

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**“ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE *Pinus maximinoi* DE DIECINUEVE AÑOS EN OXAPAMPA, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

**MARÍA ELIZABETH CUNO COMÚN**

**LIMA – PERÚ**

**2024**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

## Tesis Maria Cuno

---

### INFORME DE ORIGINALIDAD

---



---

### ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

8%

★ 1library.co

Fuente de Internet

---

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 30 words

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**“ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE *Pinus maximinoi* DE DIECINUEVE AÑOS EN OXAPAMPA, PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL  
MARÍA ELIZABETH CUNO COMÚN**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

---

*Ing. Miguel Ángel Meléndez Cárdenas, Dr.  
Presidente*

---

*Ing. Florencio Teodoro Trujillo Cuellar, Dr.  
Miembro*

---

*Ing. Martín Araujo Flores  
Miembro*

---

*Ing. Rolando Antonio Montenegro Muro, Mg. Sc.  
Asesor*

---

*Ing. Manuel Chavesta Custodio, Dr.  
Co Asesor*

## DEDICATORIA

*A mi familia, la unidad más constante en mi vida que quiero proteger y atesorar por siempre:*

*Mi madre Elizabeth por ser una fuente permanente de amor sincero, apoyo y cariño incondicional en los momentos más difíciles y en los más felices.*

*Mi padre Rodrigo por el respaldo y apoyo en mis decisiones comprendido siempre en el amor proporcionado a mi persona desde el momento uno.*

*Mi hermano Zaid, por las palabras de aliento y abrazos sinceros en los momentos que más fueron necesarios.*

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento:

*A Dios, quien ha sido mi guía en este recorrido académico, infundiéndome fuerza y perseverancia para superar los desafíos.*

*A mi asesor, Mg. Sc. Rolando Montenegro Muro, por su invaluable apoyo en el análisis estadístico, en la redacción de esta tesis y por motivarme a dar lo mejor de mí en cada etapa.*

*Al Dr. Manuel Chavesta Custodio, mi coasesor, por sus palabras directas y sinceras en la corrección de esta tesis como en toda mi vida académica. Así como por su apoyo constante en la presentación y sustentación del trabajo.*

*Al profesor Mg. Sc. Aldo Cárdenas Oscanoa, cuyas palabras de apoyo y motivación fueron memorables para culminar este proyecto, a pesar de la distancia que nos separa.*

*Al Mg. Sc. Ing. Ignacio Larco, por brindarme la oportunidad y la confianza de formar parte de la investigación de la madera en su plantación, por su acompañamiento técnico durante la fase de campo y las facilidades que nos proporcionó en todo momento.*

*Al Sr. David Huamán y el Sr. Vicente García, por su tiempo y apoyo en la investigación.*

*A mi familia, por todo el apoyo en mi etapa universitaria y por las palabras de motivación cuando el cansancio y las pocas energías se hacían presentes.*

*Al Ing. Victor Rosales por confiar en mí para llevar a cabo este proyecto, desde la concepción de la idea hasta la sustentación final. Su apoyo, cariño y paciencia fueron fundamentales para obtener un resultado del cual ambos podemos sentirnos orgullosos. Demostrando que, con una idea audaz y una planificación meticulosa, todo es posible.*

*A mis queridos amigos Joshe, Kireyna, Deysi, Gimena, Perla, Marlon, Kaori, Aldair y Oscar; cuyo apoyo directo o indirecto ha sido mi bálsamo de consuelo y motivación en tiempos difíciles. Créanme, el orden en esta mención no cambia el lugar que ocupan en mi corazón.*

*A los miembros del Círculo de Investigación Básica y Aplicada de Especies Forestales para su Desarrollo Tecnológico (CIADET) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo en el viaje de Oxapampa como en los laboratorios en Lima.*

*A todas las personas que me acompañaron en este trayecto.*

**¡Gracias a todos!**

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>0</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Clasificación taxonómica .....	3
2.1.2 Descripción botánica .....	3
2.1.3 Distribución y hábitat .....	4
2.1.4 Descripción de la madera .....	4
2.1.5 Importancia y usos .....	5
<b>2.2 ANATOMÍA DE LA MADERA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA .....</b>	<b>7</b>
2.3.1 Contenido de humedad .....	8
2.3.2 Densidad básica .....	8
2.3.3 Contracción.....	8
<b>2.4 VARIABILIDAD DE LA MADERA.....</b>	<b>9</b>
<b>2.5 PLANTACIONES FORESTALES.....</b>	<b>10</b>
<b>2.6 ANTECEDENTES .....</b>	<b>11</b>
2.6.1 Anatomía de la madera.....	11
2.6.2 Propiedades físicas .....	12
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 MATERIALES Y EQUIPOS .....</b>	<b>4</b>
3.2.1 Especie .....	4
3.2.2 Materiales y equipos.....	14

<b>3.3</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>16</b>
3.3.1	Colección y selección de muestras .....	16
3.3.2	Procesamiento y preparación de probetas .....	17
3.3.3	Caracterización anatómica de la estructura de la madera .....	18
3.3.4	Determinación de propiedades físicas .....	19
3.3.5	Análisis estadístico.....	20
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA</b> .....	<b>23</b>
4.1.1	Características generales .....	23
4.1.2	Características macroscópicas .....	23
4.1.3	Características microscópicas .....	24
4.1.4	Variación de los elementos leñosos .....	29
<b>4.2</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b> .....	<b>32</b>
4.2.1	Variación longitudinal de las propiedades físicas.....	32
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>23</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>39</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>39</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>38</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Página

<b>Tabla 1: Características anatómicas de <i>Pinus maximinoi</i> según algunos autores..</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2: Valores de densidad básica de <i>Pinus maximinoi</i> según algunos autores..</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 3: Características dasométricas de los árboles de <i>Pinus maximinoi</i> seleccionados para el estudio .....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 4: Normas técnicas para ensayos físicos .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 5: Clasificación de propiedades físicas .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 6: Valores medios de dimensiones de elementos anatómicos del <i>Pinus maximinoi</i> para 19 años en dirección axial y radial .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 7: Valores medios de propiedades físicas de <i>Pinus maximinoi</i> en dirección axial .....</b>	<b>32</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1: Mapa de localización y ubicación de las especies <i>Pinus maximinoi</i>.....</b>	14
<b>Figura 2: Obtención y preparación de muestras según ensayo.....</b>	18
<b>Figura 3: Rodajas de la madera <i>Pinus maximinoi</i> en condición verde.....</b>	23
<b>Figura 4: Madera en corte tangencial y radial .....</b>	23
<b>Figura 5: Sección transversal de <i>Pinus maximinoi</i> con distinción marcada de anillo de crecimiento y presencia de canales resiníferos axiales en el límite del anillo.....</b>	26
<b>Figura 6: Sección radial de <i>Pinus maximinoi</i>.....</b>	26
<b>Figura 7: Traqueidas radiales con punteaduras areoladas y células radiales de <i>Pinus maximinoi</i>.....</b>	27
<b>Figura 8: Traqueidas dentadas de <i>Pinus maximinoi</i>.....</b>	27
<b>Figura 9: Radios uniseriados y fusiformes en sección tangencial de <i>Pinus maximinoi</i>.....</b>	28
<b>Figura 10: Traqueida longitudinal de <i>Pinus maximinoi</i> .....</b>	28
<b>Figura 11: Variación de elementos anatómicos .....</b>	30
<b>Figura 12: Variación de propiedades físicas a nivel axial.....</b>	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

Página

<b>Anexo 1. Valores medios de propiedades físicas de Pinus maximinoi por individuo</b>	<b>38</b>
<b>Anexo 2. Valores medios de propiedades físicas de Pinus maximinoi en dirección axial y por árbol .....</b>	<b>38</b>
<b>Anexo 3. Fotografías de la fase de campo del estudio de investigación .....</b>	<b>52</b>
<b>Anexo 4. Fotografías de la fase de gabinete del estudio de investigación – Caracterización anatómica .....</b>	<b>53</b>
<b>Anexo 5. Fotografías de la fase de gabinete del estudio de investigación – Propiedades físicas.....</b>	<b>54</b>

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo la caracterización anatómica y la evaluación de las propiedades físicas de la especie *Pinus maximinoi* de 19 años de edad de Oxapampa, Perú. La madera es de color amarillo, grano recto y textura gruesa. Presenta traqueidas de longitud mediana (3604  $\mu\text{m}$ ); radios uniseriados y ocasionalmente fusiformes. Los radios poseen traqueidas radiales dentadas con puntuaciones tipo pinoide. Axialmente, la longitud de traqueidas aumenta desde la base hasta el ápice mientras que el diámetro total y del lumen, disminuyen. Radialmente, aumentan desde la médula hacia la corteza. La densidad básica promedio es de 0,41  $\text{g/cm}^3$ , clasificada como madera de baja densidad. En tanto, las contracciones (tangencial: 6,52%; radial: 3,28%) y relación T/R (2,08) poseen valores medios. Se encontró que la densidad básica, las contracciones volumétricas, tangenciales y radiales son significativamente mayores en la base de los árboles y menores en la zona apical; contrario a la variable T/R, la cual disminuye en el sentido del ápice a la base.

**Palabras clave:** *Pinus maximinoi*, anatomía de la madera, propiedades físicas.

## ABSTRACT

The objective of the present study was the anatomical characterization and evaluation of the physical properties of the 19-year-old *Pinus maximinoi* species from Oxapampa, Peru. The wood is yellow in color, straight grained and thick in texture. It has tracheids of medium length (3604  $\mu\text{m}$ ); rays uniseriate and occasionally fusiform. The rays have toothed radial tracheids with pinoid-like points. Axially, the length of tracheids increases from the base to the apex while the total and lumen diameter decrease. Radially, they increase from the medulla toward the cortex. The average basic density is 0,41  $\text{g}/\text{cm}^3$ , classified as low density wood. Meanwhile, the contractions (tangential: 6,52%; radial: 3,28%) and T/R ratio (2,08) have average values. It was found that the basic density, volumetric, tangential and radial contractions are significantly higher at the base of the trees and lower in the apical zone; contrary to the T/R variable, which decreases in the direction from the apex to the base.

**Key words:** *Pinus maximinoi*, wood anatomy, physical properties.

## I. INTRODUCCIÓN

El género *Pinus* se erige como uno de los géneros arbóreos más destacados a nivel mundial, ya que domina vastos bosques naturales en todo el hemisferio norte. Además, se ha propagado significativamente fuera de su área de distribución natural, especialmente en el hemisferio sur (Richardson et al., 2007). Su relevancia se extiende a ámbitos ecológicos, económicos y sociales, sobresaliendo por su alto valor económico (Sánchez, 2008).

En este contexto, Virginia et al. (2011) resalta el potencial económico de la especie *Pinus maximinoi* al destacar su rápido crecimiento y su calidad de madera. Esta se presta a una variedad de usos, incluyendo celulosa, papel, paneles de fibra, madera aserrada, resinas y leña para energía. Coelho (2017), por su parte, indica que es una especie de pino tropical que ha ganado progresiva relevancia en el sector forestal. Esta especie ha suscitado un creciente interés en las plantaciones forestales debido a sus destacadas características silvícolas, químicas y anatómicas, capaces de ofrecer una calidad igual o superior a las especies actualmente utilizadas (Zañao, 2020).

Las plantaciones de *Pinus maximinoi* en Perú se iniciaron hace 19 años mediante la introducción de semillas procedentes de Honduras, con el propósito de evaluar y recopilar datos de su aclimatación y adaptabilidad en Oxapampa. Los resultados fueron alentadores, ya que la especie demostró una notable capacidad para adaptarse a las condiciones climáticas y edáficas. Estos hallazgos indican la necesidad de llevar a cabo una investigación más exhaustiva para validar su idoneidad y promoverla como una opción sólida para plantaciones forestales (I. Larco, comunicación personal, 30 de abril de 2021).

Este estudio propone ampliar el conocimiento científico sobre el *Pinus maximinoi* en plantaciones. El objetivo principal es describir sus características anatómicas a nivel macro y microscópico, determinar sus propiedades físicas y analizar su variabilidad. Así también, explorar las relaciones entre estas características en tres posiciones longitudinales y radiales del árbol. La información generada contribuirá a llenar el vacío de información existente y será base para la evaluación de su aptitud de uso y aplicaciones en el sector forestal.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

#### 2.1.1 Clasificación taxonómica

Según CATIE (2000), la especie *Pinus maximinoi* H. E. More posee la siguiente clasificación taxonómica:

- Reino: Vegetal
- Sub-reino: Embriobionta
- División: Pinophyta
- Sub-división: Pinicae
- Clase: Pinopsida
- Orden: Pinales
- Familia: Pinaceae
- Género: Pinus
- Especie: Pinus maximinoi.

Su sinónimo botánico más común es *Pinus tenuifolia* Benth (Arteaga & Pérez, 2001). También es conocido como "Pino candelillo" en Guatemala, "Pino llorón", "Pino comente" o "Pinabete" en Honduras y "Pino canis" en México (Dvorak & Donahue, 1988, citado en, Klock, 2000).

#### 2.1.2 Descripción botánica

Es una especie forestal que mide 20 a 35 m de altura, ocasionalmente pueden llegar hasta 50 m y posee un rango de diámetro de 40 a 100 cm (Véliz *et al.*, 2007). Posee copa muy densa con ramas en ángulos rectos y horizontalmente verticilados. En etapa juvenil, su corteza permanece delgada y lisa, en etapa madura, se quiebra en grandes placas fisuradas color café rojizas.

Además, presenta un denso follaje colgante de color verde azulado mate o verde grisáceo.

Generalmente se observa con cinco acículas por fascículo, delgadas, de 20 a 28 cm de largo y 0,7 a 0,8 mm de ancho, con márgenes finamente serrados y estomas presentes en la superficie dorsal y ventral. Usualmente posee dos canales resiníferos medios. Sus frutos se encuentran en grupos de tres a cuatros en las ramas, son conos marrón rojizos, ovoides, angulares, de 5 a 10 cm de largo y de 4 a 7 cm de ancho, caen a temprana edad con un péndulo oblicuo que se mantiene unido al cono. Presenta escamas suaves y delicadas; apófisis de 8 a 10 mm de ancho, usualmente planas de 2 a 4 de largo. Sus semillas son pequeñas de color marrón oscuro, de 5 a 7 mm de largo y 5 mm de ancho; posee alas articuladas de color marrón claro amarillentas, de 26 a 20 mm de largo y cerca de 8 mm de ancho, con seis y siete cotiledones (Salazar *et al.*, 2000).

### **2.1.3 Distribución y hábitat**

Esta especie posee una distribución natural que abarca el sureste de México, centro de Guatemala y Honduras, norte de el Salvador hasta el noroeste de Nicaragua. Su rango altitudinal varía de 600 a 2400 msnm, con una precipitación promedio de 1000 a 2400 mm y rango de temperaturas es de 18° a 21°C (Salazar *et al.*, 2000).

Crece en suelos profundos de textura arcillosa con buena capacidad de retención de agua (Dvorak & Donahue, 1988, citado en, Klock, 2000) y en suelos de textura franco a franco – arcilloso con pH entre 4,5 a 7,5 (INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES, 2012) aunque hay estudios donde mencionan que puede establecerse en suelos poco profundos y erosionados. Además, puede sobrevivir en épocas secas prolongadas, pero no bajas temperaturas.

### **2.1.4 Descripción de la madera**

La madera es de color castaño claro, textura fina, grano recto, superficie medianamente lustrosa, olor agradable y sabor no característico. Tiene su peso específico de 0,44 a 0,50 g/cm<sup>3</sup>, ligeramente liviana; es fácil de tratar con preservantes, moderadamente fácil de

trabajar y con buena velocidad de secado, sin presentar defectos (CONAFOR, 2011; Fetzner, 2014).

### **2.1.5 Importancia y usos**

La especie es utilizada en construcciones livianas, muebles, carpintería, puertas, gabinetes, ventanas postes para transmisión eléctrica, pulpa para papel (Salazar *et al.*, 2000), con fines medicinales, madera contrachapada, como insumo en fábricas de papel Kraft (Arteaga & Pérez, 2001) y como leña para combustible (CONAFOR, 2011).

## **2.2 ANATOMÍA DE LA MADERA**

En coníferas, la madera presenta una estructura anatómica uniforme compuesta principalmente por traqueidas longitudinales (JUNAC, 1984). Márquez *et al.* (2022) recalca que las dimensiones de las traqueidas representan una variable de gran relevancia en la utilización de la madera. Las variaciones en aspectos como el espesor de las paredes, el diámetro del lumen y el diámetro total de las traqueidas tienen un impacto directo en la densidad básica, en el cambio dimensional y diversas propiedades mecánicas de la madera.

### **Elementos prosenquimáticos**

#### ***Traqueidas***

Las traqueidas representan aproximadamente el 80 al 90% del volumen total de la madera y cumplen una función crucial en la resistencia y conducción de sustancias (JUNAC, 1984).

- ***Traqueidas longitudinales:*** Son células que se desarrollan mayormente en dirección longitudinal con respecto al eje del árbol. Estas células experimentan dos etapas anuales de crecimiento, diferenciadas por las condiciones ambientales. Durante la madera temprana o de primavera, que se forma en condiciones favorables con abundancia de agua y nutrientes, las traqueidas desarrollan paredes delgadas, produciendo una madera más

ligera y menos densa. En contraste, en la madera tardía o de verano, que se forma en condiciones menos favorables con recursos limitados, las traqueidas desarrollan paredes más gruesas, lo que resulta en madera más oscura, densa y resistente (Díaz et. al, 2019). La diferencia en el grosor de las paredes celulares y el tamaño del lumen celular distingue claramente entre madera de primavera y madera de verano, marcando las fases vegetativas del árbol (Diodato y De Gregorio, 2015). Además, esta distinción de color entre la madera oscura y densa de verano y la madera clara y ligera de primavera facilita la identificación de los anillos de crecimiento (Fank, 2018).

- ***Traqueidas radiales:*** Son células que desempeñan un papel crucial en la conducción transversal de nutrientes a través del tejido leñoso y proporcionan soporte estructural a la planta, comparten la misma naturaleza que las traqueidas longitudinales, pero su orientación es diferente. Presentan puntuaciones areoladas en sus paredes, poseen un tamaño menor y una forma de paralelepípedo, y se asocian a los radios, que son heterogéneos. Normalmente se ubican en los márgenes superior e inferior de los radios y, en menor medida, en su interior. Su presencia es característica de ciertas especies de los géneros *Pinus*. Además, es común que sus paredes internas muestren espesamientos irregulares, como espesamientos dentados o indentaduras (Gimenez et. al, 2005).

## **Elementos parenquimáticos**

### ***Parénquima longitudinal***

Son las únicas células vivas del xilema, específicamente en la albura, y desempeñan un papel fundamental en la retención de sustancias nutritivas, principalmente almidones. El parénquima longitudinal se extiende paralelamente a las traqueidas. Este tipo de parénquima se diferencia fácilmente por su contenido de sustancias nutritivas de tonalidades claras (Diodato y De Gregorio, 2015). Su disposición es importante para la identificación de la especie. Además, las maderas que contienen un mayor porcentaje de tejido parenquimático suelen presentar baja resistencia mecánica y son más propensas al ataque de hongos e insectos (JUNAC, 1984).

## ***Radios***

Son bandas de células parenquimáticas de longitud variable que se expanden horizontalmente a través del xilema en dirección perpendicular a las traqueidas longitudinales. Poseen la función de almacenar y transportar nutrientes de manera transversal a través del tejido. Se caracterizan por tener paredes delgadas, no lignificadas y puntuaciones simples (Gimenez et. al, 2005). Suelen producir grietas a lo largo de ellos durante el secado de la madera (JUNAC, 1984). Es de gran relevancia en la identificación de la madera observar los distintos tipos de puntuaciones que aparecen en la zona de transición entre las células parenquimáticas de los radios y las traqueidas longitudinales, estas se denominan campos de cruzamiento (Gimenez et. al, 2005).

## **2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA**

Las propiedades físicas de la madera se refieren a las características cuantitativas que describen su comportamiento frente a influencias externas, sin que se produzca ninguna alteración en su estructura química (Umerez, 2015). Estas propiedades incluyen la capacidad de absorber y liberar el agua; la estabilidad dimensional; las propiedades térmicas, eléctricas y químicas; y su densidad. Las propiedades físicas son importantes, ya que pueden tener un impacto significativo en el rendimiento y la solidez de la madera utilizada en aplicaciones estructurales (Anchundia, 2021).

Panshin y De Zeeuw (1980) manifiestan que básicamente todas las propiedades físicas de la madera están determinadas por los factores inherentes a su organización estructural. Estos pueden resumirse en cinco enunciados:

- La cantidad de sustancia de la pared celular presente en un volumen dado de madera (relacionado con el peso específico).
- La cantidad de agua presente en la pared celular (relacionado con el contenido de humedad)
- La composición proporcional de los componentes químicos primarios de la pared celular y la cantidad, así como la naturaleza de las sustancias extrañas presentes.

- La disposición y orientación de los materiales de la pared en las células y en los diferentes tejidos (relacionado con la anisotropía de la madera).
- El tipo, tamaño, proporciones y disposición de las células que componen el tejido leñoso (relacionado con la anisotropía de la madera).

### **2.3.1 Contenido de humedad**

La madera es un material higroscópico. La cantidad de agua presente en una pieza de madera se denomina contenido de humedad y este valor en árboles vivos puede variar entre 30 y más de 400 %. Ello depende de la especie, condiciones de crecimiento, condiciones atmosféricas y densidad básica de su madera (Rosales, 2019). El análisis de cómo el agua interactúa con la madera es de suma importancia, ya que impacta en todos los procesos de transformación de este material (Umerez, 2015).

### **2.3.2 Densidad básica**

La densidad básica se refiere a la cantidad de material leñoso presente por unidad de volumen (Figueroa, 2007). Depende de: la proporción de madera temprana y tardía; el tamaño y la cantidad de traqueidas longitudinales o fibras; y el grosor de las paredes de las fibras. En el caso de coníferas, tanto la proporción como el espesor de la madera tardía ejercen una influencia significativa (Coelho, 2017).

Es considerada la propiedad física más importante de la madera debido a su estrecha relación con otras propiedades (León, 2010). Destaca como un parámetro primordial para evaluar la calidad de la madera. Esto la convierte en un indicador esencial al considerar la madera para diversos fines (Gomes, 2009).

### **2.3.3 Contracción**

Las fluctuaciones en el contenido de humedad generan cambios dimensionales en la madera, debido principalmente a la pérdida (en un proceso de contracción) o ganancia (en un proceso de hinchamiento) de agua en la pared celular (JUNAC, 1984). El cambio

dimensional se da por debajo del punto de saturación de fibras (PSF) (Muñoz y Moreno, 2013).

La anisotropía de la madera se traduce en un comportamiento físico y mecánico que varía significativamente en función del plano de corte. Como resultado, los cambios dimensionales no se manifiestan de la misma manera en las direcciones axial, radial y tangencial (Mendoza, 2015).

El cociente de la contracción tangencial y radial, es conocido como el índice de anisotropía o relación T/R. Esta relación está vinculada a la generación de defectos como alabeos. Cuanto mayor sea su valor, mayor será la probabilidad de que se produzcan deformaciones en la pieza de madera debido a los cambios de humedad durante el proceso de secado (Muñoz y Moreno, 2013).

## **2.4 VARIABILIDAD DE LA MADERA**

La madera es un material variable debido a su origen como producto del metabolismo del árbol vivo. Por consiguiente, sus características y propiedades están sujetas a amplias variaciones provocadas por la fisiología de los árboles, los factores externos que afectan su crecimiento, las influencias ambientales y factores genéticos. Además, es importante señalar que estas características de la madera varían al interior y entre árboles en una misma especie (Panshin y De Zeeuw 1980).

El grado de variación presente dentro de un mismo árbol puede ejercer un papel importante en los aspectos relacionados con la utilización de la madera (Sibille, 2006, citado en Díaz et. al, 2019).

Según Panshin y De Zeeuw (1980), este tipo de variación en la densidad de los árboles puede manifestarse en tres patrones principales, los cuales no siguen una estructura uniforme. En primer lugar, la densidad puede disminuir de manera constante desde la base hasta la parte superior del tronco. En segundo lugar, puede disminuir desde la base hasta la mitad de la altura del tronco y luego aumentar hasta alcanzar la copa del árbol. Finalmente,

otra posibilidad es que la densidad varíe de manera desigual desde la base hasta la parte superior del árbol.

Además, es necesario conocer las variaciones que presenta la madera de la médula a la corteza en los elementos anatómicos y también en las propiedades físicas, mecánicas y químicas. A partir de dicha información, es posible definir la mejor forma de procesar la madera con el fin de incrementar el rendimiento del producto y lograr un mejor valor agregado (Stange *et. al*, 2021).

## **2.5 PLANTACIONES FORESTALES**

Las plantaciones forestales han cobrado mayor importancia en las últimas décadas. Se destinan tanto a la producción de madera para fines industriales como a la prestación de servicios, especialmente en la recuperación de tierras degradadas, la lucha contra la desertificación y la captura de carbono (Prado, 2015).

La Evaluación de los recursos forestales mundiales (FAO, 2021) estima la superficie total de bosques plantados a nivel mundial en 294 millones de ha, lo que equivale al 7% del área total de bosques a nivel mundial. Se debe señalar que el área de bosques plantados aumentó a nivel mundial entre 1990 y 2020. En América del Sur, esta tendencia la siguió Chile, Colombia, Perú y Uruguay.

CIFOR (2017) sostiene que la escasa productividad de las plantaciones forestales en Perú se debe a un manejo silvicultural deficiente, la utilización de semillas con baja calidad genética, la limitada implementación de técnicas de mejoramiento de suelos y la falta de criterio en la selección de sitios. Además, destaca la problemática de la tenencia de tierras en el país y la inadecuada asignación de derechos de propiedad, la cual obstaculiza la inversión privada en plantaciones forestales. A pesar de todo, el interés en la implementación de plantaciones forestales en el Perú no ha mermado. Existen proyectos tanto públicos como privados que desean establecer especies nativas como exóticas o introducidas con múltiples objetivos (Montajarás, 2013).

En cuanto a experiencia con Pino en el Perú, según Villar et. al (2014), los primeros intentos de introducir esta especie se dieron en la región Cajamarca en 1976, como parte del Proyecto CICAFOR "Centro de Investigación y Capacitación Forestal". Debido a los resultados positivos se estableció un macizo forestal piloto en La Granja Porcón, donde se plantaron aproximadamente 62,5% de *Pinus patula*, 14,9% de *Pinus muricata*, 8,9% de *Pinus greggi*, 3,7% de *Pinus pseudostrobus*, 2,6% de *Pinus radiata*, 2,8%, entre otros (Carton, 1997, citado en Suárez, 2016).

## 2.6 ANTECEDENTES

### 2.6.1 Anatomía de la madera

**Tabla 1: Características anatómicas de *Pinus maximinoi* según algunos autores**

Características	Autores	
	De Oliveira (2019)	Klock (2000)
	7 años	11 años
<i>Transición entre madera inicial y tardía</i>	gradual	gradual
<b><i>Traqueidas</i></b>		
<i>Forma</i>	Poligonal	Poligonal
<i>Longitud (mm)</i>	3,20	3,17 – 3,27
<i>Diámetro total (µm)</i>	53,88	42,5 - 44,7
<i>Diámetro de lumen (µm)</i>	44,01	27,3 – 33,4
<i>Espesor de pared celular (µm)</i>	4,94	5,7 – 7,6
<b><i>Radios</i></b>		
<i>Altura (µm)</i>	163,40	163,90 – 175,90
<i>Ancho (µm)</i>	21,06	

En la Tabla 1 se observan las características anatómicas de *Pinus maximinoi*. Adicionalmente, ambos autores señalan que la madera es de grano recto y posee textura fina. Presenta punteaduras areoladas dispuestas en hileras uniseriadas. Además, posee radios uniseriados con una frecuencia de 1 a 7 radios por milímetro. Las punteaduras en el campo de cruzamiento son de tipo pinoide. Finalmente, cuenta con canales resiníferos axiales y radiales; y no presenta parénquima axial.

## 2.6.2 Propiedades físicas

En la Tabla 2, se presentan valores de densidad básica de la madera de *Pinus maximinoi*, de diferentes edades y posiciones longitudinales.

**Tabla 2: Valores de densidad básica de *Pinus maximinoi* según algunos autores**

Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Autores	
	De Olivera (2019)	Klock (2000)
	7 años	11 años
<i>Basal</i>	0,41	0,46
<i>Media</i>	0,35	0,39
<i>Apical</i>	0,32	0,37
<b><i>Promedio</i></b>	<b>0,36</b>	<b>0,40</b>

Ambos autores señalan que la densidad básica varía con la altura, presentando valores más altos en la base debido a la mayor proporción de madera tardía en esta zona, y disminuye hacia la parte superior.

Por otra parte, Campos (2015) halló una densidad básica de 0,49 g/cm<sup>3</sup> a los 11 años; y, de 0,68 g/cm<sup>3</sup>, a los 30 años; calificándolas como madera liviana y pesada, respectivamente. Se observa que la densidad es mayor a mayor edad.

Mientras que, Ulian y Da Silva (2021) obtuvieron una densidad básica de 0,39 g/cm<sup>3</sup> con astillas de 14 años, considerándolas como madera liviana.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN**

El estudio anatómico y físico se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera y en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, respectivamente del Departamento de Industrias Forestales en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

#### **3.2 MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.2.1 Especie**

Los árboles de *Pinus maximinoi* se colectaron de una plantación privada de 19 años ubicada en el sector de Pusapno, distrito Chontabamba, provincia Oxapampa, región Pasco (Figura 1). Las coordenadas geográficas son 10°41'09.6" latitud sur y 75°27'21.4" longitud oeste; y altitud de 1540 m.s.n.m. El clima en Chontabamba es templado y lluvioso (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SEHAMHI], 2020) con una temperatura mínima de 15°C y máxima de 25°C (Municipalidad Distrital de Chontabamba, 2019) y precipitaciones anuales entre 1200 mm a 3000 mm aproximadamente (SEHAMHI, 2020).

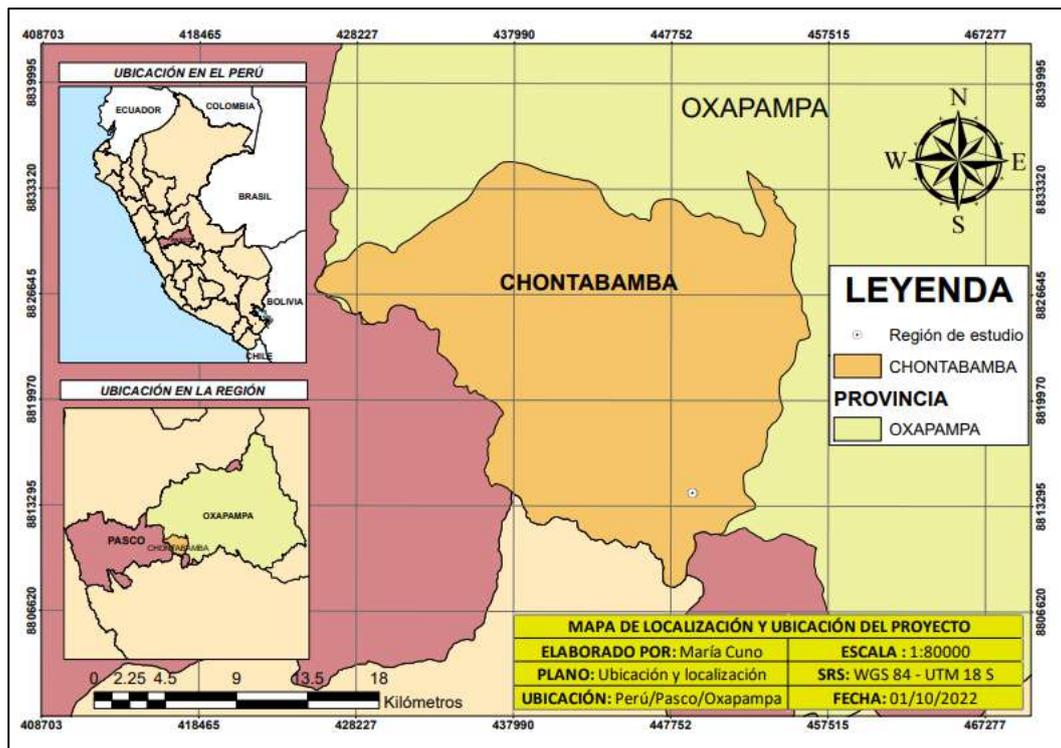


Figura 1: Mapa de localización y ubicación de las especies *Pinus maximinoi*

### 3.2.2 Materiales y equipos

#### 3.2.2.1 Anatomía

##### Materiales

- Vasos precipitados de 50, 100 y 500 ml.
- Placas Petri
- Porta objetos de 75 mm x 25 mm
- Cubre objetos de 18 mm x 18 mm y 22 mm x 22 mm
- Pinceles
- Pinzas
- Jeringas
- Bisturí
- Cuchillas descartables para el micrótopo Leica SMS
- Placa de vidrio
- Lupa de 30x

## **Insumos**

- Agua destilada
- Alcohol de 30°, 60° y 90°
- Safranina
- Glicerina
- Merckoglass
- Ácido acético glacial
- Hidróxido de sodio al 3%

## **Equipos**

- Plancha de calentamiento Thermo Scientific CIMAREC+
- Campana extractora
- Micrótopo horizontal Leica 2010
- Microscopio binocular Leica DM 750 con cámara ICC50 HD acoplada.
- Computadora y software Leica

## **Herramientas**

- Navaja o cuchilla para madera
- Motosierra
- Machete
- Flexómetro de 5m

### **3.2.2.2 Propiedades físicas**

## **Materiales**

- Formatos de registro de datos
- Lapiceros
- Lápices de cera

- Marcadores indelebles

## **Equipos**

- Balanza analítica
- Desecador de humedad
- Micrómetro de precisión
- Vernier digital
- Estufa eléctrica

### **3.3 METODOLOGÍA**

#### **3.3.1 Colección y selección de muestras**

El material de estudio utilizado en la plantación de 19 años proviene de semillas importadas de Honduras, como una prueba piloto de adaptación de nuevas especies de uso maderable en la región de Oxapampa. La plantación tuvo mantenimiento inicial, sin embargo, no continuó con un monitoreo o seguimiento de su crecimiento ni tampoco tratamientos silviculturales como podas o raleos. El primer turno de corta de los árboles que prosperaron en la plantación se realizó en mayo del año 2021.

Se seleccionaron aleatoriamente 5 árboles de fuste recto y buen estado fitosanitario, siguiendo las pautas establecidas en la Norma Técnica Peruana 251.008 (2012). En cada uno de estos árboles, se realizaron mediciones de altura total y altura comercial (Tabla 3). Además, se clasificaron en tres niveles longitudinales según la altura comercial: basal, media y apical, conforme a la metodología de Valente et al. (2013). Posteriormente, se tomaron segmentos de 1 metro de largo desde la parte inferior de cada árbol (sección basal) donde se obtuvieron 2 tablas orientadas radial y tangencialmente para la xiloteca. Así también, una rodaja de 0,05 metros de espesor, para la caracterización anatómica.

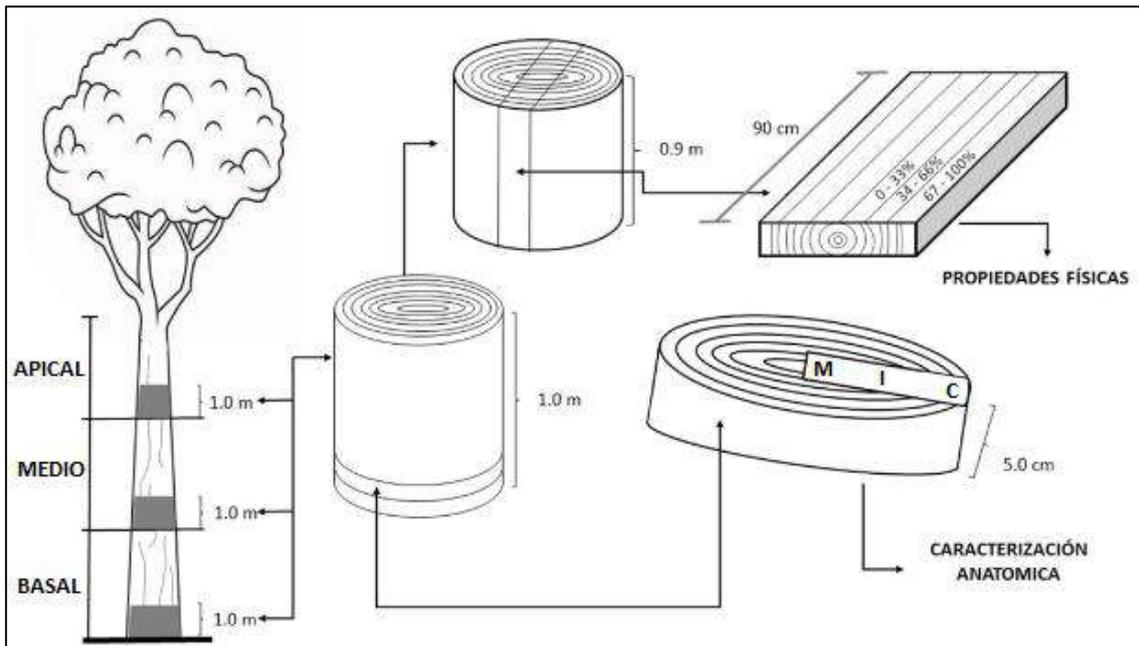
**Tabla 3: Características dasométricas de los árboles de *Pinus maximinoi* seleccionados para el estudio**

N° de individuo	dap (cm)	Altura total (m)	Altura comercial (m)
1	38	37	20
2	24	30	20
3	44	32	25
4	37,5	31	10,5
5	44,5	25	20
<b>Promedio</b>	<b>37,6</b>	<b>31</b>	<b>19,1</b>

*Nota:* dap: Diámetro a la altura de pecho

### 3.3.2 Procesamiento y preparación de probetas

Las rodajas y tablas debidamente orientadas se utilizaron para los estudios anatómicos y las trozas de 1 m para los ensayos físicos. Para los estudios anatómicos macroscópicos, se obtuvieron muestras de xiloteca, debidamente orientadas en corte tangencial y radial, de 10 cm ancho x 2 cm de espesor x 15 cm de longitud. Para los estudios anatómicos microscópicos, cada rodaja de 0,05 m, fue dimensionada en cubos de madera de 1 cm x 1 cm x 1,5 cm, obtenidos radialmente en 3 secciones: cerca a la médula (M), intermedia (I) y cerca a la corteza (C), conforme a la Figura 2. Para la determinación de las propiedades físicas (densidad básica y contracciones totales) se prepararon muestras de forma prismática, con dimensiones 3,0 cm x 3,0 cm x 10,0 cm, siendo esta última en dirección longitudinal. La Figura 2, ilustra la obtención de muestras según ensayo a realizar. Posteriormente, todas las muestras fueron codificadas y transportadas al laboratorio correspondiente.



**Figura 2: Obtención y preparación de muestras según ensayo**

Fuente: Modificado de Chavesta (2019)

### 3.3.3 Caracterización anatómica de la estructura de la madera

La caracterización anatómica se llevó a cabo según lo estipulado en la “Lista de características microscópicas para la identificación de coníferas” (IAWA, 2004) y según “Normas de procedimientos en estudios de anatomía de la madera” (IBAMA, 1992).

#### 3.3.3.1 Nivel macroscópico

En la descripción de la madera a nivel macroscópico se identificaron las siguientes características: diferenciación de albura/duramen, color, brillo, olor/sabor, grano, textura, veteado, visualización de anillos de crecimiento, radios y canales secretores.

#### 3.3.3.2 Nivel microscópico

Los cubos de madera debidamente orientados; fueron ablandados en hidróxido de sodio al 3% en la plancha de calentamiento por 5 a 8 minutos a 270°C. Luego, se obtuvo cortes histológicos en el plano transversal, radial y tangencial con espesor de 20 a 25  $\mu\text{m}$  en el micrófono de deslizamiento horizontal Leica. Posteriormente, los cortes fueron

deshidratados secuencialmente en alcohol de 30°, 60° y 90°, por 15 minutos cada uno. Luego, fueron coloreados con 3 a 5 gotas de safranina por 15 minutos, para después lavar las láminas con alcohol de 90° hasta eliminar el exceso de colorante, se fijó el color con ácido acético glacial por un día y para el montaje se colocaron en una placa de vidrio agregándose una gota de Merkoglass y cubierto con cubreobjetos.

La preparación para el tejido macerado empieza con la transformación del material en palitos similares a los de fósforo (2mm x 2mm x 5cm) utilizando peróxido de hidrógeno; según método indicado por Dadswell (1972). El material se llevó a cocción por 20 a 25 minutos cubierto por peróxido de hidrogeno en la campana extractora. Cuando las astillas estuvieron ablandadas y decoloradas, el material fue lavado de 5 a 6 veces en agua hasta eliminar el exceso de peróxido, luego fue coloreado con 5 gotas de safranina para reposar y ser transferido a placas Petri fijando el color con ácido acético glacial por un día. Para el montaje de macerado, se utilizaron agujas para separar las traqueidas, colocarlas en una placa de vidrio con un portaobjetos y una gota de Merkoglass como adherente.

La medición y la descripción de elementos anatómicos a nivel microscópico se realizó a través de láminas histológicas en los tres planos de corte (transversal, radial y tangencial) y en tejido macerado. Las láminas de cada ensayo fueron codificadas según el número de ingreso en la Xiloteca del Laboratorio de Anatomía de la Madera. Se realizaron 25 mediciones por elemento anatómico con la ayuda de un Microscopio Leica DM750 con software LAZ de Leica. Las características anatómicas medidas fueron: dimensión de traqueidas (longitud, diámetro total y espesor de pared celular), diámetro del lumen y radios (número de células de ancho y de alto, altura y ancho en micras).

### **3.3.4 Determinación de propiedades físicas**

Se prepararon 30 probetas por árbol correspondiente a tres niveles axiales (10 por cada nivel: basal, medio y apical); totalizando 150 probetas. Las muestras se evaluaron en condición verde, para luego ser pesadas, medidas (en forma tangencial, radial) y llevadas a estufa hasta estado anhidro ( $103 \pm 2$  °C). Se determinó el contenido de humedad, densidad básica, contracciones (longitudinal, radial, tangencial y volumétrica) y relación T/R, utilizando las normas que se indican en la Tabla 4.

**Tabla 4: Normas técnicas para ensayos físicos**

Norma	Finalidad
NTP 251.010:2020	Método para determinar el contenido de humedad
NTP 251.011:2014	Método de determinación de la densidad
NTP 251.012:2015	Método de determinación de la contracción

Las propiedades físicas se clasificaron según Aróstegui (1982) como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5: Clasificación de propiedades físicas**

Grupo	Propiedades físicas		Clasificación
	Densidad básica	Contracción volumétrica	
I	< 0,3	< 7	Muy baja
II	0,3 – 0,4	7 - 10	Baja
III	0,41 - 0,6	10,1 - 13	Media
IV	0,61 – 0,75	13,1 – 15	Alta
V	> 0,75	> 15	Muy alta

Fuente: Aróstegui (1982)

### 3.3.5 Análisis estadístico

Para el procesamiento de datos se emplearon los programas Microsoft Excel y el software R. Se calcularon las medidas de tendencia central y de dispersión para las características anatómicas y físicas. Se evaluó el comportamiento longitudinal y radial de las características anatómicas, mientras que, para las propiedades físicas, solo se realizó el análisis longitudinal.

#### 3.3.5.1 Análisis de las características anatómicas de la madera

Para evaluar las características anatómicas se empleó el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del i-ésimo nivel de la posición axial

$\beta_j$ : efecto del j-ésimo nivel de la posición radial

$(\alpha\beta)_{ij}$ : efecto de la interacción en el i-ésimo nivel de la posición axial, j-ésimo nivel de la posición radial.

$\varepsilon_{ijk}$ : error experimental en el i-ésimo nivel de la posición axial, j-ésimo nivel de la posición radial, k-ésima repetición.

El comportamiento axial y radial se evaluó a través de un Análisis de variancia (ANOVA) con un nivel de significancia de 0,05. Para la validación previa del análisis, se verificaron los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de errores. En caso de significancia, se aplicó la prueba de Tukey.

### 3.3.5.2 Análisis de las propiedades físicas

Para evaluar las propiedades físicas se empleó el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ik}$$

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del i-ésimo nivel de la posición axial

$\varepsilon_{ijk}$ : error experimental en el i-ésimo nivel de la posición axial, k-ésima repetición.

El análisis estadístico axial se llevó a cabo mediante un Análisis de Varianza (ANOVA). Se evaluaron los niveles basal, medio y apical. Para validar este análisis, se verificaron los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad de los errores. En caso de incumplimiento se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA

#### 4.1.1 Características generales

En condición seca al aire, no existe diferenciación entre madera de albura y duramen. Su madera es de color amarillo, con olor y sabor no distintivo, grano recto y textura gruesa por anillos anchos y bien diferenciados. Vetado en arcos superpuestos causado por los anillos de crecimiento en sección tangencial. Anillos de crecimiento diferenciados por bandas oscuras. Durante el aprovechamiento se observó exudación de resina.



Figura 3: Rodajas de la madera *Pinus maximinoi* en condición verde

Características como la textura gruesa, el olor y sabor no perceptibles y la nula distinción entre madera de albura y duramen hacen que el *Pinus maximinoi* sea distintivo dentro del género donde abundan las maderas con diferenciación por colores de albura y duramen, olores peculiares y textura media (López y Ruiz, 2017; Condor y Pardo, 2021; De la Paz y Dávalos, 2016; Klock, 2000; De Oliveira, 2019).

Sin embargo, la existencia de duramen en el *Pinus maximinoi* se registra a partir de los 30 años, alcanzando un porcentaje del 20 al 25%, según lo indicado por Campos (2015). Dado que el material en estudio tiene 19 años, es posible que el proceso de duraminización aún no se haya manifestado o esté en sus etapas iniciales.

#### **4.1.2 Características macroscópicas**

La madera presenta anillos de crecimiento diferenciados a simple vista con una transición gradual entre madera temprana y madera tardía. No se observa parénquima longitudinal. Los radios son visibles con lupa de 10x. Canales secretores longitudinales dispersos dentro de los anillos de crecimiento. Conforme a lo presentado por Klock (2000) y De Oliveira (2019).



**Figura 4: Madera en corte tangencial y radial**

### **4.1.3 Características microscópicas**

#### **Anillos de crecimiento**

Anillos de crecimiento visiblemente diferenciados con una transición gradual entre madera temprana y madera tardía (Figura 5). Este rasgo concuerda con las observaciones de Klock (2000) y De Oliveira (2019), quienes también señalan que la mayoría de las especies del género *Pinus* suelen presentar una transición abrupta entre estos tipos de madera, como el *Pinus taeda*.

#### **Traqueidas longitudinales**

En la sección transversal, las traqueidas de madera temprana son de forma poligonal y las traqueidas de madera tardía de forma rectangular. Poseen una longitud promedio de 3604  $\mu\text{m}$ , clasificadas como medianas (IAWA, 2004). El diámetro tangencial promedio es de 46,5  $\mu\text{m}$ , el diámetro de lumen es de 36,5  $\mu\text{m}$  y el espesor de pared de 4,98  $\mu\text{m}$ . Presenta punteaduras areoladas uniseriadas (Figura 7).

El promedio de longitud de las traqueidas en este estudio supera las cifras presentadas por Klock (2000) y De Oliveira (2019), según se muestra en la Tabla 1. No obstante, es inferior a los valores reportados por Cruz (2008) y Ulian et. al (2021), quienes presentan promedios de 4060  $\mu\text{m}$  y 4190  $\mu\text{m}$ , respectivamente. En cuanto a los diámetros, los resultados de este estudio son menores que los de Ulian et. al (2021) y De Oliveira (2019), pero mayores que los de Klock (2000). Respecto al espesor, se asemejan a los valores de De Oliveira (2019), pero son menores que los de Klock (2000) y Ulian et. al (2021).

#### **Parénquima longitudinal**

Ausente.

## **Canales de resina o secretores**

Presentes en disposición axial y radial (Figura 5 y 9).

## **Radios**

La especie presenta radios heterocelulares compuestos de traqueidas radiales y parénquima radial; así como radios homocelulares constituidos por parénquima radial. Tangencialmente son mayormente uniseriados y con presencia de algunos fusiformes (Figura 9). Posee ancho promedio de 25  $\mu\text{m}$ , clasificados como muy finos; altura promedio de 223,2  $\mu\text{m}$ , clasificados como medianos (IAWA, 2004); y 5 radios por mm lineal. Presenta puntuaciones del tipo pinoide en el campo de cruzamiento. Finalmente, presenta traqueidas dentadas (Figura 8).

De acuerdo con la Tabla 1, se observa que tanto el ancho como la altura promedio de los radios en este estudio son superiores a los valores reportados por De Oliveira (2019) y Klock (2000). En contraste, la frecuencia de células por mm, según lo informado por Klock (2000), es de 3,6, una cifra menor en comparación con los resultados presentados.

## **Cristales**

Ausente

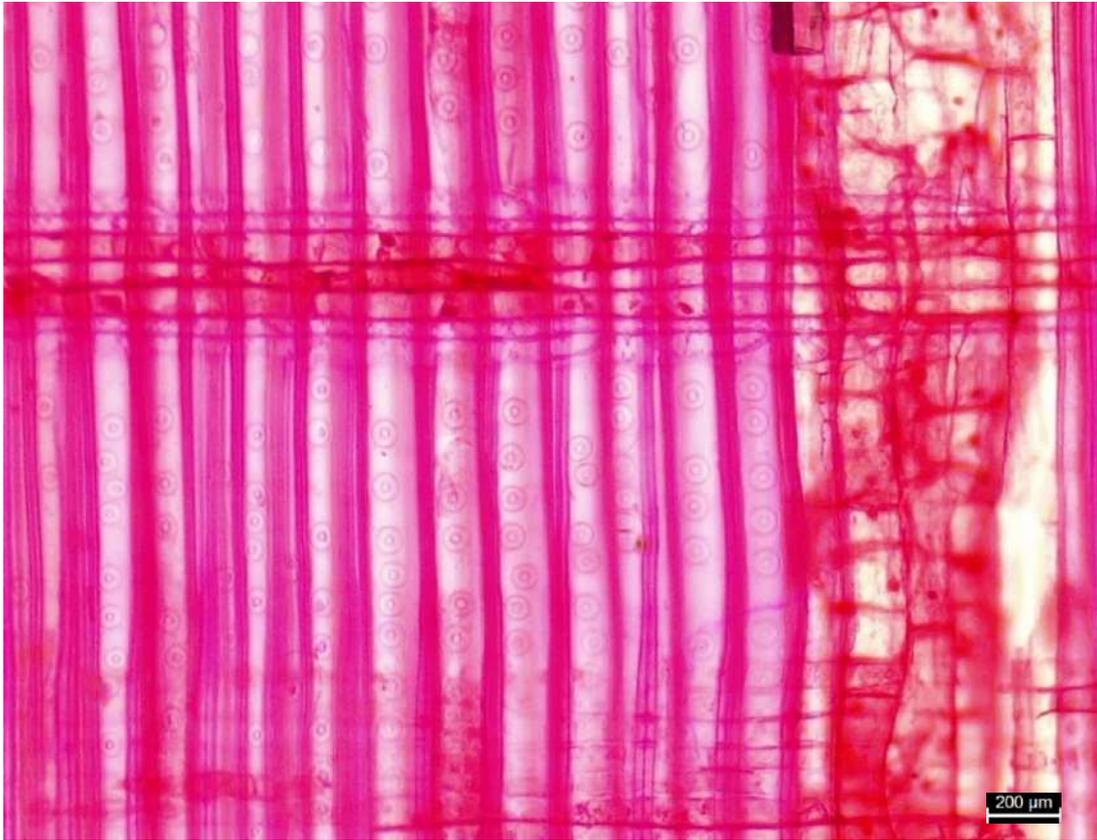
La especie *Pinus maximinoides* comparte varias características de género como la presencia de anillos de crecimiento, traqueidas axiales con puntuaciones areoladas, canales resiníferos axiales y radiales, traqueidas radiales y grano recto (Panshin y De Zeeuw, 1970; De la Paz et al, 2016; Esteban et al, 2023). Así como, la ausencia de parénquima longitudinal y cristales (Vignote, 2014).



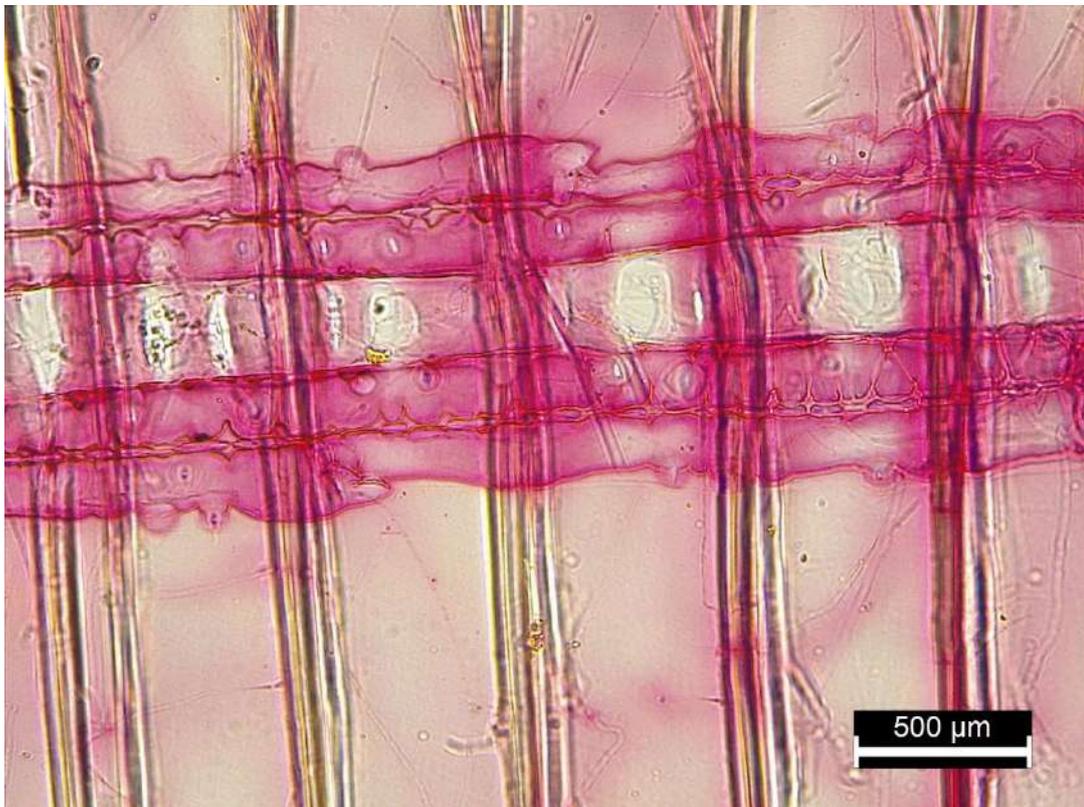
**Figura 5:** Sección transversal de *Pinus maximinoi* con distinción marcada de anillo de crecimiento y presencia de canales resiníferos axiales en el límite del anillo.



**Figura 6:** Sección radial de *Pinus maximinoi*



**Figura 7:** Traqueidas radiales con punteaduras areoladas y células radiales de *Pinus maximinoi*



**Figura 8:** Traqueidas dentadas de *Pinus maximinoi*

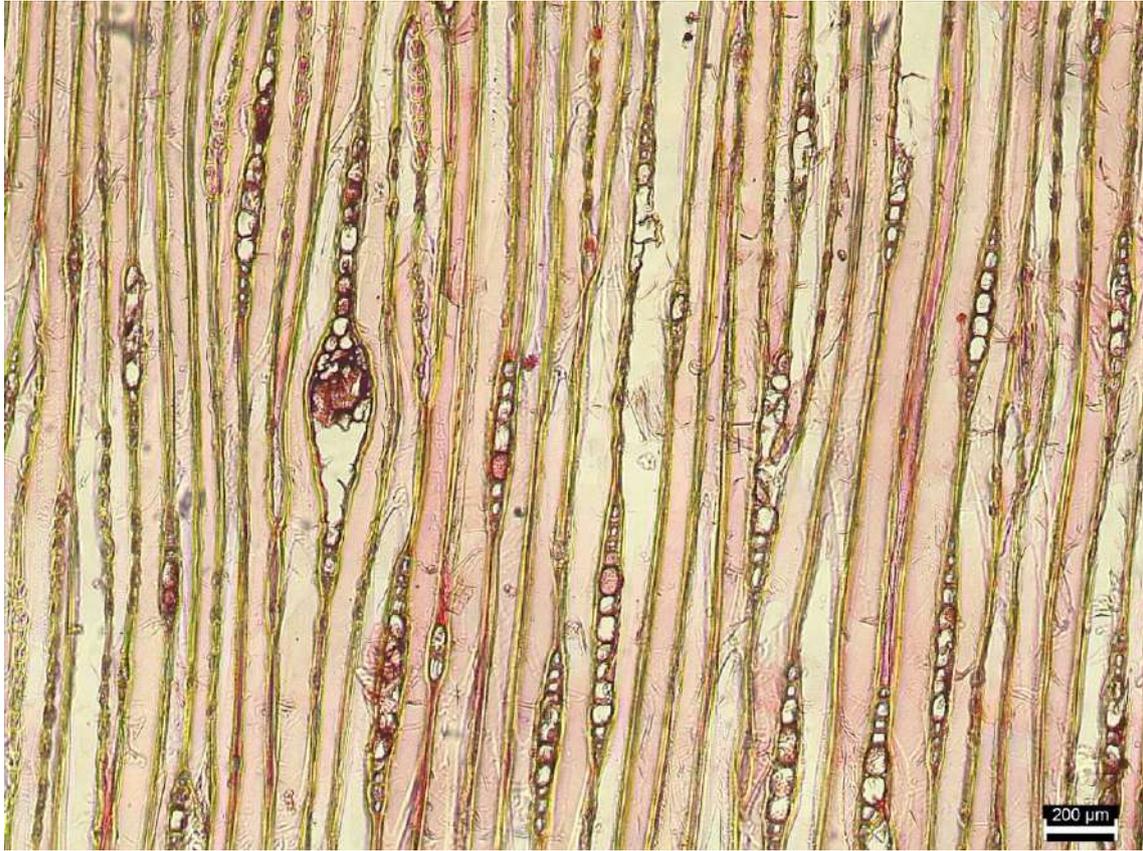


Figura 9: Radios uniseriados y fusiformes en sección tangencial de *Pinus maximinoi*

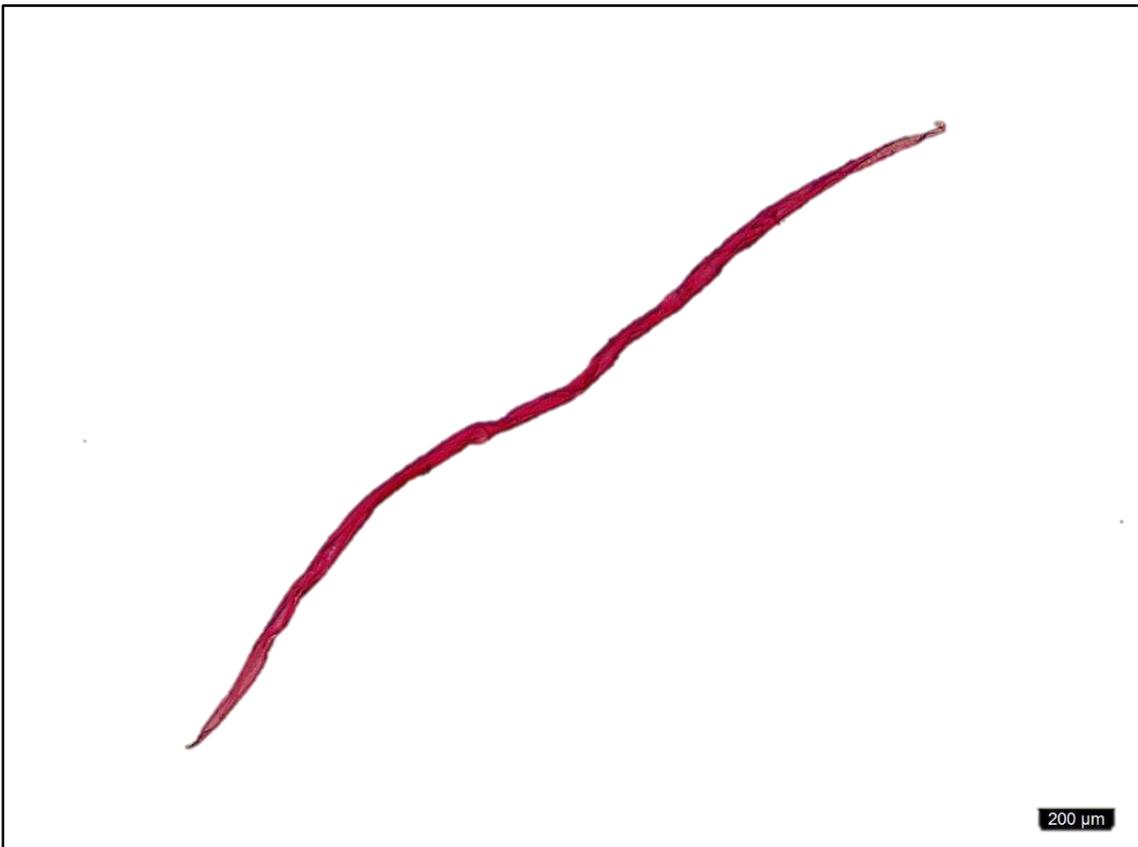


Figura 10: Traqueida longitudinal de *Pinus maximinoi*

#### 4.1.4 Variación de los elementos leñosos

En la Tabla 6, se muestran los valores promedio de las dimensiones de las traqueidas de la madera. En el sentido axial, se observan los valores más altos para el diámetro de la traqueida, el lumen y el espesor de la pared celular en la zona basal. Radialmente, la longitud de las traqueidas aumenta de la médula a la corteza; en tanto, los demás elementos poseen menor dimensión en la zona cercana a la médula.

**Tabla 6: Valores medios de dimensiones de elementos anatómicos de *P. maximinoi***

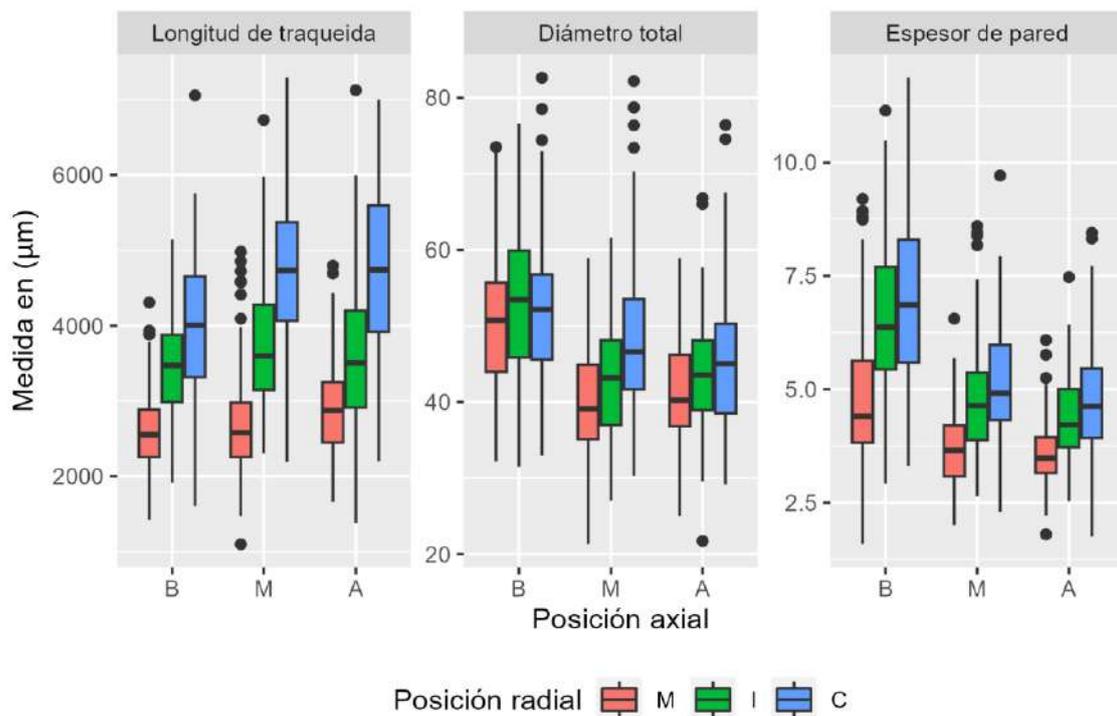
Nivel axial	Nivel radial	Longitud de traqueida ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro total ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro del lumen ( $\mu\text{m}$ )	Espesor de pared celular ( $\mu\text{m}$ )
<b>Basal</b>	<i>Médula</i>	2631 e (21)	50,6 ab (17)	41,0 a (22)	4,78 bc (33)
	<i>Intermedio</i>	3449 c (18)	53,1 a (18)	39,8 a (26)	6,62 a (27)
	<i>Corteza</i>	3979 b (23)	52,5 a (18)	38,4 ab (27)	7,04 a (27)
	<b>Promedio</b>	<b>3353</b>	<b>52,1</b>	<b>39,8</b>	<b>6,14</b>
<b>Medio</b>	<i>Médula</i>	2698 de (27)	39,8 f (19)	32,4 d (23)	3,69 d (23)
	<i>Intermedio</i>	3756 bc (21)	42,7 de (17)	33,1 cd (23)	4,79 bc (26)
	<i>Corteza</i>	4708 a (23)	48,9 bc (22)	38,5 ab (28)	5,20 b (24)
	<b>Promedio</b>	<b>3659,7</b>	<b>43,8</b>	<b>34,7</b>	<b>4,56</b>
<b>Apical</b>	<i>Médula</i>	2896 d (21)	41,6 ef (15)	34,4 bcd (18)	3,58 d (22)
	<i>Intermedio</i>	3596 c (27)	43,6 de (18)	35,0 bcd (23)	4,33 c (21)
	<i>Corteza</i>	4769 a (24)	45,6 cd (21)	36,1 bc (26)	4,76 c (26)
	<b>Promedio</b>	<b>3753,9</b>	<b>43,6</b>	<b>35,2</b>	<b>4,23</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>3604</b>	<b>46,5</b>	<b>36,5</b>	<b>4,98</b>

\*Valores entre paréntesis debajo del promedio, corresponden al coeficiente de variación.

\*Medias seguidas de la misma letra dentro de una misma columna para una misma edad, no difieren estadísticamente entre sí, por la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ).

A nivel axial, se puede afirmar que las características anatómicas tienden a disminuir a medida que ascendemos en la altura, excepto la longitud de las traqueidas. En la zona basal los valores son mayores para diámetro total, diámetro de lumen y espesor de pared celular. La longitud de las traqueidas es la excepción, ya que aumenta con la altura.

Radialmente, la longitud de las traqueidas aumenta de la médula a la corteza en los 3 niveles evaluados; el diámetro total y de lumen no cambian. Por su parte, el diámetro total presenta un comportamiento similar en las 03 posiciones radiales de la zona basal; mientras que, en los otros dos niveles (medio y apical), tiende a aumentar de la médula a la corteza. El diámetro del lumen presenta un comportamiento similar, con la excepción que, en la zona apical, el comportamiento es homogéneo en las 03 posiciones radiales. Finalmente, el espesor de pared, en los 03 niveles longitudinales, presenta su menor valor en la zona medular para luego aumentar hacia la zona intermedia y mantener su medida hacia la corteza. El comportamiento de los elementos leñosos y su dispersión se muestran en la Figura 11.



**Figura 11: Variación de elementos anatómicos**

El aumento del tamaño de las traqueidas de la médula a la corteza se puede explicar por lo señalado por Márquez et al. (2022), quien indica que las fluctuaciones en la longitud de las traqueidas en un sentido transversal se deben a la presencia de madera juvenil y madera madura. Cruz (2008) plantea que las variaciones en la longitud de traqueidas dentro de una misma especie pueden relacionarse con la latitud y ubicación geográfica de los árboles probablemente influyentes en esta variable.

Axialmente, se observan los mayores valores del diámetro total de las traqueidas en la sección basal, mientras que los niveles medio y apical muestran similitudes estadísticas. Radialmente, no se evidencian diferencias estadísticas entre la zona intermedia y la corteza, pero ambos son significativamente menores en comparación con la posición cercana a la médula. El diámetro del lumen, presenta un patrón axial similar al del diámetro total, con una disminución de los valores desde la base hacia el ápice. Radialmente, en la nivel medio y apical, se presenta una tendencia creciente de la médula hacia la corteza.

*Pinus maximinoi* posee un espesor de pared de 4,98  $\mu\text{m}$ ; este valor es menor que lo encontrado por Ulian et. al (2021) con 6,4  $\mu\text{m}$  y por Klock (2000) con 5,7  $\mu\text{m}$ . El espesor de pared es mayor en la base y radialmente posee sus menores valores cerca a la médula en las tres posiciones axiales, aumentando hacia la corteza. Estos patrones concuerdan con lo visto para la especie por Klock (2000), quien reportó una tendencia creciente en sentido médula a corteza; sin embargo, dicho autor indica que la diferencia hallada no es significativa. Ello concuerda parcialmente con lo obtenido en el presente estudio.

Los coeficientes de variabilidad se asemejan a los valores obtenidos por Klock (2000). Esta variabilidad se explica por factores genéticos, condiciones de crecimiento e influencias ambientales, tales como las condiciones estacionales o geográficas, como señalan Panshin y De Zeeuw (1980).

## 4.2 PROPIEDADES FÍSICAS

### 4.2.1 Variación longitudinal de las propiedades físicas

En la Tabla 7, se presentan los valores promedios y los coeficientes de variación de las propiedades físicas evaluadas por nivel axial. Se observa que los valores más altos se encuentran en la zona basal y los menores en la zona apical, excepto en la relación TR, donde se encuentra un comportamiento opuesto.

**Tabla 7: Valores medios de propiedades físicas de *Pinus maximinoi* en dirección axial**

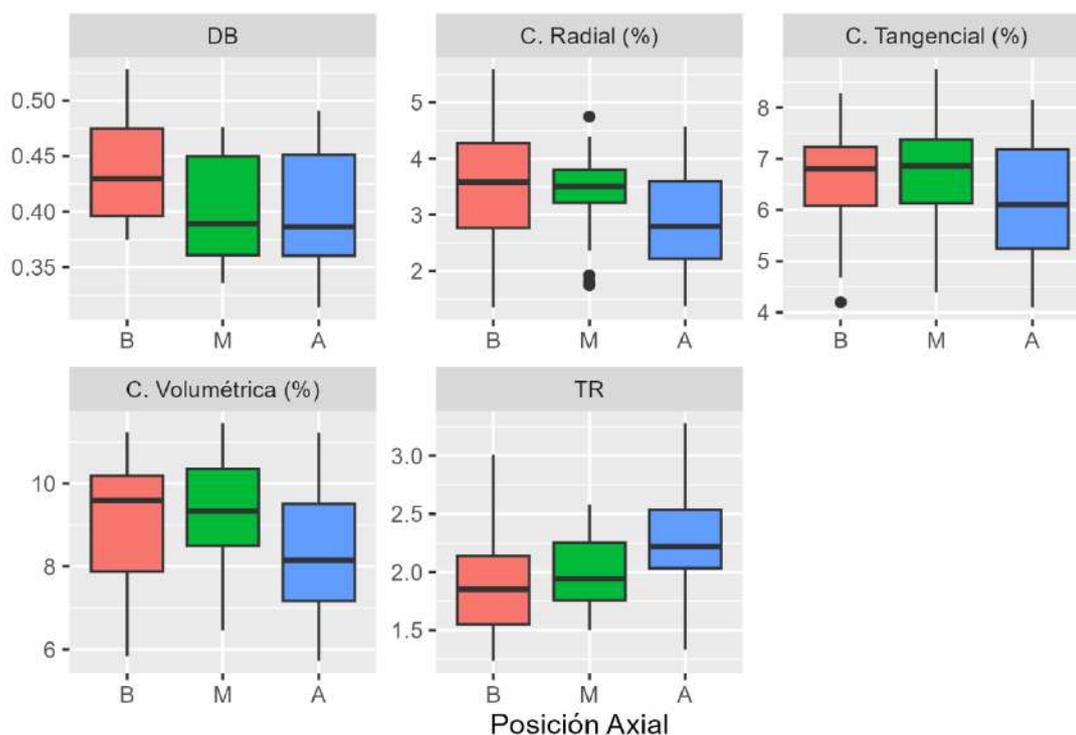
Nivel axial	Contenido de humedad (%)	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Contracciones (%)			Relación T/R
			Tangencial	Radial	Volumétrica	
<i>Basal</i>	135,70 a (16)	0,44 a (10)	6,62 A (14)	3,50 A (32)	8,99 AB (18)	1,99 B (28)
<i>Medio</i>	135,64 a (27)	0,40 b (11)	6,78 A (17)	3,46 A (19)	9,26 A (13)	1,99 B (16)
<i>Apical</i>	98,84 b (24)	0,39 b (14)	6,20 B (18)	2,88 B (30)	8,35 B (18)	2,26 A (21)
<b>Total</b>	<b>123,39</b>	<b>0,41</b>	<b>6,52</b>	<b>3,28</b>	<b>8,87</b>	<b>2,08</b>

\*Letras en minúscula = pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis)

\*Letras en mayúscula = pruebas paramétricas (Tukey)

La madera de *Pinus maximinoi* presenta una densidad básica de 0,41 g/cm<sup>3</sup>, clasificada como baja según Aróstegui (1982) y Souza et al. (2002). Aunque Sotomayor (2005) coincide con este valor, él la clasifica como de densidad media. Adicionalmente, este resultado es ligeramente mayor a los registrados en Brasil por De Oliveria (2019), quien reporta valores de 0,36 g/cm<sup>3</sup> y por Klock (2000) con 0,40 g/cm<sup>3</sup> en plantaciones de 7 y 11 años de edad, respectivamente. A su vez, es menor que lo reportado por Campos (2015), con un valor de 0,50 g/cm<sup>3</sup> para una madera de raleo de 11 años y 0,68 g/cm<sup>3</sup> para una madera de corta final de 30 años. Debe precisarse que, a pesar de hallar mayor densidad básica a mayor edad, algunos autores como Goche et. al (2010) indican que la edad de la plantación no debería ser un factor determinante, ya que también pueden estar influenciada por la morfología del árbol, genética, factores externos, competencia, etc. Ellos afectan su crecimiento y originan variaciones en la madera.

En la Figura 12, se presentan los diagramas de cajas y bigotes para las 5 variables físicas evaluadas en los tres niveles axiales. Según las pruebas Tukey y Kruskal-Wallis, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las secciones basal y media con respecto a la apical (Tabla 7).



**Figura 12: Variación de propiedades físicas a nivel axial**

Axialmente, la densidad básica disminuye de la base de  $0,44 \text{ g/cm}^3$  a la zona intermedia para luego mantenerse constante en la zona apical ( $0,39 \text{ g/cm}^3$ ). Esta tendencia concuerda con lo hallado por De Olivera (2019) y Klock (2000). Además, este comportamiento, coincide con uno de los patrones indicados por Panshin y De Zeeuw (1980). Coincide además con Coêlho (2017), quien señala que el comportamiento longitudinal más común de la densidad básica en el género *Pinus*, disminuye a medida que aumenta en altura. Esto se puede explicar porque en la zona del ápice se encuentra mayor proporción de madera juvenil, a diferencia de la base del árbol, donde se halla madera juvenil coexistiendo con una proporción de madera tardía (Chavesta, 2019).

Los promedios de contracción tangencial (6,52%) y radial (3,28%) superan significativamente los reportados por Campos (2015), aunque son ligeramente mayores

que los presentados por Klock (2000), quienes registraron 6,06% y 2,92%, respectivamente. No obstante, en cuanto a la contracción volumétrica (8,87%), se observan valores menores en comparación con los reportados por Klock (2000) con 9,08%.

Las contracciones se clasifican como medianas por Bárcenas-Pazos (1995) y bajas por Aróstegui (1982). La contracción tangencial, radial y volumétrica no muestran diferencias significativas entre los niveles basal y medio; y presentan su menor valor en la posición apical. Las contracciones encontradas son menores en comparación con otras especies del género *Pinus* a diferentes edades. El comportamiento de la especie permite afirmar que la madera presenta un comportamiento estable cuando comparada con otras especies de pino (Riesco y Díaz, 2007; Schönfelder et al., 2018; Greaves et al., 2015; Oliveira et al., 2016; Vega-Britez et al., 2019).

El factor anisotrópico (2,08) es numéricamente mayor al encontrado por Campos (2015) de 1,54 y 1,91 para 11 y 30 años respectivamente. Sin embargo, menor al reportado por Klock (2000) con 2,21. Axialmente, no exhibe diferencias significativas entre el nivel basal y medio, pero sí con respecto al nivel apical (Tabla 7). Es clasificado como medianamente estable según Sotomayor y Ramírez (2013) y Aróstegui (1982). Además, Vignote y Martínez (2006) indican que las maderas con una relación entre los coeficientes T/R mayor a 2 tienden a mostrar una notable inclinación hacia la deformación.

## V. CONCLUSIONES

- La madera de *Pinus maximinoi* presenta similitudes con otras especies del género *Pinus*, pero sin diferencias entre albura y duramen.
- Las traqueidas son de longitud mediana, resaltando la presencia de radios uniseriados y fusiformes; así como la presencia de traqueidas dentadas.
- La longitud de las traqueidas aumenta de la base al ápice, mientras que los demás elementos leñosos, disminuyen. Radialmente, la longitud de traqueidas es menor en la médula y aumenta hacia la corteza. Los demás elementos leñosos son similares en la base.
- La densidad básica promedio es  $0,41 \text{ g/cm}^3$  para 19 años; clasificada como madera de baja densidad. Esta propiedad disminuye de la base al ápice.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar las características anatómicas, propiedades físicas y mecánicas de la especie a diferentes edades y con tratamientos silviculturales.
- Realizar estudios de las propiedades físicas a nivel radial.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J y Guzowski, E. (2011). Madera, Materiales y materias primas (Vol. 3, pp.0-27). Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. <https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf>
- Aguilar, M.; Aguilar, S. y Terrazas, T. (2014). Anatomía de la madera de doce especies de un bosque mesófilo de la montaña de Tamaulipas, México. *Madera y Bosques*, 20(3), 69-86. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v20n3/v20n3a7.pdf>
- Anchundia, J. (2021). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de ochroma pyramidale (cav. Ex lam.) urb. (Balsa) de tres años de edad*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/6d12f240-08b9-4cdc-8f1a-e3b1107e8a2d>
- Aróstegui, A. (1982). *Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas*. Documento de trabajo N° 2. PNUD-FAO.
- Al-Sagheer, N. y Prasad, A. (2010) Variation in wood specific gravity, density and moisture content of *Dipterocarpus indicus* (Bedd). Among different populations in western Ghats of Karnataka, India. *International Journal of Applied Agricultural Research*, 5: 583-599. [https://www.researchgate.net/publication/336567778\\_Variation\\_in\\_Wood\\_Specific\\_Gravity\\_Density\\_and\\_Moisture\\_Content\\_of\\_Dipterocarpus\\_indicus\\_Bedd\\_among\\_Different\\_Populations\\_in\\_Western\\_Ghats\\_of\\_Karnataka\\_India](https://www.researchgate.net/publication/336567778_Variation_in_Wood_Specific_Gravity_Density_and_Moisture_Content_of_Dipterocarpus_indicus_Bedd_among_Different_Populations_in_Western_Ghats_of_Karnataka_India)

- Arteaga, B. y Pérez, A. (2001). *Pinus maximinoi* H.E. Moore: Una Especie Prometedora para plantaciones forestales Comerciales en el Trópico. *Foresta Veracruzana*, 3(2), 63-70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49703211>
- Bárcenas-Pazos, G. (1995) Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona. *Madera y Bosques*, 1: 9-38. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61700102.pdf>
- Beeckman, H. (2016). Wood anatomy and trait-based ecology. *IAWA Journal*, 37(2), 127-151. Doi: [10.1163/22941932-20160127](https://doi.org/10.1163/22941932-20160127)
- Bolzon, G. y Rauber, V. (1991). Normas de procedimientos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae II. Gimnospermae. Brasilia, Brasil.
- Campos, C. (2015). *Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus maximinoi H. E. Moore; Cobán, Alta Verapaz*. [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>
- Chavesta, M. (2019). *Caracterización de la madera de árboles de Guazuma crinita Mart. proveniente de plantaciones en Huánuco - Perú*. [Tesis de doctorado, Universidade Federal do Paraná]. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/66429>.
- Chumbimune, S. (2017). *Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de ulcumano (Retrophyllum rospigliosii) de una plantación de 32 años asociada con café en Villa rica, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/733/1/Chumbimune-Tesis-Caracterizacion\\_anatomica...madera\\_Ulcumano.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/733/1/Chumbimune-Tesis-Caracterizacion_anatomica...madera_Ulcumano.pdf)

- CIFOR. (2017). Las plantaciones forestales en el Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. [https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/OccPapers/OP-169.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-169.pdf)
- Coêlho, M. (2017). *Avaliação tecnológica da madeira de Pinus maximinoides visando sua utilização industrial na produção de celulose Kraft*. [Tesis de Maestría, Universidad de São Paulo]. [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-09102017-174308/publico/Marina\\_Ulian\\_Coelho\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-09102017-174308/publico/Marina_Ulian_Coelho_versao_revisada.pdf)
- CONAFOR, (2011). Sire, paquetes tecnológicos, Descripción Pinus maximinoides, H.E. Moore. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/970Pinus%20maximinoides.pdf>
- Condor, J. y Pardo, O. (2021). *Caracterización de la anatomía, propiedades físico-mecánicas y químicas de Pinus radiata D. Don y Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham. – Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7045/T010\\_73034415\\_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7045/T010_73034415_T.pdf?sequence=1)
- Cruz, M. (2008). *Variación longitudinal de traqueidas de madera de Pinus herrerae Mart. de la región de Ciudad Hidalgo, Mich* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/932/60375s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cury, G. (2001). *Descrição da estrutura anatômica do lenho e sua aplicação na identificação de espécies arbóreas do cerrado e da mata Atlântica do Estado de São Paulo* [Tesis de maestría, Universidade Sao Paulo]. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-23102002-145402/publico/graziela.pdf>

- Dadswell, H. (1972). The anatomy of eucalypt wood. Forest Products Laboratory, 66, 1-28. <https://publications.csiro.au/rpr/download>.
- Da Silva Carneiro, F., Ruschel, A., de Freitas, L., Pinheiro, K., dos Santos, J., D'Arace, L., y de Almeida Coelho, F. (2020). *Densidade da Madeira de Espécies Florestais de Quatro Áreas Experimentais da Amazônia Oriental Brasileira*. Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/AT.ED.339200405>
- De la Paz-Pérez, C. y Dávalos-Sotelo, R. (2016). Anatomía de la madera de seis especies de *Pinus* (Pinaceae) del estado de Durango, México. *Madera y Bosques*, 22(3), 113-132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61749747010>
- De Oliveira, R. (2019). *Potencial da madeira de Pinus maximinoi aos sete anos para a produção de polpa celulósica Kraft* [Tesis de maestría, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz]. [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-24072019-120543/publico/Renato\\_de\\_Oliveira\\_Baptista\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-24072019-120543/publico/Renato_de_Oliveira_Baptista_versao_revisada.pdf)
- Díaz, A., Huanay, J., Medina, R., Aylas, A. y Paucar, J. (2019). Anatomía y propiedades físicas de la madera de dos especies del departamento de Puno. *Arnaldoa*, 26 (2), 595 - 606. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26205>
- Diodato, M. y De Gregorio, S. (2015). Identificación microscópica, una herramienta fundamental en la investigación de estructuras históricas de madera: casos prácticos. *Arché*, (10), 377-386. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84776/Arq\\_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84776/Arq_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Esteban, L.; de Palacios, P.; Heinz, I.; Gasson, P.; García-Iruela, A. y García-Fernández, F. (2023). Softwood Anatomy: A Review. *Forests*, 14, 323. <https://doi.org/10.3390/f14020323>

- FAO. (2021). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal*.  
FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825es>
- Fank, P. (2018). *Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (Pinus taeda y Pinus elliottii) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural* [Tesis de doctorado, Universidad tecnológica Nacional].  
<https://ria.utn.edu.ar/xmlui/handle/20.500.12272/3344>
- Fetzer, T. (2014). *Efecto de densidades de siembra sobre el crecimiento de dos especies de pino en San Juan Chamelco, Alta Verapaz* [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/22/Fetzer-Tedy.pdf>
- Figueroa, A. (2007). *Variación de densidad básica en la madera de Pinus taeda L.* [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile].  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fiff475v/doc/fiff475v.pdf>
- Flores, Y. (2010). *Crecimiento y productividad de plantaciones forestales en la Amazonía peruana*. INIA.  
[https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/309/3/Flores-Crecimiento\\_y\\_productividad\\_de\\_plantaciones.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/309/3/Flores-Crecimiento_y_productividad_de_plantaciones.pdf)
- García, A. (2005). *Contribución de las propiedades físicas de la madera de Pinus greggi proveniente de dos plantaciones en Hidalgo* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo].  
[https://www.uaeh.edu.mx/nuestro\\_alumnado/icap/licenciatura/documentos/Contribucion%20de%20las%20propiedades%20fisicas.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/nuestro_alumnado/icap/licenciatura/documentos/Contribucion%20de%20las%20propiedades%20fisicas.pdf)
- Gimenez, A, Moglia, J, Hernández, P y Gerez, R. (2005). *Anatomía de la madera*. Universidad Nacional de Santiago del Estero.  
<https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>

- Goche, J., Velázquez, A, Borja de la Rosa, A., Capulín, J. y Palacios, C. (2011). Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schltdl. et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(7). <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n7/v2n7a6.pdf>
- Gomes, F. (2009). *Avaliação dos processos kraft convencional e Lo-Solids® para madeira de Pinus taeda* [Tesis de Maestría, Universidad de São Paulo]. [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-23062009-083702/publico/Fabiana\\_Gomes.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-23062009-083702/publico/Fabiana_Gomes.pdf)
- Hyde, W., Amacher, G. y Magrath, W. (2001). Deforestación y aprovechamiento forestal. *Gaceta Ecológica*, (59), 0. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53905902>
- IBAMA. (1992). Norma de procedimientos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. *Serie técnica*, 15, 5-15.
- IAWA. (2007). IAWA List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, 10(3), 219-332. <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. (2012). *Crecimiento y Productividad de Plantaciones Forestales de Pino Candelillo*. Guatemala. 24 [https://www.inab.gob.gt/images/publicaciones/Pino\\_Candelillo.pdf](https://www.inab.gob.gt/images/publicaciones/Pino_Candelillo.pdf)
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo Andino*. JUNAC.
- Klock, U. (2000). *Qualidade da madeira juvenil de Pinus maximinoi H. E. Moore* [Tesis de doctorado, Universidade federal do Paraná]. <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25432/T%20-%20KLOCK%2c%20UMBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Márquez, G; Valero, S.; León, W.; Gutiérrez, I. y Maldonado, J. (2022). Variabilidad transversal de características dimensionales de traqueidas en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de plantaciones de 25 años de edad. *Tecnología en Marcha*, 35(3), 82-93. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i3.5868>
- Mendoza, R. (2015). *Anatomía y propiedades físicas de la madera de Eucalyptus urograndis h.b.k. Oxapampa - Pasco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3510/Mendoza%20Solano.pdf?sequence=1>
- Ministerio del Ambiente. (2019). Línea de base de especies forestales (*Pinus sp* y *Eucalyptus sp.*) con fines de bioseguridad. [https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/07/LB\\_-Forestales.pdf](https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/07/LB_-Forestales.pdf)
- Mittak, W., y Perry, J. (1979). *Pinus maximinoi*: Its taxonomic status and distribution. *Journal of the Arnold Arboretum*, 60(3), 386-395. <http://www.jstor.org/stable/43782529>
- Montajarás, M. (2013). *Plantaciones forestales*. Informe de investigación n° 22. Departamento de investigación y documentación parlamentaria. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/75A4C114BFEACD BC05258121005EE044/\\$FILE/312\\_INFINVES22\\_plantaciones\\_forestales.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/75A4C114BFEACD BC05258121005EE044/$FILE/312_INFINVES22_plantaciones_forestales.pdf)
- Municipalidad de Chontabamba, (2019), Presupuesto institucional de apertura (PIA 2020), [https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016\\_2021/Consejo\\_Directivo/Documentos\\_Otras\\_Instituciones/OFICIO-006-2020-MDCH.pdf](https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Consejo_Directivo/Documentos_Otras_Instituciones/OFICIO-006-2020-MDCH.pdf)
- Muñoz, F. y Moreno, P. (2013). Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* L. f. y *Terminalia amazonia* A. Chev, Maderas de plantación en costa rica. *Revista Chapingo*, 19(2), 287-303. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.040>

- León, W. (2010). Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 67-76.  
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/31646/ensayo1.pdf;jsessionid=4991717D29E9E73978BF91A3B20253E5?sequence=1>
- López, M. y Ruíz, F. (2017). Anatomía de la madera de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus patula* Schl. et cham.  
[https://www.researchgate.net/publication/322632558\\_ANATOMIA\\_DE\\_LA\\_MADERA\\_DE\\_Pinus\\_douglasiana\\_Martinez\\_Y\\_Pinus\\_patula\\_Schl\\_et\\_Cham](https://www.researchgate.net/publication/322632558_ANATOMIA_DE_LA_MADERA_DE_Pinus_douglasiana_Martinez_Y_Pinus_patula_Schl_et_Cham)
- Nájera, J., Vargas, Z., Méndez, J. y Graciano, J. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. de El Salto, Durango. *Ra Ximhai*, 1(3), 559-576. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46110307.pdf>
- Norma Técnica Peruana. (2012). *Maderas, Selección y colección de muestras*. (NTP 251.008).
- Norma Técnica Peruana. (2020). *Madera: Método para determinar la humedad* (NTP 251.010).
- Norma Técnica Peruana. (2014). *Madera: Método para determinar la densidad* (NTP 251.011).
- Norma Técnica Peruana. (2015). *Madera: Método para determinar la contracción* (NTP 251.012).
- Ortiz, M. (2010). Caracterización y evaluación de la madera de diámetros menores de *Pinus maximinoi* para la fabricación de secciones compuestas como elemento de construcción. (Informe final No. 077-2009). FONACYT.  
<http://glifos.senacyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202009.77.pdf>

- Prado, J. (2015). *Plantaciones forestales. Más allá de los árboles*. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G. <https://cifag.cl/wp-content/uploads/2019/04/Libro-plantaciones.pdf>
- Panshin, A. & De Zeeuw, C. (1980). *Textbook of wood technology*. McGraw-Hill Book Company.
- Rall, R (2006). *Influência das características dos anéis de crescimento na densidade, resistência e rigidez da madeira de Pinus taeda L.* [Tesis de maestría, Universidad Estatal Paulista “Júlio De Mesquita Filho”]. [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90563/rall\\_r\\_me\\_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90563/rall_r_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Richardson, D., Rundel, P., Jackson, S., Teskey, R., Aronson, J., Bytnerowicz, A., Wingfield, M. y Proches, S. (2007). Human impacts in pine forests: past, present and future. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38, 275-297. [https://www.researchgate.net/publication/234559118\\_Human\\_Impacts\\_in\\_Pine\\_Forests\\_Past\\_Present\\_and\\_Future](https://www.researchgate.net/publication/234559118_Human_Impacts_in_Pine_Forests_Past_Present_and_Future)
- Riesco, G. y Díaz, G. (2007). Características físicas de la madera de pino procedente de raleos en el noroeste de España. *Ciencia y tecnología*, 9(3), 233-244. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2007000300004>
- Roldán, J. (2014). *Influencia de la humedad y densidad en la dureza como propiedad físico-mecánica de la madera* [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/5822/TFM-L127.pdf?sequence=1>
- Román, E. (2016). *Anatomía comparada de la madera de Cupressaceae y su correspondencia con los estudios de filogenia*. [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. [https://oa.upm.es/40520/1/ELENA\\_ROMAN\\_JORDAN.pdf](https://oa.upm.es/40520/1/ELENA_ROMAN_JORDAN.pdf)

- Rosales, E. (2019). Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú. *Revista forestal mesoamericana Kurú*, 16(39), 33-42. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-25042020000100033](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-25042020000100033)
- Sagüi, D. (2015). *Oferta maderable de Pino candelillo (Pinus maximinoi) de las plantaciones establecidas en la cooperativa agrícola integral Chirrepec r.l.; Cobán, Alta Verapaz* [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Sagui-Deisy.pdf>
- Sánchez, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y bosques*, 14(1), 107-120. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712008000100008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712008000100008&lng=es&tlng=es).
- Salazar, R.; Soihet, C. y Méndez, J. (2000). Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Volumen I. Manual Técnico No. 41. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Proyecto de Semillas Forestales PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica. [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2959/Manejo\\_de\\_semillas\\_de\\_100\\_especies.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2959/Manejo_de_semillas_de_100_especies.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Seguel, M. (16 de mayo de 2023). La importancia de conocer la anatomía de la madera para el desarrollo forestal y la conservación de los bosques. *Universidad de Chile*. <https://uchile.cl/u205102>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, (2020), Mapa Climático del Perú, <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=mapa-climatico-del-peru>
- Sotomayor, J. (2005). Características mecánicas y clasificación de 150 especies de maderas mexicanas, *Investigación e Ingeniería de La Madera*, 1(1), 3–22.

[https://www.academia.edu/6528926/Caracter%C3%ADsticas\\_mec%C3%A1nicas\\_y\\_clasificaci%C3%B3n\\_de\\_150\\_especies\\_de\\_maderas\\_Mexicanas](https://www.academia.edu/6528926/Caracter%C3%ADsticas_mec%C3%A1nicas_y_clasificaci%C3%B3n_de_150_especies_de_maderas_Mexicanas)

Stange, R., Buss, R., Muller de Souza, L., Durigon, N., Campos, T & D'Angelo, P. (2021). Variation of the technological properties of wood from *Ochroma pyramidale* in the longitudinal and radial sense of the slew. *Floresta*, 51(4), 820-829. <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/72952/44789>

Suárez, J. (2016). *Análisis de productividad y costos en operaciones de corta en el raleo de una plantación de pinos en Porcón – Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2848/K10-S8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Suárez, T. y Berger, G. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. Universitaria de Misiones. [https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos\\_digitales/f5\\_978-950-579-154-5.pdf](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf)

Ticiano, T. (2011). *Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical amazônica no estado do Pará* [Tesis de maestría, Universidade Sao Paulo]. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-02082011-132019/>

Ulian, M.; Gomes da Silva, F.; Reis, F.; Meister, S.; Soares Do Amaral, C. y Biernaski, F. (2021). Technological evaluation of *Pinus maximinoi* wood for industrial use in kraft pulp production. *TAPPI JOURNAL*, 20(8), 501 -508. [https://www.researchgate.net/profile/Marina-Coelho-2/publication/354557796\\_Technological\\_evaluation\\_of\\_Pinus\\_maximinoi\\_wood\\_for\\_industrial\\_use\\_in\\_kraft\\_pulp\\_production/links/63e6993fc002331f726bc07c/Technological-evaluation-of-Pinus-maximinoi-wood-for-industrial-use-in-kraft-pulp-production.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marina-Coelho-2/publication/354557796_Technological_evaluation_of_Pinus_maximinoi_wood_for_industrial_use_in_kraft_pulp_production/links/63e6993fc002331f726bc07c/Technological-evaluation-of-Pinus-maximinoi-wood-for-industrial-use-in-kraft-pulp-production.pdf)

- Umerez, H. (2015). *Análisis de propiedades físicas de la madera de Populus x euramericana y Pinus pinaster tras tratamientos de oleotermia* [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/11151/TFML205.pdf?sequence=1>
- University of Kentucky (1997). An Introduction to wood anatomy characteristics common to softwoods & hardwoods. *Cooperative Extension service University of Kentucky*, 59, 1-4. <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/for/for59/for59.pdf>
- Véliz, M.; Barrios, A. & Dávila, C. (2007). Actualización Taxonómica de la Flora de Guatemala, Capítulo 1. *Pinophyta* (Coníferas) - Informe Final. *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/publication/356457606\\_Actualizacion\\_Taxonomica\\_de\\_la\\_Flora\\_de\\_Guatemala\\_Capitulo\\_1\\_Pinophyta\\_Coniferas\\_-\\_Informe\\_Final](https://www.researchgate.net/publication/356457606_Actualizacion_Taxonomica_de_la_Flora_de_Guatemala_Capitulo_1_Pinophyta_Coniferas_-_Informe_Final)
- Vignote, S. (2014). *Principales maderas de coníferas en España: Características, tecnología y aplicaciones* (Informe Técnico). E.T.S.I. Montes (UPM), Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/30465/>
- Villar, M.; Marcelo, F.; Baselly, J. y Villena, J. (2014). Estimación de volúmenes maderables en plantaciones de *Pinus patula* schldl. & cham. en la Cooperativa Atahualpa Jerusalén Granja Porcón en la región Cajamarca. [Manuscrito no publicado]. INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/912>
- Vrigínia de Aguilar, A., Aparecida de Sousa, V. Fritzsos, E. y Pinto, J. (2011). *Programa de melhoramento de pinus da embrapa Florestas*. Embrapa Florestas. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/61074/1/Documento-233.pdf>
- Visser, R., Berkett, H. y Spinelli. (2014) Determining the effect of storage conditions on the natural drying of Radiata pine logs for use energy. *New Zealand Journal of Forest Science*, 44: 3. <https://doi.org/10.1186/1179-5395-44-3>

- Von Arx, G., Crivellaro, A., Prendin, A. L., Čufar, K., & Carrer, M. (2016). Quantitative Wood Anatomy—Practical Guidelines. *Frontiers in Plant Science*, 7(781), 1-13. doi: [10.3389/fpls.2016.00781](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00781)
- Vignote, S. y Martínez, I. 2006. *Tecnología de la madera*. Ediciones Mundi-Prensa. 3a. Edición. Madrid. <https://tecno1di.files.wordpress.com/2016/03/madera.pdf>
- Wright, J & Malan, F. (1991). Variation in wood and tracheid properties of *Pinus maximinoi*, *P. pseudostrobus* and *P. patula*. *IAWA Bulletin*, 12 (4), 467-475. doi: [10.1080/00382167.1993.9629387](https://doi.org/10.1080/00382167.1993.9629387)
- Zanão, M. (2020). *Avaliação do potencial da madeira de Pinus maximinoi para produção de celulose kraft em diferentes proporções com Pinus taeda e Eucalyptus spp.* [Tesis de Doctorado, Universidad de São Paulo]. [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-06102020-113308/publico/Marina\\_Zanao\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-06102020-113308/publico/Marina_Zanao_versao_revisada.pdf)
- Zobel B.J., Van Buijtenen J.P. (1989). *Wood Variation – Its Causes and Control*, Springer Series in Wood Science. Timell T.E. (Ed.). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-74069-5>

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Valores medios de propiedades físicas de *Pinus maximinoi* por individuo

Árbol	Densidad básica	Contracciones			Relación T/R
		Tangencial	Radial	Volumétrica	
1	0,38 (6)	7,15 (5)	3,42 (9)	9,85 (7)	2,06 (9)
2	0,36 (9)	7,08 (15)	2,78 (27)	8,30 (18)	2,61 (17)
3	0,46 (7)	5,24 (14)	2,47 (25)	7,76 (15)	2,21 (18)
4	0,40 (7)	6,34 (15)	3,37 (28)	8,35 (19)	1,94 (19)
5	0,47 (2)	6,82 (13)	4,35 (14)	10,10 (8)	1,58 (13)
<b>Total</b>	<b>0,41</b>	<b>6,53</b>	<b>3,28</b>	<b>8,87</b>	<b>2,08</b>

### Anexo 2. Valores medios de propiedades físicas de *Pinus maximinoi* en dirección axial y por árbol

Nivel Axial	Nº árbol	Estadígrafo	Densidad básica	Contracciones			Relación T/R
				Tangencial	Radial	Volumétrica	
B	1	Promedio	0,40	6,80	3,40	9,79	1,92
		Min - Máx	0,38 – 0,43	6,53 – 7,14	2,62 – 3,89	9,27 – 10,36	1,74 – 2,23
		Coef, Variac,	3,65	2,67	11,90	4,17	8,54
		LI - LS	0,39 – 0,41	6,69 – 7,36	3,15 – 3,65	9,53 – 10,04	1,82 – 2,02
	2	Promedio	0,39	6,56	2,39	7,70	2,51
		Min - Máx	0,38 – 0,42	5,31 – 7,80	1,35 – 3,86	5,83 – 9,80	1,95 – 3,01
		Coef, Variac,	3,28	14,29	37,01	21,44	16,03
		LI - LS	0,38 – 0,40	5,98 – 7,14	1,84 – 2,94	6,68 – 8,72	2,26 – 2,76
	3	Promedio	0,49	5,33	2,54	7,10	2,10
		Min - Máx	0,46 – 0,53	4,20 – 6,56	1,81 – 2,95	5,91 – 8,59	1,66 – 2,44
		Coef, Variac,	4,73	13,33	14,32	13,45	13,74
		LI - LS	0,48 – 0,50	4,89 – 5,77	2,31 – 2,76	6,51 – 7,69	1,92 – 2,28
	4	Promedio	0,42	7,17	4,18	9,64	1,73
		Min - Máx	0,40 – 0,44	6,45 – 8,29	3,58 – 4,75	9,42 – 9,85	1,45 – 2,11
		Coef, Variac,	3,62	7,55	8,41	1,48	12,97
		LI - LS	0,41 – 0,43	6,83 – 7,50	3,96 – 4,40	9,55 – 9,73	1,59 – 1,87

M	5	Promedio	0,47	7,14	4,97	10,72	1,44
		Min - Máx	0,45 - 0,49	6,33 - 7,88	4,28 - 5,59	10,31 - 11,24	1,23 - 1,61
		Coef, Variac,	2,81	7,31	7,50	2,81	8,10
		LI - LS	0,47 - 0,48	6,81 - 7,46	4,74 - 5,20	10,53 - 10,91	1,37 - 1,51
	1	Promedio	0,36	7,15	3,41	9,68	2,06
		Min - Máx	0,34 - 0,39	6,48 - 7,64	2,93 - 3,78	8,09 - 11,23	1,85 - 2,36
		Coef, Variac,	4,39	4,71	8,55	8,96	7,89
		LI - LS	0,35 - 0,37	6,94 - 7,35	3,23 - 3,59	9,14 - 10,21	1,96 - 2,16
	2	Promedio	0,36	8,13	3,55	9,78	2,29
		Min - Máx	0,35 - 0,38	7,22 - 8,75	3,20 - 3,83	8,46 - 10,73	2,14 - 2,48
		Coef, Variac,	2,61	5,18	5,88	9,02	4,80
		LI - LS	0,35 - 0,37	7,86 - 8,39	3,42 - 3,68	9,23 - 10,32	2,23 - 2,36
	3	Promedio	0,44	5,32	2,63	8,10	2,11
		Min - Máx	0,42 - 0,45	4,38 - 6,27	1,75 - 4,17	6,46 - 10,40	1,50 - 2,28
		Coef, Variac,	2,31	13,08	29,34	15,03	16,97
LI - LS		0,44 - 0,45	4,89 - 5,75	2,15 - 3,11	7,34 - 8,85	1,89 - 2,33	
4	Promedio	0,39	6,67	3,75	8,86	1,79	
	Min - Máx	0,36 - 0,43	6,09 - 7,13	3,27 - 4,39	6,65 - 11,46	1,56 - 2,03	
	Coef, Variac,	5,18	5,04	8,33	16,47	7,55	
	LI - LS	0,37 - 0,40	6,46 - 6,88	3,56 - 3,94	7,96 - 9,77	1,70 - 1,84	
5	Promedio	0,47	6,45	3,94	9,89	1,63	
	Min - Máx	0,45 - 0,48	4,72 - 8,42	2,96 - 4,75	8,12 - 10,63	1,54 - 1,83	
	Coef, Variac,	2,24	17,67	14,05	8,03	6,78	
	LI - LS	0,46 - 0,47	5,74 - 7,16	3,59 - 4,28	9,40 - 10,39	1,56 - 1,70	
A	1	Promedio	0,38	7,48	3,45	10,08	2,17
		Min - Máx	0,36 - 0,39	7,09 - 7,75	3,22 - 3,68	9,05 - 11,22	1,96 - 2,39
		Coef, Variac,	2,16	2,86	4,89	7,68	5,32
		LI - LS	0,37 - 0,38	7,35 - 7,61	3,34 - 3,55	9,60 - 10,56	2,10 - 2,25
	2	Promedio	0,32	6,40	2,41	7,43	2,69
		Min - Máx	0,31 - 0,32	5,90 - 7,40	2,09 - 2,76	6,98 - 7,86	2,14 - 3,28
		Coef, Variac,	0,77	8,11	10,29	4,03	15,17
		LI - LS	0,32 - 0,32	6,07 - 6,72	2,25 - 2,56	7,25 - 7,62	2,44 - 2,94
	3	Promedio	0,43	5,08	2,22	8,09	2,39
		Min - Máx	0,41 - 0,39	4,10 - 6,42	1,37 - 3,00	6,29 - 9,38	1,67 - 3,06
		Coef, Variac,	7,01	15,86	28,67	12,08	18,75
		LI - LS	0,42 - 0,45	4,58 - 5,58	1,83 - 2,62	7,49 - 8,70	2,11 - 2,67
	4	Promedio	0,39	5,19	2,18	6,56	2,36
		Min - Máx	0,35 - 0,43	4,72 - 5,85	1,66 - 2,99	5,72 - 7,35	1,90 - 2,83
		Coef, Variac,	7,40	7,18	21,05	6,87	13,25
LI - LS,		0,37 - 0,41	4,96 - 5,42	1,89 - 2,46	6,28 - 6,84	2,17 - 2,55	
5	Promedio	0,47	6,88	4,13	9,57	1,68	
	Min - Máx	0,46 - 0,48	5,84 - 8,16	3,70 - 4,57	8,38 - 10,58	1,33 - 2,08	
	Coef, Variac,	1,57	11,43	6,78	8,24	15,80	
	LI - LS	0,46 - 0,47	6,39 - 7,36	3,96 - 4,31	9,08 - 10,06	1,51 - 1,84	



**Anexo 3. Fotografías de la fase de campo del estudio de investigación**

**Anexo 4. Fotografías de la fase de gabinete del estudio de investigación –  
Caracterización anatómica**

*Preparación de xiloteca*



*Preparación de material*



*Material listo para microfotografías*



## Anexo 5. Fotografías de la fase de gabinete del estudio de investigación – Propiedades físicas

### *Preparación de material*

