

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Pinus maximinoi* DE
DIECINUEVE AÑOS DE OXAPAMPA – PERÚ**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

VICTOR MARTIN ROSALES ALIAGA

LIMA-PERÚ

2023

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

digi.usac.edu.gt

1 Fuente de Internet

1%

bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083

2 Fuente de Internet

<1%

"Engenharia Industrial Madeireira: Tecnologia, Pesquisa e Tendências", Editora Cientifica Digital, 2020

Publicación

<1%

portal.inab.gob.gt

4 Fuente de Internet

<1%

core.ac.uk

5 Fuente de Internet

<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Pinus maximinoi* DE
DIECINUEVE AÑOS DE OXAPAMPA – PERÚ**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO FORESTAL

VICTOR MARTIN ROSALES ALIAGA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....

Ing. Julio Cesar Canchucaja Rojas, Dr.
Presidente

.....

Ing. Miguel Ángel Meléndez Cardenas, Dr
Miembro

.....

Ing. Florencio Teodoro Trujillo Cuellar, Dr.
Miembro

.....

Ing. Manuel Chavesta Custodio, Dr.
Asesor

.....

Ing. Rolando Antonio Montenegro Muro. Mg.Sc
Coasesor

DEDICATORIA

A mis padres, Martin y Deny por su apoyo incondicional

A mis hermanos, Yazmin y Fabio.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Ignacio Larco, Mg. Sc. Por haberme dado la oportunidad y confianza de realizar la investigación de la madera en su plantación, acompañamiento técnico en la fase de campo y por preocupación en todo el proceso de investigación.

Agradezco a mi asesor Dr. Manuel Chavesta y a mi coasesor Mg. Sc. Rolando Montenegro por su paciencia y disposición para guiarme durante todo el proceso, desde la selección del tema hasta la presentación final. Sus comentarios y sugerencias me permitieron mejorar mi trabajo y alcanzar los objetivos que me propuse. Quiero que sepan que su apoyo ha sido fundamental para mi formación académica y profesional. Agradezco su compromiso y generosidad al compartir su tiempo y experiencia conmigo.

A mis padres, Martín Rosales y Deny Aliaga. Agradezco su apoyo incondicional, el tiempo y esfuerzo en toda mi formación académica, que a pesar de mis tropiezos nunca dejaron de apoyarme.

A mis compañeros que me apoyaron en el traslado de la madera, Aldair, Jeffry, Oscar y Marilin, Agradezco su apoyo desinteresado.

Agradezco a María Cuno por su apoyo emocional, por acompañarme en todo el proceso de la investigación, desde su planteamiento hasta el término de esta. Agradezco su apoyo en el laboratorio y las largas horas de trabajo. Agradezco su paciencia y sus palabras de ánimo desde el primer día.

Por último, Agradezco a cada una de las personas que me han acompañado en esta etapa y han colaborado en la realización de la presente investigación.

RESUMEN

En la presente investigación se determinaron las propiedades mecánicas de la madera de *Pinus maximinoi* de una plantación de 19 años, en dos niveles longitudinales. Se evaluaron cinco árboles provenientes de Oxapampa, Perú. Los ensayos mecánicos se ejecutaron según normas técnicas peruanas en condición verde. Para evaluar el comportamiento longitudinal de las propiedades mecánicas se realizó un ANOVA, utilizando un diseño en bloque completamente al azar (DBCA) y la prueba t-student y determinar si existe diferencia significativa entre los niveles. Se encontró que la madera de *Pinus maximinoi* es de muy baja resistencia mecánica. El MOE en flexión estática, RM en compresión paralela y tenacidad fueron mayores en el nivel basal comparado con el medio, en el resto de ensayos no se encontraron diferencias significativas. En base a los resultados obtenidos, se propone el uso de la madera de *Pinus maximinoi* en: Cajonería, mueblería, material de recubrimiento, pallets de un solo uso y carpintería en general.

Palabras clave: Propiedades mecánicas, plantación, *Pinus maximinoi*, Oxapampa.

ABSTRACT

In the present investigation, the mechanical properties of *Pinus maximinoi* wood from a 19-year-old plantation were determined, in two longitudinal levels. Five trees from Oxapampa, Peru were evaluated. The mechanical tests were carried out according to Peruvian technical standards in a humid condition. To evaluate the longitudinal behavior of the mechanical properties, an ANOVA was performed, using a completely randomized block design (DBCA) and the t-student test to determine if there is a significant difference between the levels. *Pinus maximinoi* wood was found to have very low mechanical resistance. The MOE in static flexion, RM in parallel compression and tenacity were higher at the baseline level compared to the mean, in the rest of the trials no significant differences were found. Based on the results obtained, the use of *Pinus maximinoi* wood is proposed in: Drawers, furniture, covering material, single-use pallets and carpentry in general.

Keywords: Mechanical properties, plantation, *Pinus maximinoi*, Oxapampa.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE.....	3
2.1.1. TAXONOMÍA.....	3
2.2. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.....	3
2.3. ECOLOGÍA	3
2.4. ANATOMÍA DE LA MADERA.....	3
2.5. PROPIEDADES FÍSICAS.....	3
2.6. PROPIEDADES MECÁNICAS	4
2.7. ANTECEDENTES SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS ...	5
2.7.1. PROPIEDADES FÍSICAS.....	5
2.8. PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>Pinus maximinoi</i>	7
2.9. USOS	8
2.10. VARIABILIDAD DE LA MADERA.....	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	¡Error! Marcador no definido.
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	11
3.2. ZONA DE ESTUDIO.....	11
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS	12
3.4. SELECCIÓN DE ÁRBOLES.....	13
3.5. TUMBADO Y TROZADO.....	14
3.6. ENSAYOS MECÁNICOS	15
3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	17
3.7.1. MODELO ESTADÍSTICO.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	18
4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD	18
4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS	18
4.4. EVALUACIÓN DEL NIVEL LONGITUDINAL	20
4.4. APTITUD DE USO	22
V. CONCLUSIONES	23
VI. RECOMENDACIONES	24

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	¡Error! Marcador no definido.
VIII. ANEXOS.....	29

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PROPUESTA POR RIVERO (2004).....	5
TABLA 2. VALORES DE DENSIDAD BÁSICA DE <i>PINUS MAXIMINOI</i> SEGÚN DE OLIVERA (2019) Y KLOCK (2000) A DIFERENTES ALTURAS	6
TABLA 3. PROPIEDADES MECÁNICAS PRESENTADAS POR CAMPOS Y KLOCK	7
TABLA 4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE <i>PINUS MAXIMINOI</i> DE 12 AÑOS A DIFERENTES ALTURAS	8
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS DE LOS ÁRBOLES	13
TABLA 6. NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	16
TABLA 7. NÚMERO DE PROBETAS SEGÚN ENSAYO Y NIVEL LONGITUDINAL	16
TABLA 8. CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO DE LAS PROBETAS PARA CADA PROPIEDAD MECÁNICA	18
TABLA 9. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL <i>PINUS MAXIMINOI</i>.....	19
TABLA 10. CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN RIVEROS (2004)	19
TABLA 11. PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL NIVEL BASAL Y MEDIO. .	21
TABLA 12. PRUEBA T-STUDENT ENTRE EL NIVEL BASAL Y MEDIO.....	21
TABLA 13. USOS DE DIFERENTES PINOS SEGÚN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS	22

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LOS INDIVIDUOS DE <i>P. MAXIMINOI</i> “PUSAPNO”	
11	
FIGURA 2. ÁRBOL TUMBADO	13
FIGURA 3. DIVISIÓN DEL ARBOL EN TRES NIVELES SEGÚN SU ALTURA COMERCIAL.....	14
FIGURA 4. TROZA CODIFICADA	15
FIGURA 5. COMPARACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	20

Índice de Anexos

Página

ANEXO 1: PRUEBA DE NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD DE VARIANZA 29

ANEXO 2: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS
..... 32

ANEXO 3: PRUEBA T-STUDENT 34

ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS UTILIZADAS DURANTE LOS
ENSAYOS 37

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú la superficie de plantaciones forestales es relativamente baja en comparación con otros países, cubriendo un área de 88 944 ha registradas en el 2022 (SERFOR, 2022) Estas se desarrollan en áreas delimitadas y relativamente pequeñas, siendo las comunidades campesinas las que cuentan con la mayor parte de superficie plantada, especialmente en la sierra, seguida por la costa y la selva. Las especies más plantadas son eucalipto y pinos, debido a su rápido crecimiento (Guariguata, Arce, Ammour, & Capella, 2017).

Oxapampa es uno de los lugares pioneros en donde se han establecido plantaciones forestales. Inicialmente se aprovechaban especies nativas como nogal, cedro, quillobordón, etc. Debido a la explotación de éstas, y a una demanda de madera aserrada que va en aumento, se introdujeron especies exóticas de rápido crecimiento como los pinos. Los comuneros plantaron diferentes pinos que se tenían en el mercado: *Pinus tecunumani*, *Pinus oocarpa* y *Pinus radiata*, para luego elegir el de mejor desarrollo. (I. Larco, Comunicación personal, 30 de mayo del 2021).

En la actualidad, la madera de estas plantaciones no cuenta con información en lo referente a sus propiedades mecánicas (PM); de importancia para la mejor utilización de la madera. Así tenemos que la asociación Las Palmeras aprovecha la madera de *Pinus maximinoi*, sin esta información; sin embargo, en otros países como Guatemala la especie es muy utilizada para reforestar y como material estructural, demostrando mejores valores que otros pinos mencionados anteriormente (Arteaga & Pérez, 2001).

En este contexto surge la necesidad de determinar las propiedades mecánicas del *Pinus maximinoi* y verificar si existen variaciones de las propiedades mecánicas en dos niveles axiales, que permitirá el uso correcto de la especie en función a sus propiedades mecánicas y edad, contribuyendo para futuros estudios y determinar la edad de madurez tecnológica,

generando información sobre la calidad de madera provenientes de plantaciones, fomentado su utilización y valor en el mercado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de la especie

2.1.1. Taxonomía

La clasificación de la especie es la siguiente (WFO, 2022):

Reino: Plantae

Clase: Equisetopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: Pinus

Nombre científico: *Pinus maximinoi* H.E. Moore

Nombre común: “Pino” (Perú), “Pino canis” (Honduras), “Pino Candelillo” (Guatemala)

Sinónimos botánicos: *Pinus tenuifolia*

2.2. Distribución geográfica

Pinus maximinoi es una especie originaria de Centroamérica, se encuentra en: México, Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. Se reporta que existen grandes áreas de plantaciones de *Pinus maximinoi* en México y Guatemala, pero con poca información sobre estas. Debido a su amplitud altitudinal y latitudinal, ha sido introducida en Brasil, Colombia,

Venezuela y en el Sur de África (Arteaga & Pérez 2001; Instituto Nacional del Bosque, 2017).

2.3. Ecología

Se encuentra en las zonas de vida bosque muy húmedo Subtropical frío bmh-S(f) y bosque húmedo Subtropical templado bh-S(t) con temperaturas entre 18° a 22°C, una precipitación promedio de 2 000 mm y entre 900 a 1500 msnm. Con respecto a la fisiografía, suele alcanzar mayores alturas en pendientes menores a 30% y en suelos con un pH relativamente ácidos de 4 a 4,7 (Instituto Nacional del Bosque, 2017).

Tanto la amplitud longitudinal como la altitudinal son extensas, gracias a ellos se puede adaptar con facilidad. En cuanto a las interacciones con otros componentes bióticos y abióticos se ha estudiado muy poco ya que el mayor beneficio de esta especie es su madera y no su función ecológica en el bosque (Arteaga & Pérez, 2001).

2.4. Anatomía de la madera

La madera de *Pinus maximinoi* presenta una coloración marrón clara, sin diferencia entre albura y duramen, sin olor característico y clasificada como blanda. Los anillos de crecimiento son visibles y existe una transición gradual entre la madera temprana y la tardía (Olivera, 2019).

Microscópicamente las traqueidas tienen paredes delgadas con contorno poligonal, presenta puntuaciones aereoladas uniseriadas. Los radios son uniseriados, heterocelulares. El campo de entrecruzamiento presenta de 2 a 6 puntuaciones de tipo pinoide. Presenta canales resiníferos y cristales ausentes (Olivera, 2019).

2.5. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de la madera, son las reacciones ante ciertos factores que se encuentran en el medio ambiente (humedad y temperatura) sin causar una reacción química o mecánica. Existen muchos factores que influyen en las propiedades físicas como: La disposición y orientación de los elementos anatómicos, porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina, contenido de agua, presencia de extractivos, entre otros (Suirezs & Gilson, 2009).

Una de las propiedades físicas más importante es la densidad, la cual se expresa como la relación entre la masa y el volumen. Dicha propiedad está directamente relacionada con la durabilidad y la dureza de la madera, siendo estas mayores mientras más densa sea la madera. Además, está relacionada con las características anatómicas como el espesor de la pared celular, largo y diámetro del lumen o de la traqueida (Batista, Klitzke, & Santos, 2010).

Una de las características más estudiadas en la madera es la densidad básica debido a su fácil determinación, está se expresa como la relación entre la masa seca y el volumen anhidro; es decir, la cantidad de materia leñosa seca por unidad de volumen en condición saturada (Suirezs & Gilson, 2009).

2.6. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son valores que definen la resistencia y la aptitud de la madera a diferentes esfuerzos, estos están expresados en kilogramos por centímetro cuadrado y nos dan una noción del uso que se le puede dar a la especie (Quintana, Cabudivo, Espiritu, & Cabudivo, 2011). Estas se agrupan en resistencia estática, dinámica y dureza en base al comportamiento de la madera a la carga, así como al plano de corte en el que se efectúe.

Se destaca que las propiedades mecánicas están directamente relacionadas con la densidad básica, contenido de humedad, ancho de anillos, inclinación fibrilar, presencia de extractivos, entre otros (Spavento, Keil, & Monteoliva, 2008).

Dentro de las propiedades mecánicas se encuentra la flexión estática, esta se da cuando la madera es sometida a una carga a lo largo. Para ello la pieza a ensayar debe tener una gran longitud. Al realizar este ensayo se producen tres esfuerzos: Esfuerzo de compresión, de tracción y de corte o cizallamiento en la parte superior, inferior y en el centro respectivamente. La madera es sometida a este esfuerzo cuando se utiliza en vigas, viguetas, asientos de sillas, entre otros (Sotomayor, 2015).

La compresión paralela a la fibra se da cuando la madera es sometida a dos fuerzas iguales en sentido contrario aplicada en el área transversal. Este esfuerzo se da cuando la madera se usa en columnas o en patas de sillas. La compresión perpendicular a las fibras se da cuando

la fuerza se encuentra en una cara longitudinal de la madera, por ejemplo, en solares o durmientes (Suirezs & Gilson, 2009).

La dureza es la resistencia que ofrece la madera a la penetración de un cuerpo más duro, una madera dura es indicada para un uso en pisos. El cizallamiento es la resistencia al deslizamiento y se da cuando las fibras o traqueidas son separadas entre sí, esta fuerza se da en uniones de madera. La tenacidad es la resistencia de la madera al impacto y esta depende de la capacidad de absorber energía; cabe destacar que es la única propiedad que aumenta en resistencia al aumentar el contenido de humedad (Suirezs & Gilson, 2009).

En la Tabla 1 se muestra la clasificación de las propiedades mecánicas en condición húmeda propuestas por Rivero (2004), citado por Spavento et al. (2008).

Tabla 1: Clasificación de las propiedades mecánicas propuesta por Rivero (2004)

Propiedades Mecánicas		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Flexión estática	MOE (t/cm ²)	<100	101-120	121-150	151-200	>200
	MOR (kg/cm ²)	<500	500-950	951-1220	1221-1750	>1750
Compresión Paralela	RM (kg/cm ²)	<200	201-300	301-400	401-500	>500
Compresión perpendicular	ELP (kg/cm ²)	<25	26-50	51-75	76-100	>100
Dureza	Lados (kg/cm ²)	<300	301-500	501-700	701-1000	>1000
Cizallamiento	Resistencia (kg/cm ²)	<40	40-85	86-120	121-175	>175

MOR: Modulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidad; ELP: Esfuerzo al límite proporcional; RM: Resistencia máxima

Fuente: Spavento et al. (2008)

2.7. Antecedentes sobre propiedades físicas y mecánicas

2.7.1. Propiedades físicas

Existen estudios de *P. maximinoi* a distintas edades y con diferentes tratamientos silviculturales. En la Tabla 2 se presentan promedios de la densidad básica de la madera de *Pinus maximinoi* de distintas edades, procedencias y niveles en base a la información mencionada.

En dicha tabla se observa que tanto Olivera (2019) como Klock (2000) reportan bajos valores de densidad básica para *P. maximinoi* de 7 y 11 años clasificada como madera blanda. Asimismo, ambos autores y para edades diferentes reportan que la densidad básica varía según la altura, con mayores valores en la base debido a la mayor proporción de madera tardía en la zona basal y disminuyendo a la parte apical.

Agrega que la disminución de la densidad básica es común en el género *Pinus* debido a factores genéticos, ambientales, silviculturales, entre otros; pudiendo variar hasta en 30% con respecto al promedio (Klock, 2000).

Tabla 2: Valores de densidad básica de *Pinus maximinoi* según De Olivera (2019) y Klock (2000) a diferentes alturas

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

Campos (2015) al evaluar las propiedades físicas y mecánicas de *P. maximinoi* de un segundo raleo, a los 11 años y de cosecha final, a los 30 años; encontró valores promedio de densidad seca al aire de 0,49 g/cm³ y 0,68 g/cm³ en ambas condiciones, calificándola como madera ligera y dura respectivamente. Agrega que el resultado es el esperado ya que la densidad aumenta con la edad.

Paredes (2017), al evaluar el comportamiento longitudinal de la densidad seca al aire en una plantación de 12 años en Guatemala, encontró valores de 0,63 g/cm³, 0,62 g/cm³ y 0,51 g/cm³ en el nivel basal, medio y apical respectivamente, con mayores valores en el nivel basal y medio respecto al apical.

2.8. Propiedades mecánicas de *Pinus maximinoi*

En la Tabla 3, se presentan las propiedades mecánicas de *P. maximinoi* según Campos (2015) en estado verde y Klock (2000) con una humedad al 12%.

Tabla 3: Propiedades mecánicas presentadas por Campos y Klock

Propiedades			<i>Campos (2015)</i>		<i>Klock (2000)</i>
			11 años	30 años	11 años (12%)
Flexión estática	MOR	kg/cm ²	283	422	674
	MOE	t/cm ²	53	121	85
Compresión paralela	RM	kg/cm ²	137	228	246
	MOE	t/cm ²	-	-	70
Compresión perpendicular	ELP	kg/cm ²	49	41	-
Cizallamiento		kg/cm ²	45	62	93
Dureza	Lados	kg/cm ²	234	359	348

MOR: Modulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidad; ELP: Esfuerzo al límite proporcional; RM: Resistencia máxima

En la Tabla 3, Campos (2015) conforme a lo propuesto por Rivero (2004) clasifica la madera de 11 años en la mayoría de propiedades como de muy baja resistencia, excepto en el ELP en compresión paralela donde la califica como de baja resistencia. En cuanto a la madera de 30 años la califica como de baja resistencia excepto en el MOE en flexión estática donde la califica como de mediana resistencia. Conforme a la tabla, las propiedades de la madera de 11 años la diferencia en resistencia se da debido a que Klock (2000) los determinó al 12% de humedad.

Klock (2000) señala que sus resultados tuvieron un coeficiente de variabilidad hasta el 30%, esto se debe a la variabilidad en la madera juvenil, la cual es una característica en las especies

del género *Pinus*, disminuyendo a medida que el árbol va madurando y desarrollando madera adulta.

En la Tabla 4 se presentan valores para las propiedades mecánicas de flexión estática, compresión paralela y perpendicular reportadas por Paredes (2017) a diferentes alturas a una edad de 12 años y humedad promedio de 18%.

Tabla 4: Propiedades mecánicas de *Pinus maximinoi* de 12 años a diferentes alturas

Propiedad evaluada	Nivel	Resultado
MOE (flexión) (t/cm ²)	Basal	49
	Medio	48
	Apical	47
MOR (flexión) (kg/cm ²)	Basal	698
	Medio	638
	Apical	564
RM (Compresión paralela a la fibra) (kg/cm ²)	Basal	251
	Medio	220
	Apical	200
ELP (Compresión perpendicular a la fibra) (kg/cm ²)	Basal	98
	Medio	90
	Apical	66

Paredes (2017) califica la madera como de muy baja rigidez en MOE en flexión y de baja resistencia en MOR en flexión y RM en compresión paralela a la fibra en los tres niveles (Tabla 4). Así mismo, en ELP en compresión perpendicular califica la madera como de alta resistencia en el nivel basal y medio y mediana en el apical. Además, el autor demuestra que existe una disminución en la resistencia mecánica, siendo el nivel basal el que muestra los mayores valores y el apical los menores; existiendo diferencia significativa en el MOR en flexión y ELP en compresión perpendicular entre el nivel basal y medio con el apical y en RM en compresión paralela entre el nivel basal con el medio y apical.

2.9. Usos

Arteaga & Pérez (2001) y Farjon (2013) mencionan que el *Pinus maximinoi* es usado para la producción pulpa de papel debido a su rápido crecimiento; además, su madera blanda,

ligera y trabajable; es perfecta para la construcción (vigas y tablones), carpintería, ebanistería, mangos de herramientas, etc. Paredes (2017) agrega que la madera tiene utilidad en la construcción, pero no en un uso estructural.

2.10. Variabilidad de la madera

Alvarez (2019) menciona que la madera a pesar de presentar características que son comunes sin importar la especie, como la estructura celular, su composición química (celulosa, hemicelulosa y lignina), la anisotropía, la higroscopicidad y la susceptibilidad al ataque de agentes biológicos y no biológicos; existen diferentes fuentes de variaciones para proponer un uso en particular a cada madera.

Las principales causas de variación en la madera, son las diferentes características anatómicas y propiedades físicas y mecánicas que existen entre especies arbóreas, debido a que estas se desarrollan en localidades diferentes, adaptándose a su entorno (Chavesta, 2020).

En cuanto a la variabilidad de la madera en árboles de la misma especie, el factor más importante es el cambio de la densidad en el eje axial y radial del fuste, característica que se presenta debido a un factor fisiológico y genético. Por lo general, en árboles de la especie *Pinus* la densidad disminuye a medida en que aumenta la altura, debido a que la cantidad de anillos de crecimientos, va decreciendo con respecto a la altura; lo cual hace que la proporción de madera tardía con respecto a la temprana aumente a lo largo del fuste (Kollman,1984).

Según Panshin y De Zeeuw (1980) otros factores que causan esta variabilidad es la calidad del sitio en donde se esté desarrollando los individuos, su ascendencia y si ha sido sometido a tratamiento silvicultural (podas y raleos). En un individuo proveniente de un bosque natural, son mayores las fuentes de variación y no son fáciles de detectar y controlar. En cambio, cuando el individuo proviene de una plantación, factores como la pendiente, la competencia entre individuos, la calidad del sitio, entre otros; se puede modificar con mayor facilidad con el uso de tratamientos silviculturales.

En plantaciones de especies de rápido crecimiento como *Pinus* y *Eucalyptus* se presenta mayor cantidad de madera juvenil. Este tipo de madera se caracteriza por presentar fibras o traqueidas más cortas, paredes celulares más delgadas y un diámetro de lumen más grande, produciendo madera de menor densidad, menor resistencia y menor estabilidad dimensional, características que no son deseables para un uso maderable. Este tipo de madera también está asociada a la edad fisiológica del individuo y se puede encontrar entre el quinto y vigésimo anillo de crecimiento para el género *Pinus* (Klock 2000).

III. METODOLOGÍA

3.1. Lugar de ejecución

El estudio se realizó en el Laboratorio de Ensayos Tecnológicos de la Madera, del Departamento Académico de Industrias Forestales, de la Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.2. Zona de estudio

La plantación de *Pinus maximinoi* proviene de Pusapno – Caserío las Palmeras, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa, departamento Cerro de Pasco (Figura 1). Las coordenadas son X: 0449100 y Y: 8819096 (Datum WSG: 1984, Zona: 18L) con una altitud de 1538 m s.n.m, temperatura de 12 a 23 °C y precipitación anual de 3474 mm (Weather Spark, 2021).

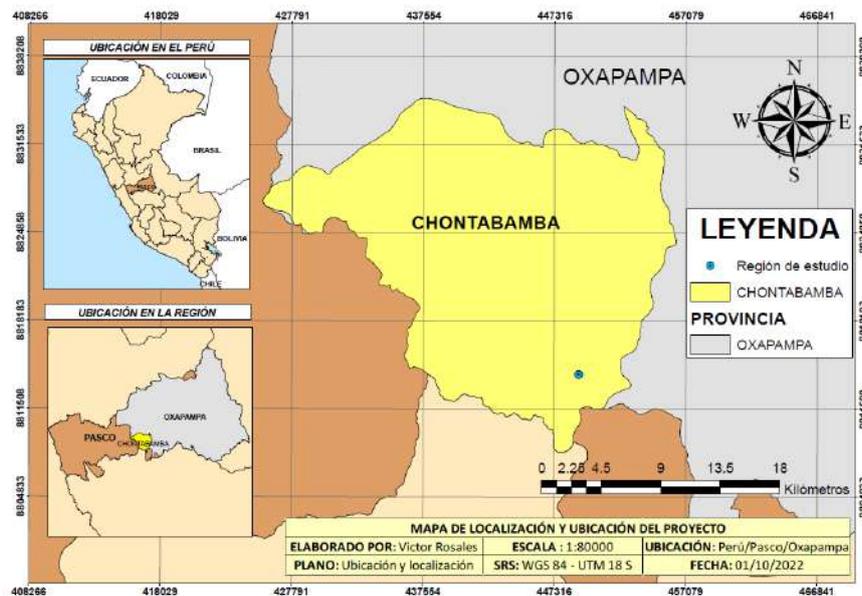


Figura 1. Ubicación de los individuos de *P. maximinoi* “Pusapno”

“La plantación tiene 19 años, corresponde a la cosecha final y tiene un área aproximada de 16 ha. Dicha plantación no ha recibido ningún tipo de tratamiento silvicultural, por lo que muchos árboles se encuentran bifurcados y con diferentes diámetros” (I. Larco, Comunicación personal, 30 de mayo del 2021).

3.3. Materiales y equipos

Para la ejecución de la investigación se necesitaron:

Materiales de campo

- Libreta de campo
- Plumón indeleble
- Papel film
- Preservante
- Brocha
- GPS
- Forcípula
- Motosierra

Materiales de laboratorio

- Desecador de laboratorio con silicagel
- Deflectómetro
- Cuchilla
- Lupa 10 X
- Clavos

Equipos

- Balanza digital “Adam” precisión 0,01 g
- Prensa universal y accesorios “Tinius Olsen” capacidad 60 000 lb

- Probadora de tenacidad “Wiedemann Baldwin”
- Estufa eléctrica “Memmert” de 103 ± 2 °C
- Vernier digital “Mitutoyo” de precisión 0,01 mm

3.4. Selección de árboles

Conforme a la NTP 251.008 (2016), se seleccionaron de forma aleatoria cinco árboles de *Pinus maximinoi* de 19 años, sanos y sin defectos. A los árboles seleccionados se les midió: la altura comercial (hc), altura total (ht) y el diámetro a la altura del pecho (dap). En la Tabla 5 se presentan las características dasométricas de los árboles y en la Figura 2 uno de los árboles tumbados.

Tabla 5: Características dasométricas de los árboles

N° de árbol	dap (cm)	hc (m)	ht (m)
1	38	20	37
2	24	20	30
3	44	25	32
4	37,5	10,5	31
5	44,5	20	25



Figura 2. Árbol tumbado de *Pinus maximinoi*

3.5. Tumbado y trozado

Los árboles se tumbaron con ayuda de una motosierra. Los niveles axiales se delimitaron dividiendo la altura comercial en tres partes, siendo la parte más baja la basal, y la más alta la apical, como se muestra en la Figura 3.

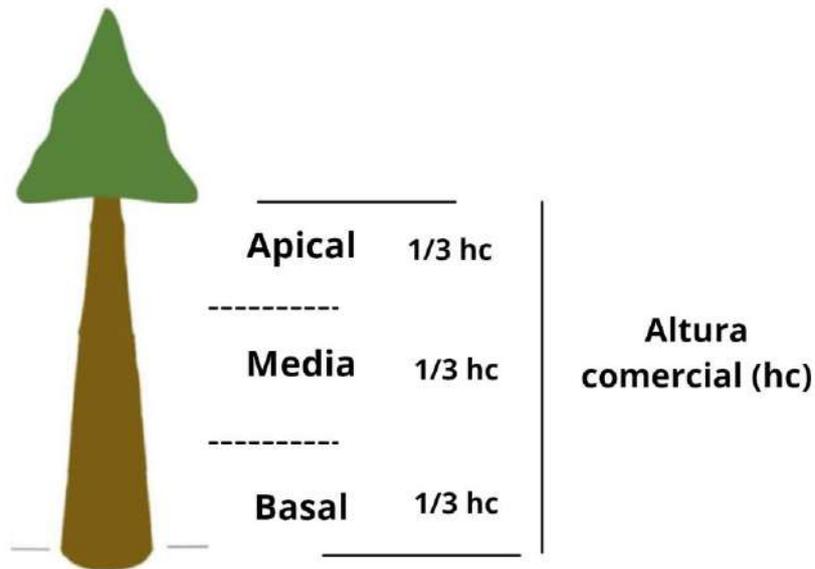
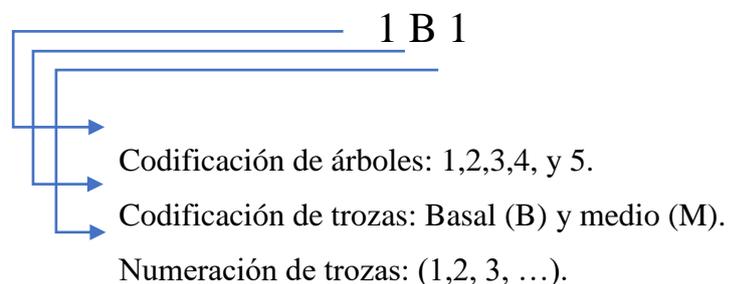


Figura 3. División del árbol en tres niveles según su altura comercial

De cada árbol se obtuvieron trozas de dos metros para el nivel basal y medio. No se obtuvieron trozas del nivel apical debido a que tuvieron un diámetro menor a 25 cm y defectos frecuentes. La codificación utilizada para los árboles y trozas fue la siguiente:



La codificación 1 B 1 quiere decir que proviene del árbol 1, de la parte basal y es la primera troza de dos metros de la parte basal. En la figura 4 se observa una troza codificada.



Figura 4. Troza codificada de *Pinus maximinoi*

3.6. Ensayos mecánicos

Se prepararon 2 listones de 5 cm x 5 cm x 1 m de cada troza para el nivel basal y medio, debidamente orientados en sus tres planos de corte con la misma codificación que las trozas. Las probetas fueron envueltas en papel film con el fin de mantener el contenido de humedad sobre el punto de saturación de las fibras. Las dimensiones de las probetas, los materiales a usar y las variables a determinar en los ensayos mecánicos se especifican según la norma técnica correspondiente (Tabla 6). Se debe señalar que el contenido de humedad y la densidad se determinó según la NTP 251.010.2020 y la NTP 251.011.2014 respectivamente. La cantidad de probetas según ensayo se muestra en la Tabla 7.

Tabla 6: Normas técnicas empleadas para determinar las propiedades mecánicas

Propiedades Mecánicas	Norma
Método de ensayo de flexión estática	NTP 251.017.2014
Método de determinación de compresión paralela al grano	NTP 251.014.2020
Método de determinación de compresión perpendicular al grano	NTP 251.016.2015
Método de determinación de cizallamiento paralela al grano	NTP 251.013.2015
Método de determinación de dureza	NTP 251.015.2020
Método de determinación de tenacidad	NTP 251.018.2020

Tabla 7: Número de probetas según ensayo y nivel longitudinal

Ensayo	Nivel	Nº Probetas/ árbol	Total
Flexión estática	Basal	5	50
	Medio	5	
Compresión paralela	Basal	5	50
	Medio	5	
Compresión perpendicular	Basal	5	50
	Medio	5	
Cizallamiento	Basal	8	80
	Medio	8	
Dureza	Basal	5	50
	Medio	5	
Tenacidad	Basal	10	100
	Medio	10	

3.7. Procesamiento y análisis de datos

Para encontrar los valores de módulo de elasticidad (MOE), módulo de ruptura (MOR), esfuerzo al límite proporcional (ELP) y resistencia máxima (RM). Los datos se plasmaron en un papel milimetrado, donde se encontró el punto de inflexión y la carga máxima. Los datos obtenidos se ordenaron y procesaron el software Microsoft Excel y R Studio.

Para evaluar el comportamiento longitudinal de las propiedades mecánicas se realizó un ANOVA, utilizando un diseño en bloque completamente al azar (DBCA), donde la variable de interés es la posición longitudinal, la cual posee dos niveles; y se considera como bloque al árbol.

3.7.1. Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1,2,3 \dots t \\ j = 1,2,3 \dots r \end{cases}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta observada o medida en el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo bloque

μ = Media general de la variable respuesta (Propiedades mecánicas).

t_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ε_{ij} = Error asociado a la ij-ésima unidad experimental

Con el fin de determinar si existe diferencia significativa entre el nivel basal y medio se realizó una prueba t-Student con un nivel de significancia del 95%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de humedad y densidad

En la Tabla 8 se muestra el contenido de humedad promedio y la densidad básica de las probetas al que se realizó cada ensayo. Todas las muestras se encontraron por encima del punto de saturación de las fibras. Dicha condición se mantiene tras el corte, tal como se indica en la metodología. En la tabla también se observan diferencias entre el contenido de humedad y densidad básica (db) en las diferentes propiedades mecánicas; en el contenido de humedad se debe a que las probetas perdieron humedad conforme se fueron ensayando y en la densidad básica a la heterogeneidad de la madera a lo largo del fuste.

Tabla 8: Contenido de humedad promedio y densidad básica de las probetas para cada propiedad mecánica

Propiedades Mecánicas	CH%	Densidad básica
Flexión estática	138	0,41
Compresión paralela	147	0,39
Compresión perpendicular	146	0,43
Dureza	140	0,41
Cizallamiento	127	0,42
Tenacidad	152	0,39
Promedio	142	0,41

4.2. Propiedades mecánicas

Los valores promedios, el límite inferior (LI), límite superior (LS) y el coeficiente de variabilidad (CV) para las propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Propiedades mecánicas del *Pinus maximinoi*

Propiedades Mecánicas		Media	LI	LS	CV%
Flexión estática	ELP kg/cm ²	132,1	120,7	143,5	30,9
	MOR kg/cm ²	390	377,5	402,6	11,5
	MOE t/cm ²	89,2	83,3	95,1	23,8
Compresión paralela	ELP kg/cm ²	107,1	100	114,1	23,6
	RM kg/cm ²	185,4	178,7	192	12,9
	MOE t/cm ²	84,5	78,4	90,6	25,9
Compresión perpendicular	ELP kg/cm ²	19,5	18,7	20,3	14,6
Dureza	Extremos kg/cm ²	230,3	220	240,7	16,1
	Lados kg/cm ²	222,3	207,6	237	23,7
Cizallamiento	Resistencia kg/cm ²	57	54,9	59,2	17,1
Tenacidad	kg-m	1,7	1,6	1,8	28,4

LI: Límite inferior; LS: Límite superior; CV%: Coeficiente de variabilidad; ELP: Esfuerzo al límite proporcional; MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidad; RM: Resistencia máxima

Conforme a los resultados obtenidos y rangos propuestos por Riveros (2004), citado por Spavento et al. (2008), la resistencia mecánica de la madera se clasifica como muy baja; excepto en cizallamiento, donde es baja (Ver Tabla 10). Los resultados coinciden con Campos (2015) para madera de 11 años, pero difieren de Klock (2000), quien en *Pinus maximinoi* de 11 años halló valores bajos para MOR en Flexión estática, resistencia máxima en compresión paralela y dureza; así como valores medios en cizallamiento. Respecto a la variabilidad concuerda con Vignote & Martínez (2006), quien afirma que existe una gran dispersión en los valores de resistencia, con coeficientes de variación que van de 15 a 20%.

Tabla 10: Clasificación de las propiedades mecánicas según Riveros (2004)

Propiedades Mecánicas		Promedio	Clasificación Riveros (2004)
Flexión estática	MOE t/cm ²	89,2	Muy Bajo
	MOR kg/cm ²	390,0	Muy Bajo
Compresión Paralela	RM kg/cm ²	185,4	Muy bajo
Compresión perpendicular	ELP kg/cm ²	19,5	Muy Bajo
Dureza	Extremos kg/cm ²	230,3	Muy Bajo
	Lados kg/cm ²	222,3	Muy Bajo
Cizallamiento	Resistencia kg/cm ²	57,0	Bajo

En la Figura 5 se comparan los resultados obtenidos con los reportados por otros autores. Se aprecia que, para la mayoría de propiedades mecánicas, la resistencia mecánica aumenta conforme aumenta la edad. Esto se debe a un aumento de la densidad con la edad, siendo el factor de mayor influencia en la resistencia mecánica. En cuanto a la compresión perpendicular Campos (2015) indica que la madera de 11 años presento mayor resistencia que la de 30 años en condicion verde, dando indicios que a medida que aumenta la edad disminuye la resistencia en compresión perpendicular y esto se puede deber al contenido de humedad.

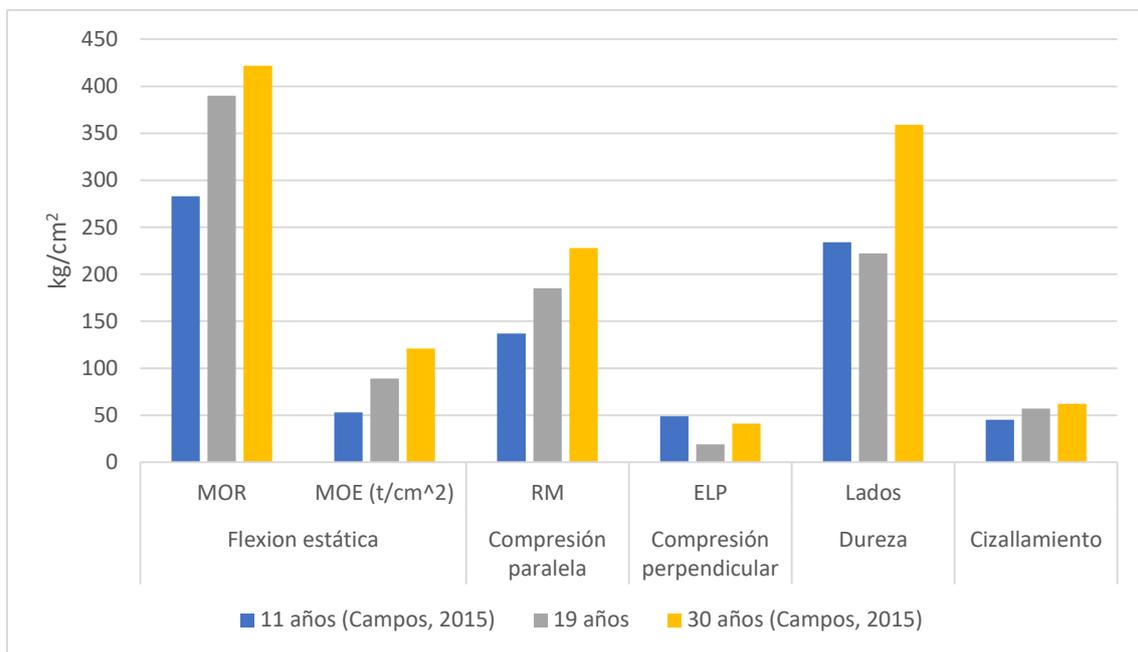


Figura 5. Comparación de los valores promedios de las propiedades mecánicas

4.4. Evaluación del nivel longitudinal

En la Tabla 11 se muestra la resistencia de la madera en las propiedades mecánicas para la zona basal y media, donde el nivel basal tiene mayor resistencia que el nivel medio en todos los ensayos. Los coeficientes de variabilidad obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por Klock (2000) quien señala que dicha variación se debe a la heterogeneidad que se presenta a lo largo del fuste. Además, Olivera (2015) indica que la disminución de la densidad del nivel basal a la apical tiene relación con la disminución de los anillos de crecimiento. Finalmente, señalar que la variabilidad de las propiedades mecánicas y

densidad se debe a la falta de tratamientos silviculturales conforme a lo manifestado por el dueño de la plantación.

Tabla 11: Propiedades mecánicas en el nivel basal y medio

Propiedades Mecánicas		Promedio		LI		LS		CV %	
		B	M	B	M	B	M	B	M
Flexión estática	ELP kg/cm ²	134,5	129,7	117,3	113,9	151,6	145,4	31,9	30,4
	MOE t/cm ²	98,5	80	90,9	72,1	106,1	87,7	19,2	24,3
	MOR kg/cm ²	392,5	387,6	379,3	365,6	405,6	409,6	8,4	14,2
Compresión Paralela	ELP kg/cm ²	113,1	101	102,9	91,4	123,4	110,5	22,7	23,7
	MOE t/cm ²	88,1	80,9	78,2	73,5	98	88,2	28	22,7
	RM kg/cm ²	193,6	177,2	188,1	165,6	199	188,7	7,1	16,3
Compresión Perpendicular	ELP kg/cm ²	19,9	19,2	19	17,9	20,8	20,5	11,6	17,4
Dureza	Extremos kg/cm ²	226,7	233,9	213,8	217,2	239,7	250,6	14,3	17,8
	Lados kg/cm ²	221,5	223,5	204,3	198,6	237,8	248,5	25,7	18,9
Cizallamiento	Resistencia kg/cm ²	57,8	56,26	54,7	53,3	60,9	59,3	17,3	17,1
Tenacidad	kg-m	1,8	1,6	1,7	1,4	2	1,7	29	24,5

Para determinar si existe diferencia significativa se realizó un ANOVA para los diferentes ensayos mecánicos, así como la prueba de normalidad y homogeneidad de varianza, donde se cumplieron ambos supuestos; además, los ensayos donde existió una diferencia significativa entre el nivel basal y medio fueron sometidos a la prueba t-student.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en la prueba t-student para tres propiedades mecánicas. Conforme a esta prueba, para estas tres propiedades, los valores del nivel basal superan al nivel medio. Los resultados obtenidos coinciden con Paredes (2017), donde muestra que existe diferencia significativa entre el nivel basal y medio en compresión paralela, mientras que en el resto de ensayos no existe dicha diferencia entre ambos niveles, más si con el nivel apical.

Tabla 12: Prueba T-Student entre el nivel basal y medio

Propiedades Mecánicas	Sig. (<0,05)	Basal	Medio
-----------------------	--------------	-------	-------

Flexión estática	MOE t/cm ²	*	98,5	80
Compresión paralela	RM kg/cm ²	*	193,6	177,2
Tenacidad	kg-m	*	1,8	1,6

4.4. Aptitud de uso

En la Tabla 13 se presentan las propiedades mecánicas importantes según usos. Se propone, que la madera de *P. maximinoi* puede ser utilizada en carpintería, machimbrado, pallets, chapas, cajonería, tableros aglomerados y tutores; estas propuestas de usos coinciden con los de Campos (2015) y Paredes (2017).

Tabla 13: Usos según sus propiedades mecánicas

Propiedades mecánicas	Usos	Autor
Dureza lados 253,6 kg/cm ² ; Dureza extremos 346,3 kg/cm ² ; Cizallamiento 61,3 kg/cm ² ; Tenacidad 0,5 kg-m	Carpintería, machimbrado, embalaje liviano y chapas.	Ramirez <i>et al.</i> (2004)
Compresión perpendicular 49,9 kg/cm ² ; RM 185,76 kg/cm ² ; MOR: 734,2 kg/cm	Pallets, tableros aglomerados y tutores	Chicaiza (2022)

V. CONCLUSIONES

- La madera de *Pinus maximinoi* de 19 años presentó muy bajos valores de resistencia mecánica
- Los valores de módulo de elasticidad en flexión estática, resistencia máxima en compresión paralela y tenacidad a nivel basal son mayores a la parte media. En el resto de propiedades mecánicas no se encontraron diferencias en los dos niveles evaluados.
- En base a los valores de resistencia mecánica para la madera de *Pinus maximinoi* de 19 años; se proponen los siguientes usos: Carpintería, machimbrado, pallets, chapas, cajonería, tablero aglomerado y tutores.

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar los mismos ensayos a un 12% de humedad con el fin de evaluar en cuanto aumenta su resistencia mecánica.
- Realizar evaluaciones con futuras plantaciones, considerando las condiciones de sitio, como el suelo y la fisiografía.
- Darles tratamientos silviculturales a futuras plantaciones, con el fin de mejorar la calidad del árbol, y con ello, la aptitud de uso de la madera.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R. (2019). Caracterización Físico-Mecánica de la Madera de *Teca Tectona grandis* L.f. Proveniente de una plantación en Chanchamayo-Perú (Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria la Molina). Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4947/alvarez-lozano-romina-rossana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arboretum. (1998). UMF. Obtenido de Universidad Francisco Marroquin: <https://arboretum.ufm.edu/plantas/pinus-maximinoi/>
- Arostegui, A. (1982). Recopilación y Análisis de Estudios Tecnológicos de Maderas Peruanas (Documento de trabajo N°2). Lima.
- Arteaga, B., & Pérez, A. (2001). *Pinus maximinoi* H.E. Moore: Una Especie Prometedora para plantaciones forestales Comerciales en. Foresta Veracruzana, 3(2), 63-70. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49703211>
- Bárcenaz-Pazos, G., Ortega-Escalona, F., Ángeles-Álvarez, G., & Ronzón-Peréz, P. (2005). Relación estructura-propiedades de la madera angiosperma mexicanas. Universidad y Ciencia, 21(42), 45-55.
- Batista, D., Klitzke, R., & Santos, C. (2010). Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de Eucalyptus. Ciência Florestal, 20(4), 665-674. Obtenido de <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2425/1488>
- Berendsohn, W., Kathrina, A., Rodríguez, D., & Galán, P. (2016). Nova Silva Cuscatlanica. Árboles nativos e introducidos de El Salvador. Parte 3: familias R - Z y Gymnospermae. Enlglera, 29(3), 146. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/342701595_Nova_Silva_Cuscatlanica_Arboles_nativos_e_introducidos_de_El_Salvador_Parte_3_familias_R_-_Z_y_Gymnospermae
- Campos, C. (2015). Determinación de Proiedades Físicas y Mecánicas de la madera de *Pinus maximinoi* H. E. Moore; COBÁN, ALTA VERAPAZ. (Tesis de pregrado). Universidad Rafael Landivar, Guatemala.

- 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). Obtenido de <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=38824&idprograma=40001016015P0&anobase=2019&idtc=1454>
- Chicaiza, M. (2022). Comparación de la propiedades físicas y mecánicas entre las especies arbóreas estudiadas: Platuquero, Pino caribe y Pino patula (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8879/1/1.%20Tesis%20Final.pdf>
- CONAFOR. (s.f.). Ficha Técnica del Comité Nacional Foresta. Guatemala. Obtenido de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/970Pinus%20maximinoi.pdf>
- Farjon, A. (2013). *Pinus maximinoi*. doi:<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42380A2976474>
- Gimenez, A., Moglia, J., & Roxana, P. (2005). Anatomía de madera (Segunda ed.). Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias forestales, Catedra Dendrologia.
- Guariguata, M., Arce, J., Ammour, t., & Capella, J. (2017). Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. (CIFOR, Ed.) Obtenido de Documento Ocasional 169: https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-169.pdf
- Huaman, T. (2020). Caracterización físico-mecánica de la madera de raleo de *Guazuma crinita* Martius Proveniente de plantaciones de tres años, Huánuco-Perú (Tesis de Pregrado, Universidad Agraria la Molina). Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4487/huaman-lude%c3%b1a-teresa-vanesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INACAL. (2014). Madera: Método de ensayo de flexión (NTP 251.017).
- INACAL. (2014). Madera: Método para determinar la densidad (NTP 251.011).
- INACAL. (2015). Madera: Método de cizallamiento paralelo al grano (NTP 251.013).
- INACAL. (2015). Madera: Método de determinación de compresión perpendicular al grano (NTP 251.016).
- INACAL. (2016). Madera: Selección y colección de árboles (NTP 251.008).
- INACAL. (2020). Madera: Método de determinación de compresión paralela al grano (NTP 251.014).

- INACAL. (2020). Madera: Método de determinación de dureza (NTP 251.015).
- INACAL. (2020). Madera: Método de determinacion de tenacidad NTP (251.018).
- INACAL. (2020). Madera: Método para determinar la humedad (NTP 251.010).
- Instituto Nacional del Bosque. (2017). Pino Candelillo (*Pinus maximinoi* H.E. Moore) Paquete tecnológico forestal. Guatemala: INAB. Obtenido de https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/PINO%20CANDELLILLO.pdf
- Klock, U. (2000). Qualidade da Madeira Juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. MOORE. (Tesis de doctorado). Universidad Federal do Paraná, Brasil.
- Kollman, F. (1984). Principles of Wood Science and Technology (Vol. I). Germany: Springer-Verlag.
- Olivera, B. (2019). Potencial da madeira de *Pinus maximinoi* aos sete anos para a produção de polpa celulósica kraft (Tesis de maestria, Universidade de São Paulo). Obtenido de https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-24072019-120543/publico/Renato_de_Oliveira_Baptista_versao_revisada.pdf
- Paredes, S. (2017). Propiedades Físicas y Mecánicas de *Pinus maximinoi* como material de construcción. (Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar). Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>
- Pashin, A., & De Zeeuw, C. (1980). Textbook of Wood Technology. New York, United State of America: Mc Graw-Hill Book Company. 4 th. Ed.
- Quintana, S., Cabudivo, A., Espiritu, J., & Cabudivo, J. (2011). Propiedades físico-mecánicas de las maderas de *Simarouba amara* (Aubl.) y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) de plantaciones de diferentes edades, San Juan Bautista, Loreto, Perú. Conocimiento Amazónico, 2(2), 115-123. Obtenido de <https://revistas.unapiquitos.edu.pe/ojs-2.4.8-5/index.php/Conocimientoamazonico/article/view/36/60>
- Ramírez, M., Garay, D., Reyes, E., & Valero, S. (2004). Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Pinus oocarpa* proveniente de aclareos en la plantación “Emilio Menotti Sposito”, de 35 años de edad con fines protectores Mérida, Edo Mérida (Venezuela). Rev. For. Lat., 21-36. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/ifla/v19n35/articulo3.pdf>
- SERFOR. (2022). ExpoAmazonica. Perú. Obtenido de <https://elperuano.pe/noticia/184093-serfor-registra-mas-de-88-mil-hectareas-de-plantaciones-forestales>

- Sotomayor, J. (2015). Comportamiento en flexión estática de vigas de madera antigua de *Picea abies*. *Ciencias Naturales e Ingenierías*, 7(13), 208-227.
- Spark, W. (26 de 09 de 2021). WatherSpark. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/22339/Clima-promedio-en-Chontabamba-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Spavento, E., Keil, G., & Monteoliva, S. (2008). *Propiedades Mecánicas de la Madera*. Universidad Nacional de la Plata. La Plata: Curso de Xilotecnia. Obtenido de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/1725/mod_resource/content/0/APUNTES_PROPIEDADES_MECANICAS_2008.pdf
- Suirezs, T., & Gilson, B. (2009). *Descripción de las propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera*. Argentina: Editorial Universitaria de Misiones.
- Vignote, S., & Martinez, I. (2006). *Tecnología de la madera*. Madrid: Mundi-Prensa.
- WFO. (2022). WFO (2022): *Pinus maximinoi* H.E Moore. Obtenido de <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000481770> Consultado el: 15 de octubre de 2022

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Prueba de normalidad y homogeneidad de varianza

Normalidad de ELP para flexión estática
Shapiro-Wilk normality test
data: ri
W = 0.98604, p-value = 0.8153

Homogeneidad de varianza de ELP para flexión estática
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.08620369, Df = 1, p = 0.76906

Normalidad de MOE para flexión estática
Shapiro-Wilk normality test
data: resid(modelo1)
W = 0.98719, p-value = 0.8599

Homogeneidad de varianza de MOE para flexión estática
Bartlett test of homogeneity of variances
data: resid(modelo1) by fe_n
Bartlett's K-squared = 0.0050341, df = 1, p-value = 0.9434

Normalidad de MOR para flexión estática
Shapiro-Wilk normality test
data: resid(modelo2)
W = 0.97236, p-value = 0.2878

Homogeneidad de varianza de MOR para flexión estática
Bartlett test of homogeneity of variances
data: resid(modelo2) by fe_n
Bartlett's K-squared = 1.8175, df = 1, p-value = 0.1776

Normalidad de ELP para compresión paralela
Shapiro-Wilk normality test
data: resid(modelo3)
W = 0.9917, p-value = 0.9775

Homogeneidad de varianza de ELP para compresión paralela
Bartlett test of homogeneity of variances
data: resid(modelo3) by fe_n
Bartlett's K-squared = 0.15821, df = 1, p-value = 0.6908

Normalidad de MOE para compresión paralela
Shapiro-Wilk normality test
data: resid(modelo4)
W = 0.94695, p-value = 0.0256

Homogeneidad de varianza de MOE para compresión paralela
Bartlett test of homogeneity of variances
data: resid(modelo4) by fe_n
Bartlett's K-squared = 0.63269, df = 1, p-value = 0.4264

Normalidad de MOR para compresión paralela
Shapiro-Wilk normality test
data: resid(modelo5)
W = 0.97314, p-value = 0.3092

Homogeneidad de varianza de MOR para compresión paralela
Bartlett test of homogeneity of variances
data: resid(modelo5) by fe_n
Bartlett's K-squared = 2.8201, df = 1, p-value = 0.09309

Normalidad de ELP para compresión perpendicular
Shapiro-Wilk normality test
data: ri
W = 0.95734, p-value = 0.06878

Homogeneidad de varianza de ELP para compresión perpendicular
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 2.837416, Df = 1, p = 0.092092

Normalidad de dureza en extremos
Shapiro-Wilk normality test
data: resid(modelo7)
W = 0.98398, p-value = 0.727

Homogeneidad de varianza de dureza en extremos
Bartlett test of homogeneity of variances
data: resid(modelo7) by fe_n
Bartlett's K-squared = 0.0056833, df = 1, p-value = 0.9399

Normalidad de dureza en lados
Shapiro-Wilk normality test
data: resid(modelo8)
W = 0.9616, p-value = 0.1038

Homogeneidad de varianza de dureza en lados
Bartlett test of homogeneity of variances
data: resid(modelo8) by fe_n
Bartlett's K-squared = 1.5751, df = 1, p-value = 0.2095

Normalidad en cizallamiento
Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(modelo9)
W = 0.98576, p-value = 0.5201

Homogeneidad de varianza de cizallamiento
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.06674471, Df = 1, p = 0.79614

Normalidad en tenacidad
Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(modelo10)
W = 0.98288, p-value = 0.2213

Homogeneidad de varianza de tenacidad
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 2.591588, Df = 1, p = 0.10743

ANEXO 2: Análisis de varianza para las propiedades mecánicas

ANOVA para ELP en Flexión estática						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Nivel	1	286	286	0,409	0,526	
Árbol	4	50493	12623	18,023	7.88e-09	***
Residuals	44	30817	700			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para MOE en Flexión estática						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	4410	1102	3,654	0,011798	*
Nivel	1	4314	4314	14,299	0,000467	***
Residuals	44	13276	302			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para MOR en Flexión estática						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	23025	5756	3,358	0,0175	*
Nivel	1	297	297	0,173	0,6792	
Residuals	44	75421	1714			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para ELP en Compresión paralela						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	10866	2716,5	6,406	0,000375	***
Nivel	1	1848	1848,1	4,358	0,042661	*
Residuals	44	18660	424,1			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para MOE en Compresión paralela						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	11249	2812,1	10,777	3,55E-06	***
Nivel	1	651	651,4	2,249	0,121	
Residuals	44	11481	260,9			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para RM en Compresión paralela						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	10173	2543	7,807	7,61E-05	***
Nivel	1	3362	3362	10,321	0,00246	**
Residuals	44	14333	326			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para ELP en Compresión perpendicular						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	4946591	1236648	4,898	2,35E-03	**
Nivel	1	126778	126778	0,502	0,4823	
Residuals	44	11108944	252476			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para Dureza Extremos						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	28884	7221	8,365	4,14E-05	***
Nivel	1	642	642	0,744	0,393	
Residuals	44	37981	863			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para Dureza Lados						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	71820	17955	12,385	7,88E-07	***
Nivel	1	78	78	0,054	0,818	
Residuals	44	63790	1450			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para Cizallamiento						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	2410	602,6	8,83	6,95E-06	***
Nivel	1	48	47,8	0,054	0,406	
Residuals	74	5050	68,2			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANOVA para Tenacidad						
	DF	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Árbol	4	11,076	2,7689	26,09	1,47E-14	***
Nivel	1	1,914	1,9139	18,03	5,10E-05	***
Residuals	94	9,976	0,1061			
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

ANEXO 3: PRUEBA t-student

Prueba t-student para ELP en Flexión estática

t = 0.41103, df = 48, p-value = 0.6829
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-18.62127 28.19107
sample estimates:
mean in group B mean in group M
134.4665 129.6816

Prueba t-student para MOE en Flexión estática

t = 3.4219, df = 48, p-value = 0.00128
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
7.66207 29.49447
sample estimates:
mean in group B mean in group M
98.48447 79.90620

Prueba t-student para MOR en Flexión estática

t = 0.38059, df = 48, p-value = 0.7052
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-20.87953 30.62967
sample estimates:
mean in group B mean in group M
392.4590 387.5839

Prueba t-student para ELP en Compresión paralela

t = 1.7333, df = 48, p-value = 0.08945
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-1.945182 26.263886
sample estimates:
mean in group B mean in group M
113.1327 100.9734

Prueba t-student para MOE en Compresión paralela

t = 1.1728, df = 48, p-value = 0.2466
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:

-5.156523	19.594069
sample estimates:	
mean in group B mean in group M	
88.09607	80.87729

Prueba t-student para RM en Compresión paralela

t = 2.5663, df = 48, p-value = 0.01346
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
3.550943 29.250194
sample estimates:
mean in group B mean in group M
193.5626 177.1620

Prueba t-student para ELP en Compresión perpendicular

t = 0.82296, df = 48, p-value = 0.5797
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.9636156 2.2990140
sample estimates:
mean in group B mean in group M
19.87131 19.20361

Prueba t-student para Dureza en Extremos

t = -0.67889, df = 48, p-value = 0.5005
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-28.39225 14.05875
sample estimates:
mean in group B mean in group M
226.7053 233.8720

Prueba t-student para Dureza en Extremos

t = -0.16594, df = 48, p-value = 0.8689
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-32.72236 27.73285
sample estimates:
mean in group B mean in group M

221.0354	223.5301
----------	----------

Prueba t-student para Cizallamiento

t = 0.70664, df = 78, p-value = 0.4819
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-2.808382 5.898996
sample estimates:
mean in group B mean in group M
57.80319 56.25788

Prueba t-student para Tenacidad

t = 2.9849, df = 98, p-value = 0.003582
alternative hypothesis: true difference in means between group B and group M is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.09273824 0.46064176
sample estimates:
mean in group B mean in group M
1.831444 1.554754

ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS UTILIZADAS DURANTE LOS ENSAYOS

CIZALLAMIENTO



TENACIDAD



COMPRESIÓN PARALELA



DUREZA



FLEXIÓN ESTÁTICA

