrarse se señalaron con la ayuda de una plantilla, 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.



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## RESULTADOS PROPIEDADES FÍSICAS

### a) Contenido de Humedad

<b>Nº DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO C.H / ARBOL (%)</b>	<b>GRUPOS</b>
6	75,965	A
4	74,772	A B
3	71,005	B C
5	69,549	B C
1	67,891	C
7	67,851	C
<b>PROMEDIO</b>	<b>71,172</b>	

## b) Densidad

### Densidad en estado verde

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>GRUPOS</b>
6	0,580	A
7	0,564	A B
5	0,559	B
1	0,540	C
4	0,536	C
3	0,529	C
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,551</b>	



## Densidad en estado seca al aire (DSA)

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO/ ARBOL (gr/cm <sup>3</sup> )	GRUPOS
7	0,378	A
5	0,370	A B
6	0,367	A B
1	0,363	B
3	0,347	C
4	0,344	C
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,362</b>	

Según la tabla de calificación de Hoheisel la densidad seca al aire de *Pinus patula* es muy baja, puesto que el promedio total es de 0,362gr/cm<sup>3</sup>, encontrándose dentro de los límites de 0,10gr/cm<sup>3</sup> a 0,45gr/cm<sup>3</sup>.

## Densidad Básica

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO/ ARBOL (gr/cm <sup>3</sup> )	GRUPOS		
7	0,337	A		
5	0,330	A	B	
6	0,330	A	B	
1	0,322		B	
3	0,309			C
4	0,307			C
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,323</b>			

Según Hoheisel la densidad básica de *Pinus patula* es **muy baja**, puesto que el promedio total es de 0,323gr/cm<sup>3</sup>, encontrándose bajo el límite < 0,35 gr/cm<sup>3</sup>.

## Densidad en estado Anhidro

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>GRUPOS</b>
7	0,362	A
5	0,356	A
6	0,355	A
1	0,347	A
3	0,332	B
4	0,329	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,347</b>	

## c) Contracción

### Contracción tangencial normal

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (%)</b>	<b>GRUPOS</b>
5	3,294	A
1	3,276	A B
3	3,187	A B
6	3,095	B
7	3,079	B
4	3,024	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,159</b>	

## Contracción radial normal

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (%)</b>	<b>GRUPOS</b>
1	1,881	A
3	1,780	A B
5	1,776	A B
4	1,772	A B
6	1,745	A B
7	1,711	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,778</b>	

## Contracción longitudinal normal (Crn)

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (%)</b>	<b>GRUPOS</b>
5	0,065	A
3	0,061	A
4	0,058	A
6	0,058	A
1	0,056	A
7	0,055	A
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,059</b>	

## Contracción volumétrica normal (CVN)

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (%)</b>	<b>GRUPOS</b>
1	5,096	A
5	5,010	A
3	4,910	A B
6	4,786	B
4	4,742	B
7	4,737	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,880</b>	

## Contracción tangencial total

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (%)</b>	<b>GRUPO</b>
5	4,414	A
1	4,368	A
3	4,304	A
6	4,208	A
7	4,157	A
4	4,144	A
<b>PROMEDIO</b>	<b>4,266</b>	



### Contracción radial total

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (%)</b>	<b>GRUPO</b>
1	2,663	A
5	2,643	A
6	2,610	A
3	2,576	A
4	2,562	A
7	2,545	A
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,600</b>	

## Contracción longitudinal total

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO/ ARBOL (%)</b>	<b>GRUPO</b>
5	0,231	A
7	0,226	A
4	0,216	A
3	0,214	A
1	0,208	A
6	0,195	A
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,215</b>	

## Contracción volumétrica total

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO/ ARBOL (%)	GRUPOS
5	6,940	A
1	6,916	A
3	6,769	A
6	6,708	A B
4	6,600	A B
7	6,597	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>6,755</b>	

Según Hoheisel la contracción volumétrica total de *Pinus patula* es **muy baja**, puesto que el promedio total es de 6,755 %, encontrándose bajo el límite < 7,50 %.

## Relación Tangencial / Radial

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO/ ARBOL (%)	GRUPOS
3	1,686	A
1	1,684	A
5	1,680	A
6	1,659	A
7	1,636	A
4	1,630	A
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,663</b>	

Según la tabla de calificación de Hoheisel este promedio corresponde a una relación T/R **Baja**, por encontrarse dentro de los límites  $<1,7$ .

## RESULTADOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS (Madera Seca al Aire)

### a) Flexión Estática

Esfuerzo límite proporcional (E.F.L.P)

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO/ ARBOL (kgf/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
7	236,69	A
1	232,65	A B
4	221,02	B
5	220,15	B
6	218,31	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>225,77</b>	

Según la tabla de calificación de Hoheisel, este promedio (225,77 kg/cm<sup>2</sup>) corresponde a Muy Bajo por encontrarse dentro de los límites  $< 250 \text{ Kg/cm}^2$ .

## Módulo de ruptura (M.O.R)

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO / ÁRBOL (kgf/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
7	417,91	A
4	416,34	A B
1	408,96	A B
5	406,12	A B
6	394,19	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>408,70</b>	

El resultado promedio (408,70kg/cm<sup>2</sup>) corresponde a la calificación de **Bajo**, y se encuentra dentro de los límites de calificación 401 Kg/cm<sup>2</sup> – 900 kg/cm<sup>2</sup>

## Módulo de elasticidad (M.O.E)

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO / ÁRBOL M.O.E * 10 <sup>3</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
7	51,242	A
4	48,364	A B
1	47,584	B
5	45,989	B C
6	43,394	C
<b>PROMEDIO</b>	<b>47,314</b>	

Los valores promedios correspondientes según la tabla de calificación de Hoheisel se encuentra dentro de los límites (<70000 kg/cm<sup>2</sup>), y según esta calificación el MOE es **Muy Bajo**.

## b) Compresión Paralela a la Fibra

Esfuerzo límite proporcional (E.F.L.P)

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO / ÁRBOL (kgf/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
1	135,20	A
6	133,54	A
4	131,50	A
5	130,83	A
7	121,88	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>130,59</b>	

Según la tabla de calificación de Hoheisel los valores promedios se encuentra dentro de los límites (<200 kg/cm<sup>2</sup>), y de acuerdo a esta calificación el E.F.L.P. es **Muy Bajo**.



## Módulo de ruptura (M.O.R)

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO / ÁRBOL (kgf/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
1	215,66	A
5	213,71	A
6	209,97	A B
4	206,07	B
7	195,63	C
<b>PROMEDIO</b>	<b>208,20</b>	

Según la tabla de calificación de Hoheisel se encuentra dentro de los límites (<300 kg/cm<sup>2</sup>), y por lo tanto el M.O.R tiene una calificación de **Muy Bajo**.

## Módulo de elasticidad (M.O.E)

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO / ÁRBOL M.O.E * 10 <sup>3</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
5	144,07	A
4	131,77	A
6	130,57	A B
1	129,91	A B
7	116,65	B
<b>PROMEDIO</b>	<b>130,59</b>	

Según la tabla de calificación de Hoheisel los resultados promedios corresponde a un MOE **Muy bajo**, por encontrarse dentro de los límites (<150kg/cm<sup>2</sup>).

## c) Compresión Perpendicular al Grano

### Esfuerzo límite proporcional (E.L.P)

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO / ÁRBOL (kgf/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
5	42,35	A
7	41,17	A
1	40,24	A
6	40,12	A
4	39,46	A
<b>PROMEDIO</b>	<b>40,67</b>	

Según la tabla de calificación de Hoheisel, los resultados promedios del presente ensayo corresponde a un E.L.P **Bajo**, por encontrarse dentro de los límites 36kg/cm<sup>2</sup>- 75 kg/cm<sup>2</sup>

## d) Dureza (Janka)

### Dureza en la cara radial

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO / ÁRBOL (kgf/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
7	167,58	A
5	161,50	A B
1	157,04	A B
4	143,67	B C
6	137,50	C
<b>PROMEDIO</b>	<b>153,46</b>	

Los resultados promedios del ensayo de dureza en la cara radial, según la tabla de calificación de Hoheisel se encuentra dentro de los límites (<200 kg/cm<sup>2</sup>), y por tanto la Dureza tiene una calificación de **Muy Bajo**.

## Dureza en la cara tangencial

N° DE ÁRBOL	PROMEDIO / ÁRBOL (kg/cm <sup>2</sup> )	GRUPOS
1	162,29	A
7	161,83	A
5	158,08	A B
6	148,13	B
4	139,04	C
<b>PROMEDIO</b>	<b>153,88</b>	

Además se obtuvo un promedio de 153,88 kg/cm<sup>2</sup> y según a la tabla de calificación de Hoheisel corresponde a una dureza en la cara tangencial **Muy Baja**, al encontrarse dentro de los límites (<200 kg/cm<sup>2</sup>).

## Dureza en la cara axial

<b>N° DE ÁRBOL</b>	<b>PROMEDIO / ÁRBOL (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>GRUPO</b>
4	234,33	A
6	226,25	A
5	221,71	A
1	221,29	A
7	216,88	A
<b>PROMEDIO</b>	<b>224,09</b>	

Según la tabla de calificación de Hoheisel, los resultados promedios del ensayo de dureza en la cara axial corresponde a una calificación Muy Bajo, por encontrarse dentro de los límites ( $< 250 \text{ kg/cm}^2$ ).

## RESULTADOS DE TRABAJABILIDAD (Madera seca al aire)

Rangos de calificación para ensayos de trabajabilidad

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>Rangos</b>
Excelente (1)	0,10 – 1,00
Bueno (2)	1,10 – 2,00
Regular (3)	2,10 – 3,00
Malo (4)	3,10 – 4,00
Muy Malo(5)	4,10 – 5,00

## a) Cepillado

Orientación	A FAVOR DEL GRANO									
	Grano arrancado						Grano levantado		Grano veloso	
	Grado 1		Grado 2		Grado 3		Grado 1		Grado 1	
	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio afectación
RADIAL	15	1,21 (B)	7	0,63 (E)	0	0,00	15	0,94 (E)	15	0,73 (E)
TANGENCIAL	15	0,98 (E)	11	0,41 (E)	3	0,08 (E)	15	1,15 (B)	15	1,01 (E)
OBLICUA	15	1,18 (B)	10	0,57 (E)	1	0,23 (E)	15	1,02 (E)	15	0,54 (E)

El más frecuente (en todas las probetas) el grado 1 con promedios que oscilan 0.98 y 1,21 con calificaciones de Excelente (E) y Bueno (B).



Orientación	EN CONTRA DEL GRANO									
	Grano arrancado						Grano levantado		Grano veloso	
	Grado 1		Grado 2		Grado 3		Grado 1		Grado 1	
	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación
RADIAL	15	1,56 (B)	9	1,02 (E)	3	0,28 (E)	15	0,72 (E)	15	1,05 (B)
TANGENCIAL	15	1,47 (B)	10	0,66 (E)	4	0,25 (E)	15	0,89 (E)	15	0,78 (E)
OBLICUA	15	1,59 (B)	11	0,88 (E)	6	0,44 (E)	15	1,82 (B)	15	1,03 (E)

Grano arrancado: El más frecuente (en todas las probetas) el grado 1 con promedios que oscilan 1,47 y 1,59 con calificación de Bueno (B).

## b) Lijado

### Lija N° 60

Orientación	A FAVOR DEL GRANO							
	Grano levantado				Grano vellosos			
	Grado 1		Grado 2		Grado 1		Grado 2	
	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación
RADIAL	15	2,01 (B)	5	0,35 (E)	15	1,01 (E)	5	0,21 (E)
TANGENCIAL	15	2,19 (R)	8	0,15 (E)	15	1,79 (E)	4	0,04 (E)
OBLICUA	15	2,18 (R)	7	0,36 (E)	15	1,06 (E)	1	0,08 (E)

<b>Orientación</b>	<b>EN CONTRA DEL GRANO</b>							
	<b>Grano levantado</b>				<b>Grano veloso</b>			
	<b>Grado 1</b>		<b>Grado 2</b>		<b>Grado 1</b>		<b>Grado 2</b>	
	<b>Probetas Afectadas</b>	<b>Porcentaje Promedio Afectación</b>	<b>Probetas Afectadas</b>	<b>Porcentaje Promedio Afectación</b>	<b>Probetas Afectadas</b>	<b>Porcentaje Promedio Afectación</b>	<b>Probetas Afectadas</b>	<b>Porcentaje Promedio Afectación</b>
RADIAL	15	2,41 (R)	5	0,08 (E)	15	2,05 (B)	2	0,07 (E)
TANGENCIAL	15	2,24 (R)	8	0,31 (E)	15	1,87 (B)	4	0,37 (E)
OBLICUA	15	2,25 (R)	7	0,15 (E)	15	1,07 (B)	1	0,13 (E)

# Lija N° 100

Orientación	A FAVOR DEL GRANO				EN CONTRA DEL GRANO			
	Grano levantado		Grano veloso		Grano levantado		Grano veloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 1		Grado 1	
	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectada	Porcentaje Promedio Afectación
RADIAL	15	1,52 (B)	15	1,02 (E)	15	2,12 (R)	15	1,03 (E)
TANGENCIAL	15	0,90 (E)	15	0,33 (E)	15	1,21 (B)	15	0,72 (E)
OBLICUA	15	0,75 (E)	15	0,48 (E)	15	1,48 (B)	15	0,43 (E)

## c) Moldurado

Orientación	A FAVOR DEL GRANO							
	Grano levantado				Grano veloso			
	Grado 1		Grado 2		Grado 1		Grado 2	
	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación
RADIAL	15	1,62 (B)	12	2,37 (R)	15	1,10 (B)	1	0,67 (E)
TANGENCIAL	15	1,95 (B)	13	2,35 (R)	15	1,02 (E)	3	1,15 (B)
OBLICUA	15	2,06 (B)	9	0,99 (E)	15	1,09 (E)		

Orientación	EN CONTRA DEL GRANO							
	Grano levantado				Grano veloso			
	Grado 1		Grado 2		Grado 1		Grado 2	
	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación
RADIAL	15	1,67 (B)	12	2,27 (R)	15	1,47 (B)	2	1,08 (E)
TANGENCIAL	15	2,09 (B)	8	1,96 (B)	15	1,00 (E)		
OBLICUA	15	2,27 (R)	9	1,72 (B)	15	1,24 (B)		

## d) Torneado

Ángulos de Corte	CORTE PARALELO AL GRANO					
	Grano Arrancado		Grano Levantado		Grano Velloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 1	
	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación
Ángulo de Corte 0°	30	1,21 (B)	30	1,23 (B)	30	0,99 (E)
Ángulo de Corte 15°	25	0,85 (E)	30	1,11 (B)	30	0,99 (E)
Ángulo de Corte 40°	30	1,06 (E)	30	1,24 (B)	30	1,16 (E)

## e) Taladrado

Orientación	DEFECTOS					
	Grano Arrancado		Grano levantado		Grano velloso	
	Grado 1		Grado 1		Grado 1	
	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación	Probetas Afectadas	Porcentaje Promedio Afectación
RADIAL	15	1,21 (B)	14	1,09 (E)	11	0,66 (E)
TANGENCIAL	15	1,48 (B)	15	1,40 (B)	12	0,90 (E)
OBLICUA	15	1,36 (B)	15	1,27 (B)	11	0,81 (E)



## Usos potenciales

Ebanistería, molduras, decoraciones de interiores, lambrin, juguetes, artesanías (tallados), esculturas, postes para transmisión y pilotes, chapas y contrachapados, cajas y embalajes, encofrados, teleras, estibas, pisos (duelas), muebles, artículos torneados, paneles y entrepaños, marcos para cuadros, puertas y ventanas, cajas corrientes, pulpa

Medicinal; los brotes de las hojas preparadas en jarabe con azúcar alivian el catarro y las fricciones con la resina curan el reumatismo.

# DISCUSIÓN

<b>Propiedades</b>	<i>Pinus patula</i> (12 años) (Ecuador)	<i>Pinus patula</i> (>20 años) (Colombia)	<i>Pinus radiata</i> (>20 años) (Ecuador)	<i>Pinus ayacahuite</i> (>20 años) (Honduras)
<b>FISÍCAS</b>				
<b>Densidad</b>				
Densidad Básica (gr./cm <sup>3</sup> )	0,323 MB	0,43 B	0,39B	0,37B
Densidad seca al aire (gr./cm <sup>3</sup> )	0,362 MB	0,53 B	0,48B	
<b>Contracción</b>				
Contracción volumétrica total (%)	6,76 MB	11,88 M	11,90 M	8,85 B
Relación tangencial /radial (%)	1,66 B	1,77 B	1,70 B	2,91 M
<b>MECÁNICAS</b>				
<b>Flexión Estática</b>				
E.F.L.P (kgf/cm <sup>2</sup> )	225,77 MB	467,00 B	293 B	434 B
M.O.R (kgf/cm <sup>2</sup> )	408,70 B	759,00 B	664 B	614 B
M.O.E (kgf/cm <sup>2</sup> ) * 10 <sup>3</sup>	47,314 MB	99,66 B	76 B	110 B
<b>Compresión Paralela</b>				
E.F.L.P (kgf/cm <sup>2</sup> )	130,59 MB	255,00 B	-----	277 B
M.O.R (kgf/cm <sup>2</sup> )	208,20 MB	372,00 B	290 MB	374 B
M.O.E (kgf/cm <sup>2</sup> ) * 10 <sup>3</sup>	130,59	-----	-----	-----
<b>Compresión Perpendicular</b>				
E.F.L.P (kgf/cm <sup>2</sup> )	40,67 B	51,00 B	70 B	45 B
<b>Dureza</b>				
Cara Radial (Kgf)	153,46 MB	327,00 B 350,00 B	264 B	264 B
Cara Tangencial (Kgf)	153,88 MB			
Extremos (Kgf)	224,09 MB	339,00 B	328 B	280 B

## a) Propiedades Físicas

La densidad específica obtenida en esta investigación de **0,32** gr/cm<sup>3</sup>, es menor que la obtenida en Colombia (**0,43** gr/cm<sup>3</sup> ) debido a que en este estudio se ha trabajado con madera joven, de apenas 12 años en la cual los tejidos no se hallan completamente lignificados o endurecidos, mientras que en Colombia se lo ha hecho con madera madura (mayor a 20 años), cuyo grado de lignificación es mayor.

## **b) Propiedades Mecánicas**

En lo que respecta a propiedades mecánicas como: flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y dureza, se detecto diferencias destacables en las variables evaluadas con valores menores, con respecto a la información que se obtuvieron en Colombia en la misma especie pero con madera madura se tienen valores mayores, esta diferencia se da en virtud en que la presente investigación se realizo con madera joven cuya estructura anatómica se encuentran en proceso de crecimiento.

## c) Propiedades de trabajabilidad

En cuanto a los resultados de trabajabilidad, la madera joven de *Pinus patula* presenta mayor cantidad de nudos que la madura, esto hace que los defectos sean más frecuentes en las distintas caras.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

### Propiedades Físico – Mecánicas

La densidad específica de una madera joven es menor ( $0,32 \text{ gr/cm}^3$ ) que la de madera adulta ( $0,43 \text{ gr/cm}^3$ ).

La contracción volumétrica total fue de 6,76 %, siendo el plano tangencial el que más contracción se observó con 4,27%, con el 60,89% más contráctil en relación al plano radial.

La relación de anisotropía (T/R) en madera joven fue de 1,66 clasificándose como **Bajo**, indicando estabilidad dimensional en la madera .

La propiedad de dureza en la presente investigación se obtuvieron valores menores a los realizados en la misma especie en Colombia con madera madura cuyos resultados son mayores. Con esto se concluye que la madera joven de esta especie es más suave.

El ensayo de flexión estática mostró un MOR en estado seco ( $\leq 12\%$  CH) de  $408,70 \text{ kgf/cm}^2$ , menor a los valores obtenidos en la misma especie en Colombia con madera madura cuyos resultados fueron superiores ( $759 \text{ kgf/cm}^2$ ).

En el ensayo de compresión paralela, los resultados obtenidos del MOR en la presente investigación fueron de  $208,20 \text{ kgf/cm}^2$ , calificándose como **Muy Bajo** y con madera madura se obtuvieron valores superiores con calificación de **Bajo**.

## Trabajabilidad

El factor cepillado a favor y en contra, la presencia de nudos, la edad y los planos de la madera, influyeron directamente en la generación de estos defectos. La severidad de los defectos de cepillado fueron en general bajos ya que pueden ser eliminados con facilidad con el proceso de lijado.

Los defectos de moldurado de la madera que más superficie afectada mostraron fueron el grano levantado, seguido por el grano vellosa, el mejor comportamiento lo mostró el plano radial al tener la menor superficie afectada por defectos de moldurado.

El ensayo de lija N° 60, para tener un desgaste requerido por las Normas ASTM 1666 - 87 (2004) se necesita tres pasadas en la lija de banda. Los defectos del lijado que más superficie afectada mostraron fueron el grano levantado, seguido por el grano vellosa.



Para el ensayo de lijado (lija N° 100) se tiene calificaciones que van de bueno a Excelente por lo que esta madera si posee condiciones de recibir productos de acabados como Barniz y laca.

Los defectos del ensayo del torneado que más superficie afectada mostraron fueron el grano levantado seguido por el arrancado, y finalmente el grano vellosos. El mejor ángulo de corte fue el de 15 grados, con 0 y 40 grados de corte el acabado de torneado desmejora.

En general, la clasificación del taladrado fue de excelente en la entrada y de buena a excelente en la salida de la broca.

## Recomendaciones

Promover y poner a disposición los resultados obtenidos en el presente estudio, con la finalidad de que conozcan las potencialidades de esta especie y de esta manera logren mejores oportunidades de competitividad en el mercado de los productos forestales maderables.

Hacer ensayos con material maduro (arboles con DAP igual o mayor a 40 cm, según la Norma.)

Debido a que estos ensayos son costosos, se sugiere que la Universidad Técnica del Norte, repare la prensa Instron, donada por el MAE con la finalidad de facilitar futuras tesis sobre propiedades mecánicas.

**GRACIAS**

