

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Dacryodes peruviana***  
**(Loes.) H. J. Lam (copal) EN SENTIDO LONGITUDINAL Y**  
**TRANSVERSAL, ZONA-TINGO MARÍA**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR:**

**SANTISTEBAN VEGA, AYDEL**

**Tingo María – Perú**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°089-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 14 de agosto de 2024, a horas 10:10 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“PROPIEDADES MECANICAS DE LA MADERA DE *Dacryodes peruviana* (Loes.) H. J. Lam (copal) EN SENTIDO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL, ZONA – TINGO MARIA”**

Presentado por el Bachiller: **SANTISTEBAN VEGA, Aydel** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

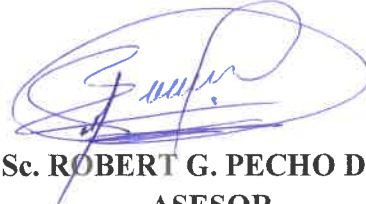
Tingo María, 15 de agosto de 2024

  
Ing. M. Sc. **RICARDO OCHOA CUYA**  
**PRESIDENTE**

  
Ing. **JORGE LUIS VERGARA PALOMINO**  
**MIEMBRO**

  
Ing. M. Sc. **GUNTER DAZA PANDURO**  
**MIEMBRO**



  
Ing. M. Sc. **ROBERT G. PECHO DE LA CRUZ**  
**ASESOR**



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 260 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniero Forestal

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE <i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H. J. Lam (copal) EN SENTIDO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL, ZONA-TINGO MARÍA	SANTISTEBAN VEGA, AYDEL	16 % Dieciséis

Tingo María, 23 de agosto de 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
JEFE

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Dacryodes peruviana* (Loes.) H. J. Lam (copal) EN SENTIDO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL, ZONA-TINGO MARÍA**

Autor : SANTIESTEBAN VEGA, Aydel  
Asesor : Ing. M. Sc. PECHO DE LA CRUZ, Robert Gilbert  
Programa de investigación : Ciencias básicas Forestal (Química, Física, Anatomía, Biotecnología Forestal)  
Línea de investigación : Física Forestal  
Eje temático : Propiedades mecánicas de la madera y otros materiales lignocelulósicos  
Lugar de ejecución : Laboratorio de Anatomía de la Madera UNAS  
: Laboratorio de Tecnología de la Madera UNU  
Duración : Fecha de inicio : setiembre del 2022  
: Fecha de término : diciembre 2023  
Financiamiento : Propio

Tingo María – Perú



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO**

**I. DATOS GENERALES DE PREGRADO**

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Facultad : Recursos Naturales Renovables

Título de tesis : Propiedades mecánicas de la madera de *Dacryodes peruviana* (Loes.) H. J. Lam (copal) en sentido longitudinal y trasnversal, zona Tingo María.

Autora : Aydel Santiesteban Vega

Asesor : Ing. Mg. Sc. Robert Gilbert Pecho de la Cruz

Programa de investigación : Ciencias básicas Forestal (Química, Física, Anatomía, Biotecnología Forestal)

Líneas de investigación : Física Forestal

Ejes temáticos : Propiedades mecánicas de la madera y otros materiales lignocelulósicos

Lugar de ejecución : Laboratorio de Anatomía de la Madera UNAS  
: Laboratorio de Tecnología de la Madera UNU

Duración : Fecha de inicio : setiembre del 2022  
Fecha de término : diciembre 2023

Financiamiento : Recursos propios: S/ 6 021,00

Bach. Aydel Santiesteban Vega

Tesista

Mg. Sc. Robert Gilbert Pecho de la Cruz

Asesor



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°089-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 14 de agosto de 2024, a horas 10:10 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“PROPIEDADES MECANICAS DE LA MADERA DE *Dacryodes peruviana* (Loes.) H. J. Lam (copal) EN SENTIDO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL, ZONA – TINGO MARIA”**

Presentado por el Bachiller: **SANTISTEBAN VEGA, Aydel** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

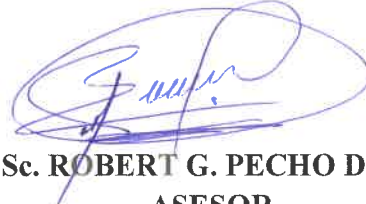
Tingo María, 15 de agosto de 2024

  
Ing. M. Sc. **RICARDO OCHOA CUYA**  
**PRESIDENTE**

  
Ing. **JORGE LUIS VERGARA PALOMINO**  
**MIEMBRO**

  
Ing. M. Sc. **GUNTER DAZA PANDURO**  
**MIEMBRO**



  
Ing. M. Sc. **ROBERT G. PECHO DE LA CRUZ**  
**ASESOR**

## DEDICATORIA

A Dios, quien me dio la fortaleza y confianza espiritual para superar cada obstáculo y guía mi camino dándome sabiduría y salud.

A mis padres Ferreol Santisteban Sifuentes, Alberto Minaya Fernández y mi querida madre Crisanta Vega Torres, quienes me brindaron todo el apoyo necesario y motivan mis días constantemente para cumplir mis metas, quiero agradecerles por inculcar en mí los valores e hicieron de mí una mujer de bien, no me alcanzará la vida para agradecer todo el sacrificio que hicieron por mí. Los amo.

A mi amada hija Dafne Vega Santisteban por ser mi mayor motivación e inspiración para superarme cada día más y obtener un futuro con bienestar.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva por ser el lugar donde conocí grandes amistades y me brindaron enseñanzas.

A mi asesor M. Sc. Pecho De la Cruz Robert Gilbert, por las enseñanzas brindadas en la universidad y por su apoyo incondicional en la ejecución de la tesis.

A mis hermanos, por ser mi fortaleza y demostrarme siempre la importancia de la familia.

A Chadly Vega Veramendi, por ser la persona que acompaña mis días, cómplice de alegrías y tristezas y en muchas ocasiones mi fuerza.

Al ingeniero Cleide Santos Flores, por el apoyo brindado y sus grandes ideas para el proyecto y ejecución de la tesis.

Al Ing. Edrey Carlos Santisteban Vilca, por ser más que un amigo, hermano y demostrar que para ser hermanos no hay necesidad de tener a misma sangre.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, en quienes recayó la responsabilidad de mi formación académico; agradecida porque lo hicieron con vocación y amabilidad.

A mis amigos, por ser cómplices de este gran sueño, por su apoyo y lealtad, a pesar de las dificultades que tuvimos siempre supimos solucionar cada problema.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Marco teórico .....	3
2.1.1. La madera .....	3
2.1.2. <i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J. Lam .....	3
2.1.3. Propiedades mecánicas de la madera.....	5
2.1.4. Factores que influyen en las propiedades mecánicas .....	7
2.1.5. Carga y esfuerzo .....	7
2.2. Estado del arte .....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1. Lugar de ejecución .....	13
3.1.1. Zona de vida.....	13
3.2. Materiales .....	14
3.2.1. Material de campo .....	14
3.2.2. Material y equipos de laboratorio.....	14
3.3. Método.....	14
3.3.1. Flexión estática .....	14
3.3.2. Compresión paralela a las fibras.....	17
3.3.3. Cizallamiento paralelo a la fibra.....	19
3.4. Criterios de la investigación .....	21
3.4.1. Tipo de investigación.....	21
3.4.2. Diseño de investigación.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Flexión estática a tres niveles de la altura y en sentido transversal de <i>Dacryodes peruviana</i> .....	23
4.1.1. Módulo de elasticidad (MOE) (kg/cm <sup>2</sup> ).....	23
4.1.2. Módulo de ruptura (MOR (kg/cm <sup>2</sup> )).....	25
4.1.3. Esfuerzo al límite proporcional (ELP) (kg/cm <sup>2</sup> ).....	27
4.2. Compresión paralela a las fibras a tres niveles de la altura y en sentido transversal de <i>Dacryodes peruviana</i> .....	31
4.2.1. Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm <sup>2</sup> ) .....	31

4.2.2. Resistencia Máxima (RM) (kg/cm <sup>2</sup> ).....	33
4.3. Cizallamiento a tres niveles de la altura y en sentido transversal de Dacryodes peruviana .....	35
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	41
VII. REFERENCIAS .....	42
ANEXO .....	47

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página.</b>
1. Propiedades mecánicas .....	8
2. Coordenadas geográficas de las especies seleccionadas del BRUNAS .....	13
3. Esquema de ANVA .....	21
4. Disposición de los factores en estudio con sus respectivos niveles .....	22
5. Análisis de varianza del MOE (kg/cm <sup>2</sup> ) .....	23
6. Estudio de varianza del MOR (kg/cm <sup>2</sup> ).....	25
7. Estudio de varianza del ELP (kg/cm <sup>2</sup> ).....	28
8. Análisis de varianza del ELP (kg/cm <sup>2</sup> ).....	31
9. Análisis de varianza de la RM (kg/cm <sup>2</sup> ).....	33
10. Análisis de varianza del RMAX (kg/cm <sup>2</sup> ).....	36
11. Resumen de los valores obtenidos en los tres ensayos.....	38
12. Valores obtenidos para ensayo de flexión estática .....	48
13. Valores obtenidos en el ensayo de compresión paralela a las fibras .....	50
14. Valores obtenidos en el ensayo de cizallamiento .....	52
15. Contenido de humedad (%) después del ensayo de flexión estática .....	54
16. Contenido de humedad (%) después del ensayo de compresión paralela a las fibras .....	54
17. Contenido de humedad (%) después del ensayo de cizallamiento .....	55

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página.</b>
1. Obtención de probetas a tres niveles de altura, y albura y duramen. ....	15
2. Dimensiones de las probetas por el método secundario para flexión estática. ....	15
3. Tipos de falla en los ensayos de flexión estática. (ASTM D 143-94 00, 2000). ....	17
4. Probeta para ensayo de compresión paralela .....	18
5. Tipos de fallas provocadas en los ensayos de compresión paralela a la fibra. (ASTM D 143-94 00, 2000). ....	19
6. Dimensiones de probetas para ensayo de cizallamiento paralelo .....	20
7. Contraste de comparación de medias de MOE (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes niveles de altura para ensayo de flexión estática .....	23
8. Contraste de comparación de medias de MOE (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes secciones para ensayo de flexión estática. ....	24
9. Contraste de comparación de medias de MOR (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes niveles de altura para ensayo de flexión estática. ....	26
10. Contraste de comparación de medias de MOR (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes secciones para ensayo de flexión estática. ....	26
11. Contraste de comparación de medias de ELP (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes niveles para el ensayo de flexión estática .....	28
12. Contraste de comparación de medias de ELP (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes secciones para la prueba de flexión estática. ....	29
13. Fallas generadas después del ensayo de flexión estática .....	30
14. Contraste de comparación de medias de ELP (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes niveles de fuste para ensayo de compresión paralela a las fibras.....	31
15. Prueba de comparación de medias de ELP (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes secciones para ensayo de compresión paralela a las fibras.....	32
16. Contraste de comparación de medias de RM (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes niveles de fuste para ensayo de compresión paralela a las fibras.....	34
17. Contraste de comparación de medias de RM (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes secciones para ensayo de compresión paralela a las fibras.....	34
18. Contraste de comparación de medias de Resistencia máxima (kg/cm <sup>2</sup> ) en diferentes niveles de altura para ensayo de cizallamiento.....	36

<b>19.</b> Contraste de comparación de medias de Resistencia máxima ( $\text{kg/cm}^2$ ) en diferentes secciones para ensayo de cizallamiento.....	37
<b>20.</b> Comparación de las propiedades mecánicas del D. peruviana en los niveles de altura. ....	38
<b>21.</b> Comparación de las propiedades mecánicas del D. peruviana en albura y duramen. ....	39
<b>22.</b> Georreferenciación de los árboles seleccionados. ....	55
<b>23.</b> Evaluación de las variables dasométricas.....	56
<b>24.</b> Apeado y trozado de los árboles seleccionados.....	56
<b>25.</b> Obtención de las viguetas .....	57
<b>26.</b> Obtención de las probetas para los distintos ensayos mecánicos .....	57
<b>27.</b> Codificación de las probetas teniendo en cuenta los niveles de altura y secciones.....	58
<b>28.</b> Probetas para ensayo de flexión estática .....	58
<b>29.</b> Probetas para ensayo de compresión paralela a las fibras .....	59
<b>30.</b> Probetas para ensayo de cizallamiento .....	59
<b>31.</b> Ensayo de flexión estática .....	60
<b>32.</b> Ensayo de cizallamiento .....	60
<b>33.</b> Ensayo de compresión paralela a las fibras .....	61

## RESUMEN

El objetivo fue estudiar algunas propiedades mecánicas de la madera de la *Dacryodes peruviana* (copal) en sentido longitudinal y transversal, proveniente del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, se seleccionaron tres árboles que cumplieron con los requisitos establecidos por las normas técnicas, con DAP superiores a 30 cm, rectos y sin daños patológicos, los ensayos que se realizaron fue cizallamiento, compresión paralela a las fibras, y flexión estática. Los resultados obtenidos fueron: Para el ensayo flexión estática: el MOE influenciado por secciones y niveles de altura no registró diferencia estadística, pero el nivel de la base y sección albura numéricamente fue superior con 117958,33 kg/cm<sup>2</sup> 118 250,00 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. De igual manera en el MOR el nivel de la base y sección albura fueron superiores numéricamente con 1142,42 kg/cm<sup>2</sup>, 1164,67 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Por último, en el ELP solo se registró diferencias numéricas en el nivel de la base y sección albura con 376,83 kg/cm<sup>2</sup> y 365,46 kg/cm<sup>2</sup>. En el ensayo de compresión paralela: en el ELP no se evidenciaron diferencias estadísticas entre niveles y secciones, pero numéricamente fue en la base con 733,91 kg/cm<sup>2</sup> y en la sección duramen con 715,06 kg/cm<sup>2</sup>. En la Resistencia máxima tampoco se registraron diferencias estadísticas, sin embargo, el nivel del base fue superior con 611,28 kg/cm<sup>2</sup> y la sección duramen 581,16 kg/cm<sup>2</sup>. En el ensayo de cizallamiento la resistencia máxima no presentó diferencias estadísticas en los diferentes niveles de longitud y secciones, pero el nivel de la base fue superior con 137,17 kg/cm<sup>2</sup> y sección duramen con 135,99 kg/cm<sup>2</sup>. Concluyendo que para los tres ensayos realizados se clasifican como “muy alta” (MA).

Palabras claves: propiedades mecánicas, *Dacryodes peruviana*, flexión estática

## ABSTRACT

The objective was to study some of the mechanical properties of *Dacryodes peruviana* (copal) wood in the longitudinal and transverse sense, from the Universidad Nacional Agraria de la Selvas's forest reserve. Three trees were selected that met the requirements established by the technical standards, with a DBH (DAP in Spanish) superior to 30 cm, straight and without pathological damage. The trials were shearing, parallel compression of the fibers and static flexion. The results that were obtained were: for the static flexion trial, there were no statistical differences recorded for the MOE (acronym in Spanish), influenced by sections and height levels, but the base level and sapwood section were numerically superior with 117,958.33 kg/cm<sup>2</sup> 118,250.00 kg/cm<sup>2</sup>, respectively. In the same manner, the MOR at the base level and sapwood section were numerically superior with 1142.42 kg/cm<sup>2</sup>, 1164.67 kg/cm<sup>2</sup>, respectively. Finally, for the ELP [acronym in Spanish] the only numerical differences that were recorded were at the base level and the sapwood section with 376.83 kg/cm<sup>2</sup> and 365.46 kg/cm<sup>2</sup>. In the parallel compression trial, no statistical differences were seen for the ELP between the levels and sections, but numerically [there were] differences at the base with 733.91 kg/cm<sup>2</sup> and the heartwood section with 715.06 kg/cm<sup>2</sup>. For the maximum resistance there were also no statistical differences recorded, however, the base level was superior with 611.28 kg/cm<sup>2</sup>, [as well as,] the heartwood section with 581.16 kg/cm<sup>2</sup>. In the shearing trial, there were no statistical differences presented for the maximum resistance at different levels of longitude and sections, but the base level was superior with 137.17 kg/cm<sup>2</sup>, [as well as,] the heartwood section with 135.99 kg/cm<sup>2</sup>. It was concluded that for the three trials that were done, the classification was "very high" (MA – acronym in Spanish).

Keywords: mechanical properties, *Dacryodes peruviana*, static flexion

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los bosques tropicales vienen atravesando una gran problemática, debido a que existe una perturbación de estos ecosistemas a través del aprovechamiento excesivo y selectivo ocasionando los escasos de especies de alto valor comercial. No obstante, en los bosques secundarios existen especies de rápido crecimiento, una de estas especies es el *Dacryodes peruviana* (copal) que es aprovechado por los pobladores para usos genéricos debido al desconocimiento de sus propiedades tecnológicas, principalmente sus propiedades mecánicas

El análisis de propiedades mecánicas en la madera ayuda a caracterizarla con respecto a usos estructurales donde podrían ser usados; asimismo, está influenciado por la edad, procedencia, especies, densidad de plantación, entre árboles y dentro del mismo árbol (de duramen a albura y de base hacia el ápice), debido a que su estructura anatómica es muy variable y cambiante.

El bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva cuenta con 217, 22 ha de superficie, dentro de este bosque existen una gran diversidad de especies forestales, una de estas especies es el *D. peruviana*, el uso de esta madera se ve restringida a trabajos muy comunes, debido a la escasa información que se tiene de esta especie sobre sus propiedades mecánicas, generando poco valor agregado, por consiguiente se genera la interrogante ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la madera de *D. peruviana* en sentido longitudinal y transversal, zona-Tingo María.?, en tal sentido la hipótesis a responder fue: Habrá una variabilidad de las propiedades mecánicas en el sentido longitudinal y transversal de la madera de *D. peruviana*. Los niveles y secciones no influyen en las propiedades mecánicas en el sentido longitudinal y transversal de la especie.

Bajo este contexto el estudio tiene como finalidad, generar información tecnológica sobre las propiedades mecánicas en usos estructurales de especies aún no estudiadas, planteándose como objetivo lo siguiente:

### **Objetivo general**

Evaluar las propiedades mecánicas de la madera de *Dacryodes peruviana* (copal) en sentido longitudinal y transversal, zona-Tingo María.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la flexión estática a tres niveles de altura del fuste (base, medio y ápice) y en el sentido transversal (albura y duramen) de la madera de *Dacryodes peruviana* (copal), en Tingo María.
- Determinar la compresión paralela a las fibras a tres niveles de altura del fuste (base, medio y ápice) y en el sentido transversal (albura y duramen) de la madera de *Dacryodes peruviana* (copal), en Tingo María.
- Determinar el cizallamiento paralelo (tangencial) a tres niveles de altura del fuste (base, medio y ápice) y en el sentido transversal (albura y duramen) de la madera de *Dacryodes peruviana* (copal), en Tingo María.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. La madera

Según Paguay (2013), la madera es un material orgánico natural que exhibe características de complejidad y variabilidad. Investigaciones realizadas por diversos autores han demostrado que sus propiedades varían de manera similar a las especies vegetales, dependiendo de las zonas geográficas y los climas. De esta forma, especies vegetales desarrolladas en la misma área, pero en terrenos diferentes, ya sea en altitud, humedad o composición, muestran notables diferencias. La madera está compuesta por células con diversos aspectos, con paredes de diferentes espesores y disposiciones que varían según las especies, pero siempre orientadas en las direcciones principales (longitudinal, radial y tangencial). Estas células constituyen la estructura característica de la madera, explicando su naturaleza anisotrópica y heterogénea. Como resultado, las propiedades de la madera varían de un punto a otro, al igual que su resistencia, que se modifican según las direcciones consideradas.

#### 2.1.2. *Dacryodes peruviana* (Loes.) H.J. Lam

##### 2.1.2.1. Taxonomía

Según el Global Biodiversity Information Facility .org la clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino	: plantae
División	: Spermatophyta
Filo	: Magnoliopsida
Familia	: BURSERACEAE
Especie	: <i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J. Lam

##### 2.1.2.2. Distribución

El género *Dacryodes* se encuentra principalmente en áreas de tierra firme, en bosques primarios y a veces en llanuras que se inundan estacionalmente (Ayala, 2003).

### 2.1.2.3. Aspectos morfológicos

El árbol, que llega a medir entre 20 y 35 metros de altura y tiene un diámetro que varía entre 50 y 120 centímetros, presenta un tronco recto con ramificación a partir del segundo tercio. En la base del tronco, pueden aparecer pequeñas aletas de hasta medio metro de altura. La corteza exterior es de color pardo, con lenticelas circulares que están distribuidas de manera regular y que sobresalen ligeramente. Por otro lado, la corteza interna es de un color blanco rosado, uniforme, y tiene un consistente olor resinoso que recuerda al incienso o a la trementina. Al cortarla, exuda una resina oleosa y translúcida. Las ramitas terminales, que son de color marrón rojizo cuando se secan, tienen un diámetro de 4 a 8 mm. Las hojas, compuestas imparipinnadas, son alternas y están dispuestas en espiral, con folíolos oblongos y nervios prominentes. La inflorescencia se presenta en forma de panícula terminal o subterminal, con una longitud de 12 a 20 cm y está compuesta por numerosas flores pequeñas, trímeras y unisexuales. El fruto es ovalado, mide entre 1,5 y 2 cm de largo, tiene una superficie lisa y un color ligeramente rojizo. El endocarpio leñoso encierra las semillas (Álvarez, 2017).

### 2.1.2.4. Propiedades físicas

Estas determinan la actitud de la madera frente a los distintos factores que influyen en el medio natural, sin producir ningún cambio mecánico o químico.

Shapiama (2023) indica que, el *D. peruviana* posee densidad básica promedio  $0,55 \text{ g/cm}^3$ , 14,81% de contenido de humedad desecado al aire. La contracción radial de 4,69%, 7,45% contracción tangencial, contracción volumétrica promedio de 9,16%, 0,24% en la contracción longitudinal promedio y en la relación T/R promedio de 1,61.

### 2.1.2.5. Usos

El fruto maduro posee una parte interna comestible que es ampliamente consumida por las comunidades indígenas. La madera se emplea en la construcción de viviendas locales y también se comercializa. Su color varía desde un blanco grisáceo en la parte externa hasta un blanco crema o blanco rosa en su interior. Además, la resina se utiliza como adhesivo, aromatizante y combustible para encender fuegos (Álvarez, 2017).

### **2.1.3. Propiedades mecánicas de la madera**

Spavento, Keil y Monteoliva (2008) explican que las características de la madera determinan su idoneidad y habilidad para soportar fuerzas aplicadas en el exterior, excluyendo los esfuerzos causados por tensiones internas causadas por cambios en la humedad.

Las propiedades y características de la madera pueden experimentar variaciones de dos maneras: internamente en un solo árbol y entre varios árboles de la especie análoga. El primer tipo de variación puede ser influenciado por el crecimiento incremental, la diversidad que se produce desde el núcleo hasta la corteza (variación radial) y las diferencias que surgen a diferentes alturas, las cuales están vinculadas a la cobertura forestal. El segundo tipo de variación puede ser causado por factores ecológicos, cambios genéticos y prácticas de manejo de la población (Velásquez et al., 2009).

#### **2.1.3.1. Flexión estática**

Propiedad que muestra oposición de la madera a las cargas que actúan sobre la viga. Los factores de crecimiento (fibras desviadas y nudos, etc.), contenido de humedad, densidad, duración de la carga y temperatura. Definen la resistencia de la madera a la flexión.

La mayoría de las maderas poseen la capacidad de ser dobladas o curvadas longitudinalmente sin romperse, lo que se conoce como elasticidad. Cuando se aplican fuerzas deformantes, estas maderas pueden recuperar su forma original una vez que cesa la fuerza aplicada. Algunas maderas tienen la capacidad de superar su tope elástico por flexión sin romperse de inmediato, lo que las clasifica como maderas aptas para la curvatura. Por otro lado, la madera que se encuentra joven, está verde, húmeda o calentada, tiende a tener mayor flexibilidad que la madera vieja o seca, y además posee un mayor límite de distorsión (Acuña y Casado, 2005).

- **MOE:** Módulo de elasticidad
- **ELP:** Esfuerzo de límite proporcional
- **MOR:** Módulo de ruptura

### **2.1.3.2. Compresión paralela**

Se la define como oposición de la madera a la fuerza que se ejerce en dirección paralela a los elementos xilemáticos, asimismo, es la aptitud de sustentar las cargas que tienden acortar la longitud de un cuerpo.

Esta cualidad se manifiesta cuando una fuerza externa actúa en la sección en paralelo a la fibra de la madera, y la resistencia en este sentido está principalmente determinada por la forma de la pieza (Ccyanchira y Reyes, 2019).

- **ELP:** Esfuerzo de límite proporcional
- **RM:** Resistencia máxima

### **2.1.3.3. Compresión perpendicular**

Esta propiedad se manifiesta cuando una carga externa se aplica en una dirección perpendicular a las fibras de la madera, lo que provoca que las cavidades se compriman. Esto propicia que la madera incremente su densidad y su resistencia al peso sin experimentar defectos significativos (Díaz, 2005).

- **ELP:** Esfuerzo de límite proporcional

### **2.1.3.4. Dureza**

Esta cualidad se describe como la resistencia que la madera ofrece cuando es penetrada por un objeto más duro. La dureza de la madera indica su dificultad para ser trabajada y, por lo general, está asociada con una mayor densidad. Estas características hacen que sea adecuada para su uso en pisos y en piezas que requieren retener tornillos, clavos, y similares (Díaz, 2005).

### **2.1.3.5. Cizallamiento paralelo al grano, tangencial**

El esfuerzo de cizallamiento se produce cuando dos cargas en sentido opuesto tienden a hacer deslizar una sobre otra, las áreas contiguas de un cuerpo.

Este procedimiento se lleva a cabo con la intención de evaluar la capacidad de la madera para soportar fuerzas de presión en una zona del travesaño y tensión en la otra, cuando se utiliza como viga. Esta combinación de fuerzas produce un acto de cisura a lo largo del sector de la viga. El corte que ocurre en dirección al grano se denomina corte

horizontal. Según Spavento et al. (2008), esta es la capacidad de la madera para aguantar las cargas que buscan provocar deslizamiento de un sector sobre otro que se encuentra contiguo.

#### **2.1.4. Factores que influyen en las propiedades mecánicas**

Vásquez (2005) sostiene que la madera, al ser un material lignocelulósico y heterogéneo, está sujeta a una amplia variabilidad que se puede observar tanto en muestras extraídas de la misma especie maderable como de diferentes árboles. Se ha observado incluso variaciones dentro del mismo árbol, lo que evidencia una marcada diferencia en su resistencia y densidad. Estas variaciones se deben a diferencias genéticas entre individuos y a influencias ambientales, lo que resulta en valores de resistencia muy variables. Además, algunas de sus características no están controladas o son difíciles de controlar. Entre las más significativas se encuentran la densidad, el contenido de humedad, el ángulo de las fibras, la presencia de nudos, la temperatura, entre otras.

#### **2.1.5. Carga y esfuerzo**

De acuerdo con Véliz (2003), una carga se refiere a cualquier fuerza externa que actúa sobre un miembro o estructura. Las fuerzas internas que se generan dentro del cuerpo en respuesta a estas cargas se denominan tensiones internas. Estas tensiones pueden cuantificarse en kilogramos o en otra unidad de peso o fuerza.

La tensión interna que se aplica a una unidad de superficie resistente en una sección transversa de un objeto se conoce como esfuerzo unitario. En cualquier material, los esfuerzos que actúan en un cuerpo generan variación en su forma y tamaño. La distorsión resultante de este esfuerzo se denomina deformación unitaria (Cuevas, 2003).

#### **2.1.6. Clasificación según a la resistencia a las propiedades mecánicas**

Según Aróstegui (1980), en su estudio de especies que se encuentran en los bosques Von Humboldt realiza una clasificación respecto a las propiedades físicas y mecánicas de estas, considerando el módulo de ruptura para la flexión estática, resistencia máxima en la compresión paralela y la RMAX para el cizallamiento.

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas

Ensayo	Rango	Clasificación	
<b>Flexión estática (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MOR</b>		
	Menor de 300	Muy baja	(MB)
	De 301 a 500	Baja	(B)
	De 501 a 700	Media	(M)
	De 701 a 900	Alta	(A)
	Mayor de 901	Muy alta	(MA)
<b>Compresión paralela (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>RM</b>		
	Menor de 200	Muy baja	(MB)
	De 201 a 300	Baja	(B)
	De 301 a 400	Media	(M)
	De 401 a 500	Alta	(A)
	Mayor de 501	Muy alta	(MA)
<b>Cizallamiento paralelo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>RMAX</b>		
	Menor de 30	Muy baja	(MB)
	De 31 a 60	Baja	(B)
	De 61 a 90	Media	(M)
	De 91 a 120	Alta	(A)
	Mayor de 121	Muy alta	(MA)

Fuente: Aróstegui (1980).

## 2.2. Estado del arte

Sánchez (2023) en su estudio de cómo influye los niveles de longitud del fuste sobre las propiedades mecánicas del *Simarouba amara* Aubl (Marupa), proveniente de la provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco. Los resultados fueron: la flexión estática para ELP fue de 217,87Kgf/cm<sup>2</sup>, 182, 85 Kgf/cm<sup>2</sup> y 199,18 Kgf/cm<sup>2</sup> en los tres niveles de longitud base, medio y ápice respectivamente donde no evidenció diferencias estadísticas; el MOR si registró diferencias estadísticas siendo superior en el nivel de la base con 386 Kgf/cm<sup>2</sup> seguido por el medio 330 Kgf/cm<sup>2</sup> y ápice con 310 Kgf/cm<sup>2</sup>; asimismo, el MOE no fue significativo en los tres niveles pero numéricamente fue superior en el ápice con 59395 386 Kgf/cm<sup>2</sup> seguido por la base con 59065 386 Kgf/cm<sup>2</sup>y medio 57920386 Kgf/cm<sup>2</sup>. Para la compresión paralela a las fibras la RM fue superior numéricamente en el medio con 256.01 Kgf/cm<sup>2</sup>, ápice con 253,85 Kgf/cm<sup>2</sup> y base 246,20 Kgf/cm<sup>2</sup>. Por último, el cizallamiento no reportó diferencias estadísticas solo numéricas, el medio con 57,71 Kgf/cm<sup>2</sup>, base con 55,07 Kgf/cm<sup>2</sup> y ápice 54,05 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Suasnabar y Monge (2019) llevaron a cabo un estudio sobre los rasgos anatómicos y las propiedades físicas y mecánicas en tres especies forestales en Oxapampa – Pasco. Donde la muestra estuvo compuesta por tres árboles de cada especie, COPANT y las Normas Técnicas Peruanas fueron parte de este estudio. Las especies, *Chrysophyllum sanguinolentum*, *Ocotea cinérea* y *Sloanea obtusifolia* se evaluaron en términos de flexión estática, con valores de MOR (890, 741 y 686kg/cm<sup>2</sup>) y MOE (418 x 10<sup>3</sup> y 295.2 x 10<sup>3</sup> y 309.8 x 10<sup>3</sup>kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente. Asimismo, se midió la compresión paralela, obteniendo resultados de MOR (421, 389 y 370 kg/cm<sup>2</sup>) y MOE (17.5 x 10<sup>3</sup>, 15.8 x 10<sup>3</sup> y 15.7 x 10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>) para cada una de las especies. En cuanto a la dureza, los valores medidos en los lados fueron (591, 346 y 601kg) y en los extremos (629, 355 y 610 kg). Finalmente, se determinó el clivaje tangencial (46.16, 41.79 y 37.88kg/cm<sup>2</sup>) y radial (75.14, 56.32 y 69.46kg/cm<sup>2</sup>) para cada especie, respectivamente.

Ccyanchira y Reyes (2019) en su investigación de propiedades mecánicas y físicas del cedro y guayabo, para la metodología se seleccionó 3 árboles que posteriormente fueron identificadas. En los resultados para la especie *Cedrela odorata* L. con una flexión estática presentó: ELP de 335,20 kg/cm<sup>2</sup>, MOR de 480,64 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 52117,90 kg/cm<sup>2</sup>; en la compresión paralela registró un ELP de 475,35 kg/cm<sup>2</sup>, RM de 580,48 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 282,23 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, la especie *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav) con una flexión estática presentó un ELP de 669,02 kg/cm<sup>2</sup>, MOR de 789,53 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 126077,28 kg/cm<sup>2</sup>; la compresión paralela presentó un ELP de 525,01 kg/cm<sup>2</sup>, RM de 612,20 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 52205,17 kg/cm<sup>2</sup>, la compresión perpendicular presentó un ELP de 70,56 kg/cm<sup>2</sup>; una dureza de extremos de 578,30 kg/cm<sup>2</sup>, lados radial 528,30 kg/cm<sup>2</sup>, lados tangencial 537,15 kg/cm<sup>2</sup>.

Pérez (2019) investigó diversas propiedades mecánicas de la especie *Septotheca tessmannii* Ulbr (utucuro) y analizó su variabilidad a lo largo de tres niveles longitudinales del fuste, utilizando muestras recolectadas en los distritos de Callería e Iparía, ubicados en Ucayali. Donde concluyó que con respecto al ensayo de flexión estática el ELP no se evidenció diferencias estadísticas entre los niveles de altura, pero el nivel de la base fue superior numéricamente con 532 Kgf/cm<sup>2</sup>, medio con 406 Kgf/cm<sup>2</sup> y ápice con 449 Kgf/cm<sup>2</sup>, mientras el MOR y MOE de la misma manera no se evidenció diferencias estadísticas en los niveles de altura. Con respecto con la compresión paralela el ELP no presento variaciones estadísticas en los niveles de altura, pero numéricamente superior en el medio con 366 Kgf/cm<sup>2</sup> y la RM presento diferencias numéricas mas no estadísticas siendo superior en el ápice con 393 Kgf/cm<sup>2</sup> seguido por el medio con 392 Kgf/cm<sup>2</sup> y base con 359 Kgf/cm<sup>2</sup>. Para el ensayo de cizallamiento

radial y tangencial tampoco presentaron diferencias estadísticas, pero fueron mayores numéricamente en el ápice con 75 Kgf/cm<sup>2</sup> y 89 Kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Álvarez (2019) en su investigación de la especie *Tectona grandis* (teca) presentó en sus resultados para flexión estática un ELP de 555,4 kg/cm<sup>2</sup>, MOR de 952,2 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 115600 kg/cm<sup>2</sup>; una compresión paralela registrada de ELP de 313,5 kg/cm<sup>2</sup>, RM de 458,5 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 120900 kg/cm<sup>2</sup>, una compresión perpendicular presentó un ELP de 65,1 kg/cm<sup>2</sup>; una dureza de extremos de 492,3 kg/cm<sup>2</sup>, lados 523,7 kg/cm<sup>2</sup>; tenacidad 2,1 kg-m; clivaje radial 70,0 kg/cm , clivaje tangencial 79,5 kg/cm; cizallamiento de 107,8 kg/cm<sup>2</sup>.

Jauregui y Ramos (2019), en su estudio sobre la anatomía y las propiedades físicas y mecánicas de tres variedades forestales, presentaron resultados en las propiedades mecánicas de las siguientes especies: *Anacardium giganteum* mostró una flexión estática con (MOR) de 509,30 kg/cm<sup>2</sup>, compresión paralela en el MOR de 263,55 kg/cm<sup>2</sup>, en el ELP de 31,09 kg/cm<sup>2</sup> para la compresión perpendicular, cizallamiento con MOR de 61,61 kg/cm<sup>2</sup> y una dureza en los lados de 258,85 kg/cm<sup>2</sup>. Por otro lado, *Parkia pendula* presentó una flexión estática con MOR de 585,26 kg/cm<sup>2</sup>, compresión paralela en MOR de 235,84 kg/cm<sup>2</sup>, ELP con 24,75 kg/cm<sup>2</sup> para compresión perpendicular, cizallamiento de 54,22 kg/cm<sup>2</sup> para MOR y dureza en los lados de 293,82 kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, *Mezilaurus itauba* registró valores de flexión estática en MOR de 1071,84 kg/cm<sup>2</sup>, compresión paralela en el MOR de 495,53 kg/cm<sup>2</sup>, compresión perpendicular en el ELP con 64,62 kg/cm<sup>2</sup>, cizallamiento en el MOR de 41,94 kg/cm<sup>2</sup> y dureza en los lados de 649,28 kg/cm<sup>2</sup>.

Alvis *et al.* (2017) en su investigación del estudio de propiedades físicas y mecánicas de la madera de la especie *Ocotea brevipetiolata* van der Werff para el que determinaron sus propiedades mecánicas y físicas. En sus resultados presentó: flexión estática un ELP de 626 kg/cm<sup>2</sup> que lo clasifica en mediano, MOR de 990 kg/cm<sup>2</sup> que lo clasifica en mediano, MOE de 164539 t/cm<sup>2</sup> que lo clasifica alto; compresión paralela con un ELP de 325 kg/cm<sup>2</sup> que lo clasifica en mediano, MOR con 574 kg/cm<sup>2</sup> que lo clasifica en mediano, MOE de 250432 t/cm<sup>2</sup>; compresión perpendicular con un ELP de 81 kg/cm<sup>2</sup> que lo clasifica en mediano; con un cizallamiento de 90 kg/cm<sup>2</sup> que lo clasifica en mediano.

Urbina (2017) realizó un estudio sobre las propiedades mecánicas de *Guazuma crinita* Martius (Bolaina blanca), proveniente de cultivos forestales instaladas en las colinas bajas de Puerto Inca, Huánuco. Los árboles analizados tenían 4 años de edad. El objetivo de esta investigación fue proporcionar conocimientos tecnológicos que puedan apoyar en la toma de

decisiones de los silvicultores. La compresión paralela en niveles de altura: donde el ELP y MOR fue superior en el nivel de base con 190,88 kg/cm<sup>2</sup> y 234,63 kg/cm<sup>2</sup>. Para la flexión estática el ELP fue superior en la base con 347,71 seguido por el medio con 242,39 y ápice con 190,84; mientras el MOR y MOE de igual manera fue superior en el nivel de la base con 509,89 y 72,52 t/cm<sup>2</sup>; seguido por el medio con 322,92 y 48,5272,52 t/cm<sup>2</sup>.

Torres (2010) en su indagación de las propiedades mecánicas del tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), presentó los siguientes resultados para la especie: en cuanto a la flexión estática, se obtuvo un ELP de 325,81 kg/cm<sup>2</sup>, un MOR de 594,00 kg/cm<sup>2</sup> y un MOE de 97,050 kg/cm<sup>2</sup>. Para compresión paralela, se registró con ELP de 231,65 kg/cm<sup>2</sup>, una resistencia máxima (RM) de 336,15 kg/cm<sup>2</sup> y un MOE de 103,260 kg/cm<sup>2</sup>. Para la compresión perpendicular, el ELP fue de 45,44 kg/cm<sup>2</sup>. Los valores de dureza fueron de 417,60 kg/cm<sup>2</sup> en los extremos y 401,10 kg/cm<sup>2</sup> en los lados. Además, se determinó una tenacidad de 1,21 kg-m, un clivaje de 11,87 kg/cm y un cizallamiento de 11,87 kg/cm<sup>2</sup>.

Pantigoso (2009) en su investigación de la especie pumaquiro *Aspidosperma macrocarpon* Mart. en la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas en los que presenta resultados para la especie *Aspidosperma macrocarpon* Mart. con una flexión estática con un ELP de 706,6 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 141,03 t/cm<sup>2</sup>, MOR de 1140,56 kg/cm<sup>2</sup>; una compresión paralela que presentó un ELP de 408,56 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 170,75 t/cm<sup>2</sup>, RM de 586,75 kg/cm<sup>2</sup>, una compresión perpendicular que presentó un ELP de 105,43 kg/cm<sup>2</sup>; una dureza de extremos de 883,9 kg/cm<sup>2</sup>, lados 801,66 kg/cm<sup>2</sup>; tenacidad 53,32 kg/cm<sup>2</sup>; clivaje 78,49 kg/cm; cizallamiento de 159,62 kg/cm<sup>2</sup>.

Vilcayauri (2009) llevó a cabo una investigación sobre la especie marupa para determinar sus propiedades físico-mecánicas. Los resultados obtenidos mostraron que, en la flexión estática, la especie tuvo un ELP de 285,79 kg/cm<sup>2</sup>, un MOE de 72,920 kg/cm<sup>2</sup> y un MOR de 380,00 kg/cm<sup>2</sup>. Para compresión paralela, registró un ELP de 195,01 kg/cm<sup>2</sup>, una resistencia máxima (RM) de 267,84 kg/cm<sup>2</sup> y un MOE de 83,260 kg/cm<sup>2</sup>. Para la compresión perpendicular, el ELP fue de 32,61 kg/cm<sup>2</sup>. La dureza fue de 285,11 kg/cm<sup>2</sup> en los extremos y 153,47 kg/cm<sup>2</sup> en los lados. Además, la tenacidad se midió en 0,385 kg-m, el clivaje en 27,19 kg/cm y el cizallamiento en 56,16 kg/cm<sup>2</sup>.

Morales (2009) estudio las propiedades mecánicas de *Haplorhus peruviana* Engl procedente de los bosques nativos del Mantaro, Huancavelica. Los resultados fueron: compresión paralela de 282,86 kg/cm<sup>2</sup>; compresión perpendicular de 75,71 kg/cm<sup>2</sup>, clasificada

como “media” (M), flexión estática clasificada como “alta” (A) con 467,00 kg/cm<sup>2</sup>, 247,22 kg para extracción de clavos, 152,06 kg/cm<sup>2</sup> para cizallamiento paralelo y tenacidad clasificada como “muy alta” (MA) con 428,92 kgm.

Villegas (2007) en su investigación del uso y potencial de especies forestales, en el que se determinaron la caracterización físico-mecánica, con la finalidad de obtener información de su uso y potencial de estos productos para los fines pertinentes. En los resultados para la especie *Protium montanum* con una flexión estática presentó un MOR de 841 kg/cm<sup>2</sup>; la compresión paralela presentó un módulo de ruptura (MOR) de 496 kg/cm<sup>2</sup>; una dureza de 331 kg.

Aylas y Bendezú (2008) realizaron estudio sobre las propiedades mecánicas de *Myrcianthes fragans* (Sw.) McVaugh (Myrtaceae) y *Matisia bicolor* Ducke (Malvaceae), obtenidas de la Comunidad Coriteni Tarso – Satipo. Para *Matisia bicolor* Ducke, los resultados indicaron que la flexión estática es baja, con un valor de 323,994 kg/cm<sup>2</sup>; la compresión paralela también es baja, con 180,193 kg/cm<sup>2</sup>, y la compresión perpendicular es igualmente baja, con 34,927 kg/cm<sup>2</sup>. La dureza y la extracción de clavos tienen una resistencia mediana para ambas propiedades, con 377,76 kg/cm<sup>2</sup> y 110,88 kg/clavo respectivamente. La resistencia a la tracción perpendicular se situó en 18,855 kg/cm<sup>2</sup>, y al clavaje en 45,96 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia al cizallamiento y la tenacidad fueron clasificadas como media y baja, con valores de 68,355 kg/cm<sup>2</sup> y 1,54 kg-m, respectivamente. En contraste, para *Myrcianthes fragans* (Sw.) McVaugh, se observó que la flexión estática es alta, con 928,992 kg/cm<sup>2</sup>; la compresión paralela se clasificó como media, con 335,889 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la compresión perpendicular fue muy alta, con 169,949 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a la dureza y la extracción de clavos fue muy alta, con valores de 1599,063 kg/cm<sup>2</sup> y 227,356 kg/clavo. La resistencia a la tracción perpendicular se registró en 61,425 kg/cm<sup>2</sup>, y al clavaje en 105,645 kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, la resistencia al cizallamiento y la tenacidad fueron muy altas, con 137,68 kg/cm<sup>2</sup> y 4,455 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente

Arévalo y Londoño (2005), en su investigación sobre la manera de identificar especies maderables, evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Protium neglectum* Swart. Los resultados revelaron que esta especie exhibe de flexión estática con un ELP de 817 kg/cm<sup>2</sup>, un MOR de 1460 kg/cm<sup>2</sup> y un módulo de MOE de 166 t/cm<sup>2</sup>; una compresión paralela de 710 kg/cm<sup>2</sup>, una compresión perpendicular 86 kg/cm<sup>2</sup>; una dureza de extremos de 669 kg, lados de 468; con un cizallamiento de 126 kg/cm<sup>2</sup>.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

Las muestras de estudio de *D. peruviana* se extrajeron del Bosque Reservado de la UNAS. La preparación de las probetas para los diferentes ensayos mecánicos se realizó en el Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal (LATAMF) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Posteriormente, las evaluaciones de los ensayos mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicadas ambas entidades en las regiones Huánuco y Ucayali respectivamente.

Los datos de la ubicación geográfica de los árboles seleccionados se presentan a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Coordenadas geográficas de las especies seleccionadas del BRUNAS

Árbol	DAP (cm)	Coordenadas (UTM)		Altitud (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
1	41,33	391617	8970385	861
2	47,00	391427	8970719	887
3	49,00	390517	8970385	892

#### 3.1.1. Zona de vida

Desde el punto de vista ecológico, según la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales globales y el diagrama bioclimático de Holdridge (1982), el BRUNAS está situado en la formación vegetal de bosque muy húmedo pre-montano subtropical (bmh-PST). Además, en términos de las regiones naturales del Perú, se clasifica como RupaRupa o Selva Alta.

## **3.2. Materiales**

### **3.2.1. Material de campo**

El material vegetativo fueron probetas orientadas de *D. peruviana*

Para la tala de los árboles seleccionados las herramientas y maquinarias a utilizar fueron: motosierra, machete, aceite 2 tiempos, gasolina, tablero metálico, sierra cinta, sierra disco, garlopa.

### **3.2.2. Material y equipos de laboratorio**

Vernier digital, prensa universal para ensayos mecánicos TINIUS OLSEIN accesorios para ensayos de flexión, compresión, cizallamiento e higrómetro NIGOS.

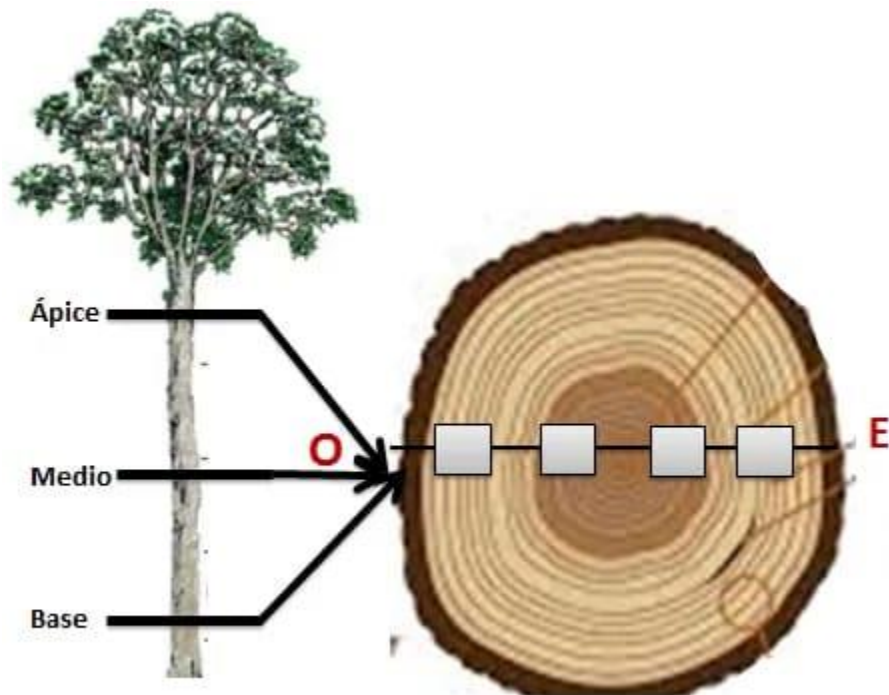
## **3.3. Método**

Para la ejecución de la investigación, nos adaptamos en la Norma Técnica Peruana N° 251.008.2016 “Selección y colección de muestra” y Norma ASTM D-143-94.2000 “Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber”.

### **3.3.1. Flexión estática**

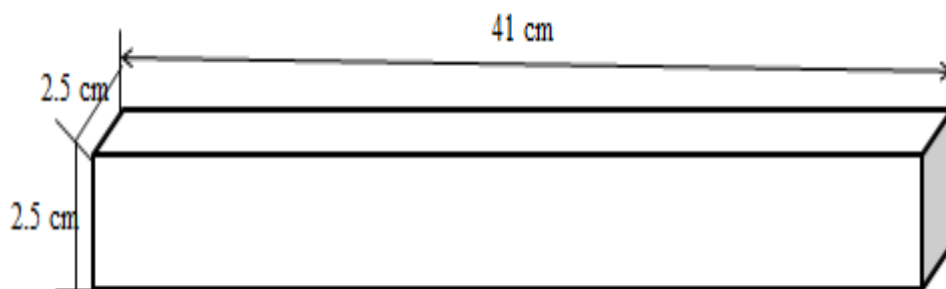
Para la selección de muestras nos adaptamos en la NTP 251.008. (2016), debido a los pocos ejemplares de la especie en todo el BRUNAS, se tomaron tres (03) árboles lo más uniformes. Antes de seleccionar, se realizó un inventario de los árboles más cercanos en el área de influencia; asimismo, los ejemplares seleccionados debían cumplir según la NTP 251.008. (2016), lo cual debían ser rectos, sin enfermedades. Para identificar taxonómicamente la especie se extrajeron partes botánicas (hojas, ramas y frutos), los cuales fueron llevados al herbario de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la UNAS. Posteriormente, se solicitó el permiso para la extracción de los árboles al jefe de bosque del BRUNAS, seguido se presentaron los documentos pertinentes a la Administración Técnica Forestal y Fauna Silvestre (ATFFS) informando de la tala de tres árboles. Asimismo, se tomaron datos generales de los árboles como: diámetro, altura, inclinación.

Una vez tomados los datos, estos fueron talados y se dividieron en tres niveles de altura, donde cada sección fue 1/3 de la altura total. Posteriormente, se consideraron trozas de 80 cm de longitud por cada nivel. Para realizar las probetas para los distintos ensayos mecánicos se tomó de la parte de albura y duramen, esto se realizó en estado seco (humedad en equilibrio).



**Figura 1.** Obtención de probetas a tres niveles de altura, y albura y duramen.

Para el desarrollo de este ensayo se realizó bajo el método secundario descrito por la norma ASTM D 143-94(2000), con dimensiones de 2,5 x 2,5 x 41cm (Figura 2), con una luz de 35 cm. Se tuvieron 4 probetas por nivel (dos de albura y dos de duramen), donde las probetas fueron colocadas en la prensa universal, y se aplicó una fuerza continua a la probeta, con una la velocidad constante de 2,5 mm/min de la cabeza móvil de la prensa hidráulica.



**Figura 2.** Dimensiones de las probetas por el método secundario para flexión estática.

Posterior se realizaron los siguientes cálculos:

➤ **Esfuerzo de las fibras al límite proporcional**

$$ELP = \frac{3P'L}{2ae^2}$$

Dónde:

ELP: Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm<sup>2</sup>)

P': Carga al límite proporcional (kg)

L: Luz de probeta

e: Espesor de probeta (cm)

a: Ancho de probeta (cm)

➤ **Esfuerzo máximo provocado (MOR)**

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2}$$

Dónde:

MOR: módulo de ruptura (kg/cm<sup>2</sup>)

P: carga máxima que soporta la probeta (Kg)

L: luz de probeta (cm)

e: espesor de probeta (cm)

a: ancho de probeta (cm)

➤ **Módulo de elasticidad (MOE)**

$$MOE = \frac{P'L^3}{4ae^3 Y}$$

Dónde:

MOE: módulo de elasticidad (kg/cm<sup>2</sup>)

$P'$ : carga al límite proporcional (Kg)

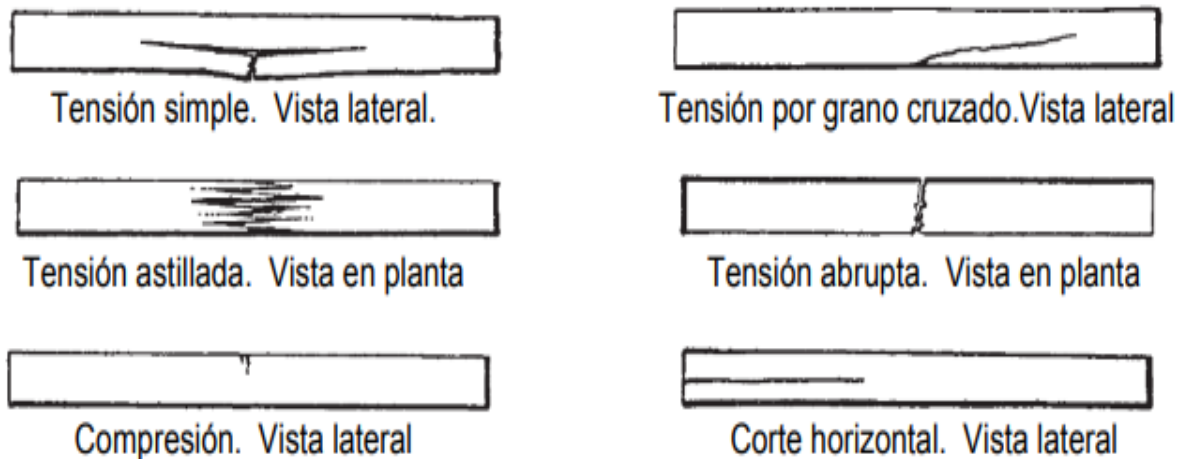
L: luz de probeta

Y: deflexión en el centro de la probeta al límite proporcional (cm)

e: espesor de probeta (cm)

a: ancho de probeta (cm)

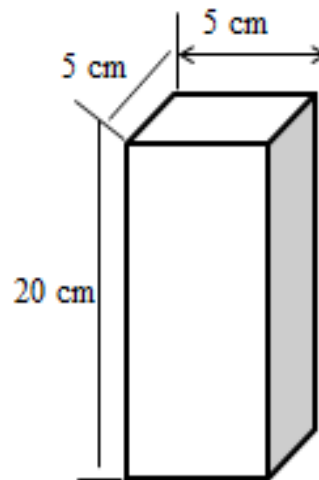
En la **Figura 3**, se muestra la clasificación de las fallas según con la apariencia del área quebrantada, esto dado por la norma ASRM 143-94 00,2000. Asimismo, de las probetas ensayadas se dispuso a determinar el contenido de humedad con el higrómetro de contacto de la marca Nigos, esta se obtuvo cerca a la falla.



**Figura 3.** Tipos de falla en los ensayos de flexión estática. (ASTM D 143-94 00, 2000).

### 3.3.2. Compresión paralela a las fibras

De la misma manera, se tomaron probetas tanto de albura como de duramen, considerando la norma ASTM D 143-94(2000), donde solo se tomaron 4 probetas por nivel (dos de albura y dos de duramen) con medidas de 5x5x20cm (Figura 4). Finalizado el ensayo, se determinó el contenido de humedad.



**Figura 4.** Probeta para ensayo de compresión paralela

En el procedimiento del ensayo, se fijó una fuerza con velocidad de 0.03 mm/min en la sección final de la probeta, orientada paralelamente a las fibras de la madera. La carga fue aplicada de forma constante, registrando la deformación que surgía con la fijación de la fuerza hasta alcanzar el punto de imperfección de la probeta.

Seguido, se procedió a registrar los resultados para evaluar el límite de proporcionalidad entre la curva y carga asociada a dicho termino, al igual que la deformación correspondiente. Se calcularon las siguientes fórmulas:

➤ **Esfuerzo limite proporcional**

$$ELP = \frac{P'}{A}$$

Dónde:

ELP: esfuerzo al límite proporcional (kg/ cm<sup>2</sup>)

P': carga al límite proporcional (kg)

A: superficie comprimida por la pieza metálica sobre la probeta

➤ **Resistencia máxima**

$$RM = P/A$$

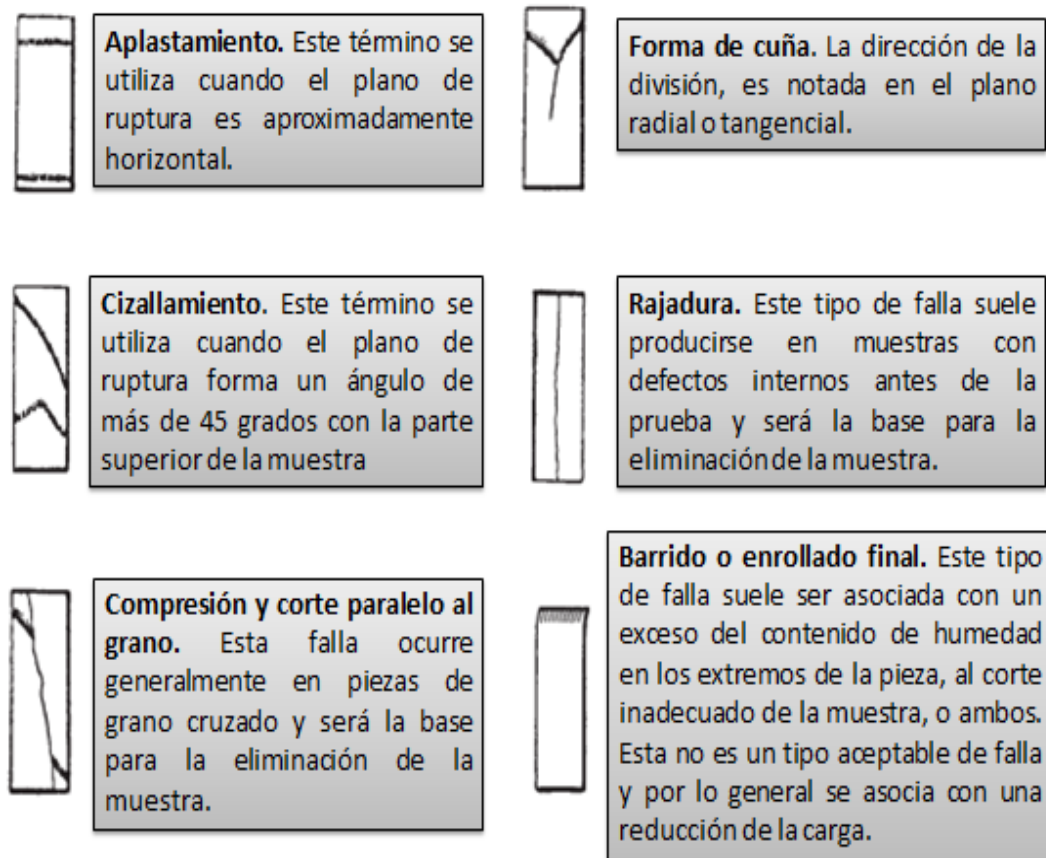
Dónde:

RM: Resistencia máxima ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

P: Carga máxima que soporta la probeta hasta su límite proporcional (kg).

A: Superficie de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo ( $\text{cm}^2$ ).

En la Figura 5, muestra la clasificación según las fallas ocurridas al finalizar el ensayo de compresión paralela a la fibra.

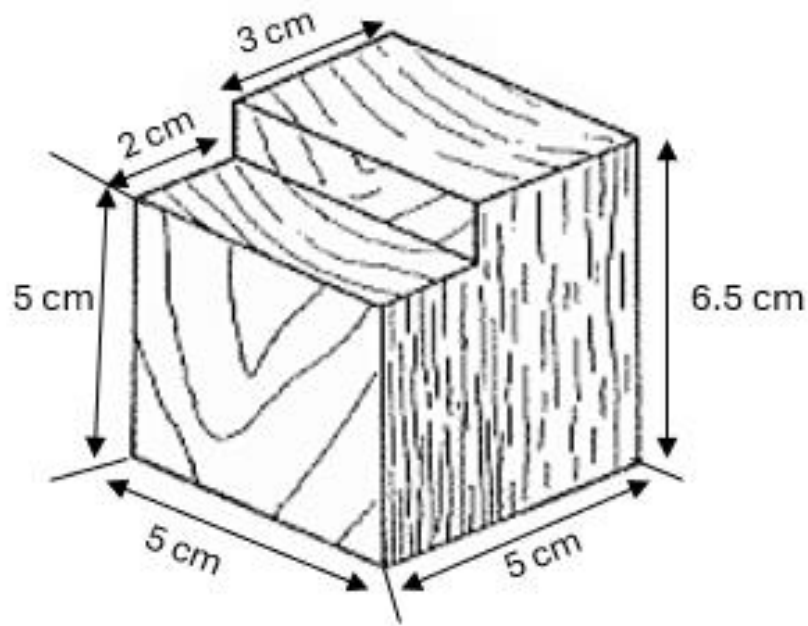


**Figura 5.** Tipos de fallas provocadas en los ensayos de compresión paralela a la fibra. (ASTM D 143-94 00, 2000).

### 3.3.3. Cizallamiento paralelo a la fibra (tangencial)

Para este ensayo, se tomaron muestras de albura y duramen con las mismas dimensiones utilizadas en pruebas anteriores: 5 cm x 5 cm x 6,5 cm (Figura 6). Se empleó un accesorio especial para el corte que aseguraba que la fuerza de la máquina se aplicara únicamente en un corte directo y paralelo a las fibras. El objetivo del ensayo era determinar el

esfuerzo cortante máximo en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , evaluando la capacidad de la madera para resistir fuerzas que podrían provocar el desplazamiento de un plano interior sobre otro adyacente. La velocidad de corte se estableció en 0,6 mm por minuto. En este caso en el momento que se produjo la falla se registró la fuerza máxima aplicada.



**Figura 6.** Dimensiones de probetas para ensayo de cizallamiento paralelo

Para la obtención del módulo de rotura se empleó la fórmula siguiente:

$$\text{Resistencia cizallamiento} = P A \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

P = es la carga máxima soportada por la probeta en kilogramos.

A = la superficie del plano en que se produce el cizallamiento, en  $\text{cm}^2$ .

De igual manera por probeta se calculó el contenido de humedad, donde se tomó la parte separada por el cizallamiento de cada probeta.

### 3.4. Criterios de la investigación

#### 3.4.1. Tipo de investigación

Aplicada, a que se hizo uso de la ciencia de la física, para generar nuevos reportes sobre las propiedades mecánicas en los tres niveles de altura, albura y duramen.

#### 3.4.2. Diseño de investigación

Como no se manipularon las variables independientes con respecto a las variables evaluadas (propiedades mecánicas) la investigación tubo un diseño no experimental, sin embargo, se empleó un arreglo bifactorial con tres repeticiones (03 árboles), al 95% de confiabilidad se desarrolló el análisis de varianza, se empleó el test de rangos múltiples de Tukey al 95%.

**Tabla 3.** Esquema de ANVA

Fuente de variación	Grados de libertad
Nivel de altura(a)	a-1=2
Sección transversal(b)	b-1=1
Interacción a x b	(a-1)*(b-1)=2
Error experimental	ab(r-1)=12
Total	abr-1=17

Esta investigación tuvo el modelo aditivo lineal siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

$\mu$  = Efecto de la media general

$\alpha_i$  = Efecto del i-esimo nivel del factor a

$\gamma_j$  = Efecto del j-esimo nivel del factor b

$(\alpha\gamma)_{ij}$  =Efecto de la interacción i-esimo nivel del factor a con j-esimo nivel del factor b  
 $\epsilon_{ijk}$  =Error experimental.

**Tabla 4.** Disposición de los factores en estudio con sus respectivos niveles

Niveles de altura	Sección transversal	Interacción
Base ( $a_1$ )	Albura ( $b_1$ )	$a_1b_1$
	Duramen ( $b_2$ )	$a_1b_2$
Medio ( $a_2$ )	Albura ( $b_1$ )	$a_2b_1$
	Duramen ( $b_2$ )	$a_2b_2$
Ápice ( $a_3$ )	Albura ( $b_1$ )	$a_3b_1$
	Duramen ( $b_2$ )	$a_3b_2$

### Variables en estudio

#### a. Variables independientes

Niveles de fuste (Base, medio y ápice) y Secciones transversales (albura y duramen)

#### b. Variables dependientes

- Flexión estática
- Compresión paralela a las fibras
- Cizallamiento

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Flexión estática a tres niveles de la altura y en sentido transversal de *Dacryodes peruviana*

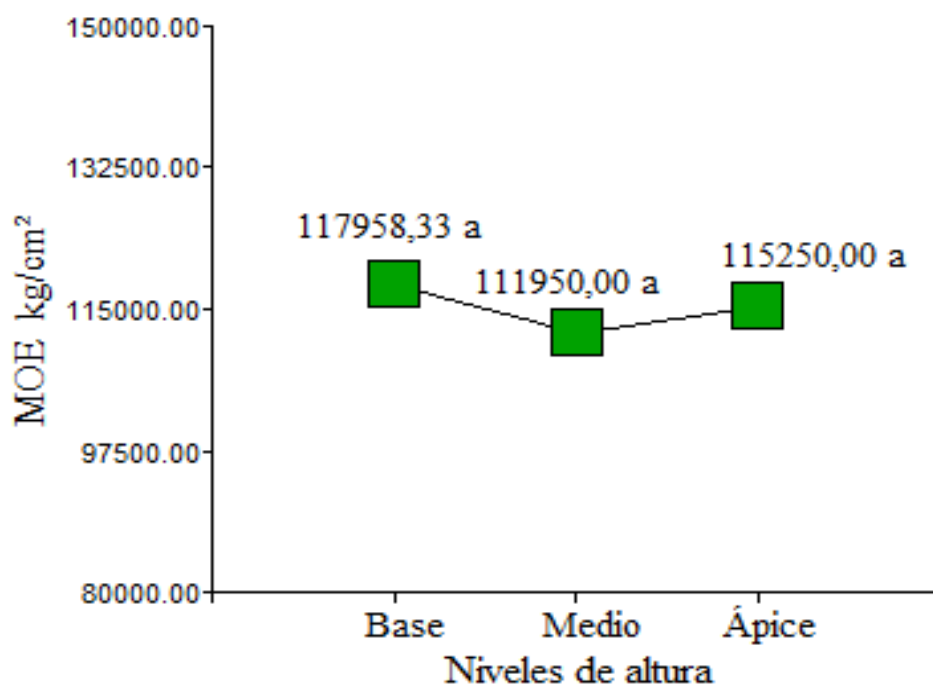
###### 4.1.1. Módulo de elasticidad (MOE) (kg/cm<sup>2</sup>)

La Tabla 5 se contempla el análisis de varianza del MOE en la flexión estática de la especie *D. peruviana* a un 95% de confiabilidad, donde la F.V niveles, secciones y niveles\*secciones no registran divergencias estadísticas significativas con un p-valor de (0,64, 0,23 y 0,32) respectivamente, siendo el p-valor superior al 5%. El arreglo presenta un coeficiente de variación de 9,35 %. El contenido de humedad (%) después del ensayo presento un valor de 15,27% (ver Anexo, Tabla 15)

**Tabla 5.** Análisis de varianza del MOE (kg/cm<sup>2</sup>)

F.V	GL	SC	CM	F	P valor
Niveles	2	108650278	54325138,89	0,47	0,64 <sup>NS</sup>
Secciones	1	184000139	184000138,90	1,59	0,23 <sup>NS</sup>
Niveles*Secciones	2	292613611	146306805,60	1,26	0,32 <sup>NS</sup>
Error	12	1388663333	115721944,40		
Total	17	1973927361			

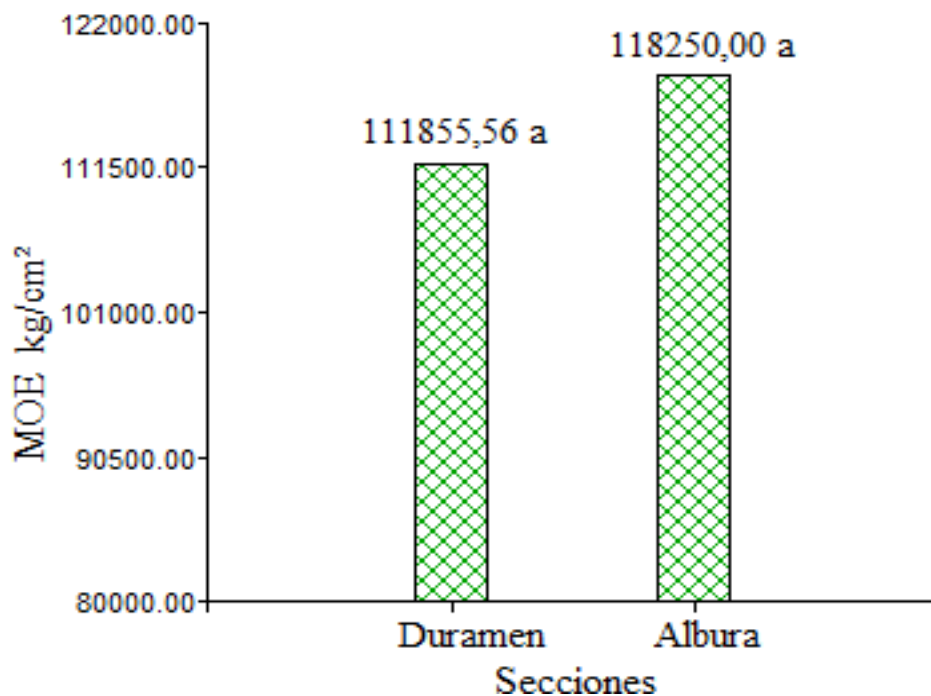
F.V: Fuente de variación; GL: Grado de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; NS: no significativo; CV: 9.35%



**Figura 7.** Contraste de comparación de medias de MOE (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes niveles de altura para ensayo de flexión estática

Como se observa en la Figura 7 donde muestra la prueba de tukey para los niveles de altura de la especie *D. peruviana* del MOE en la flexión estática, donde no se presentan diferencias estadísticas, aunque, numéricamente el nivel de altura base fue superior con una media de 117958,33 kg/cm<sup>2</sup> con referencias a los demás niveles de altura, que resultan inferiores.

Para la Figura 8 mediante la prueba de Tukey para las secciones en estudio de la especie *D. peruviana* del MOE en la flexión estática, no manifiestan diferencias estadísticas, si bien, la sección albura numéricamente es superior con una media de 118250 kg/cm<sup>2</sup> en comparación con la sección duramen con una media inferior de 111855,56 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 8.** Contraste de comparación de medias de MOE (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes secciones para ensayo de flexión estática.

Como se menciona anteriormente, en la flexión estática para la especie *D. peruviana* de acuerdo con los niveles de altura, el nivel base 117958,33 kg/cm<sup>2</sup> resulta ser superior numéricamente, por otro lado, para las secciones transversales, la sección albura con un valor de 118250 kg/cm<sup>2</sup> resulta ser superior numéricamente.

De este modo, en estudios de diferentes especies forestales del MOE en la flexión estática, el autor Álvarez (2019) en su investigación del *Tectona grandis* (*teca*) registró 115600 kg/cm<sup>2</sup>, los autores Ccyanhira y Reyes (2019) en su estudio para la especie *Terminalia oblonga* un valor de 126077,28 kg/cm<sup>2</sup>, Arévalo y Londoño (2005) investigando la especie *Protium neglectum* Swart registra 166 t/cm<sup>2</sup> valores que se aproximan a los de la investigación

realizada; similarmente los autores Torres (2010) en su estudio en la especie *Cedrelinga cateniformis* obtuvieron un valor de 97050 kg/cm<sup>2</sup>, con valores similares Vilcayauri (2009) en su investigación de la especie *Simarouba amara* obtuvo 72920 kg/cm<sup>2</sup> en el módulo de elasticidad, ambos autores con valores inferiores a los del estudio realizado; finalmente, el autor Torres (2009) en un estudio de la especie *Schizolobium amazonicum* en los resultados evidencio un valor de 60279 kg/cm<sup>2</sup>, similarmente a los anteriores, resulta ser inferior con referencia a la investigación realizada. Con respecto a los niveles de altura coincide a lo obtenido por Sanchez (2023) donde encontró diferencias numéricas en niveles de altura de *Simarouba amara* Aubl (Marupa) siendo el nivel de la base superior con 217,87 85 Kgf/cm<sup>2</sup>, de igual manera se reportaron el estudio de Pérez (2019) en la especie de *Septotheca tessmannii* Ulbr (utucuro), con un ELP en la base de 532 Kgf/cm<sup>2</sup>.

En resumen, la diferencia entre los valores del MOE en la flexión estática en los autores mencionados se debe posiblemente a la especie estudiada y diversos factores como el contenido de humedad, la densidad, entre otros, además, cabe recalcar que el módulo de elasticidad es un indicio que representa la dificultad o la facilidad que tiene la madera para deformarse, siendo a mayor el módulo de elasticidad menos tiende a deformarse.

#### 4.1.2. Módulo de ruptura (MOR (kg/cm<sup>2</sup>))

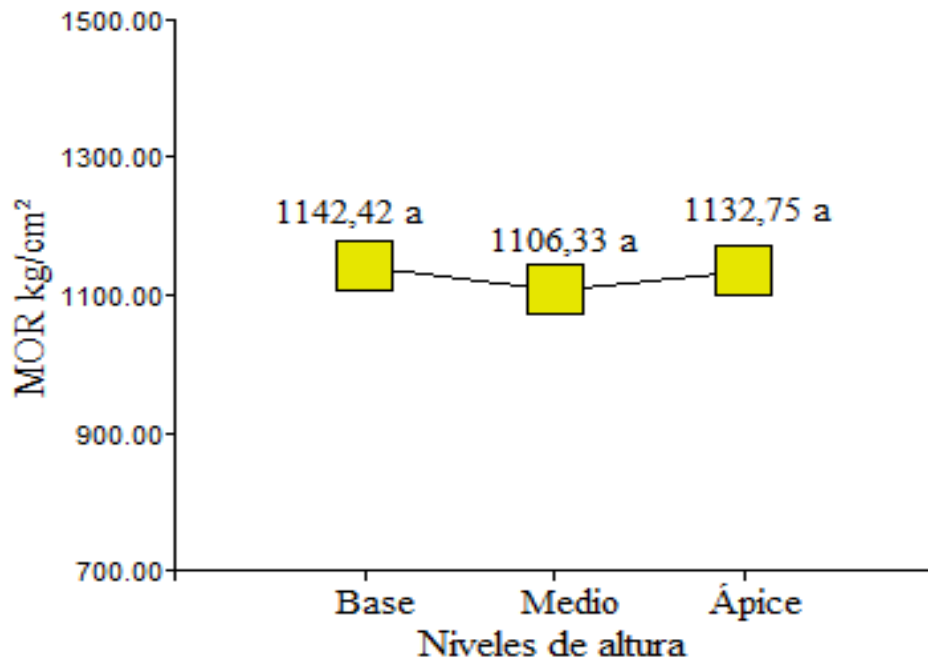
En la Tabla 6 se puede observar el análisis de varianza del MOR en la flexión estática de la especie *D. peruviana*, donde para la F.V. niveles, secciones y la relación niveles\*secciones no muestran disimilitud estadística significativa con un p-valor mayor al 5 % (0,92, 0,32 y 0,37) respectivamente, el arreglo presenta un coeficiente de variación de 13,70 %.

**Tabla 6.** Estudio de varianza del MOR (kg/cm<sup>2</sup>)

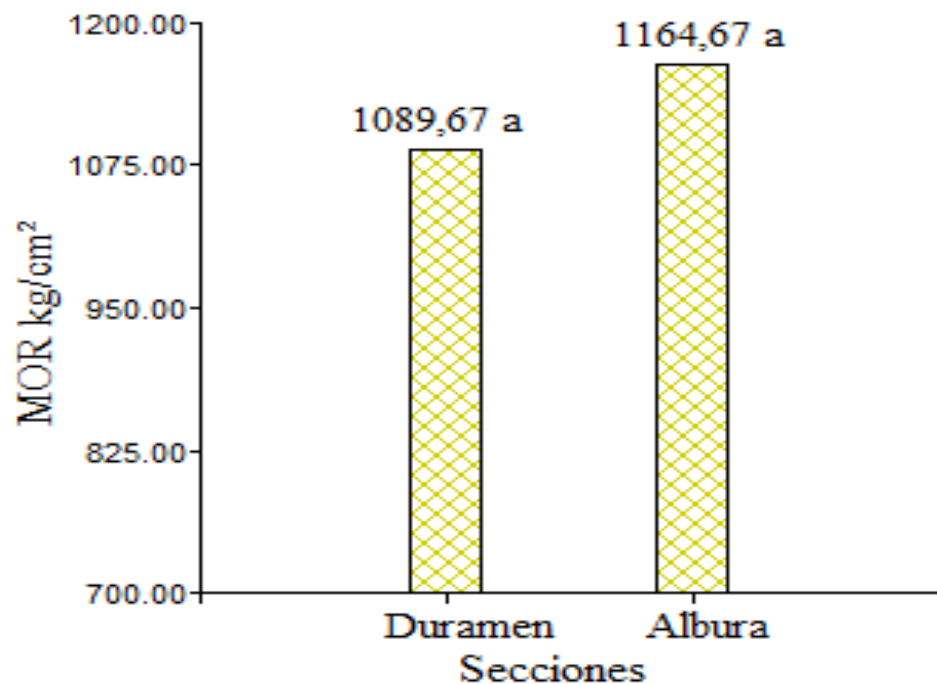
F.V	GL	SC	CM	F	P valor
Niveles	2	4186,58	2093,29	0,09	0,92 <sup>NS</sup>
Secciones	1	25312,5	25312,5	1,06	0,32 <sup>NS</sup>
Niveles*Secciones	2	51321,08	25660,54	1,08	0,37 <sup>NS</sup>
Error	12	286257,83	23854,82		
Total	17	367078			

F.V: Fuente de variación; GL: Grado de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; NS: no significativo; CV: 13.70%

Como se contempla en la Figura 9, mediante la prueba de Tukey para la especie *D. peruviana* en los niveles de altura el MOR en la flexión estática, no se presentan diferencias estadísticas, aunque, el nivel de altura base resulta superior numéricamente con una media de 1142,42 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a los demás niveles de altura (ápice y medio) con una media inferior.



**Figura 9.** Contraste de comparación de medias de MOR (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes niveles de altura para ensayo de flexión estática.



**Figura 10.** Contraste de comparación de medias de MOR (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes secciones para ensayo de flexión estática.

La Figura 10 en la prueba de Tukey para la especie *D. peruviana* en las secciones de albura y duramen el MOR en la flexión estática, no difieren estadísticamente, sin embargo, la sección albura presenta una media de 1164,67 kg/cm<sup>2</sup> siendo numéricamente superior respecto a la sección duramen con promedio inferior de 1089,67 kg/cm<sup>2</sup>.

En referencia a lo anterior, para el MOR en la flexión estática de la especie *D. peruviana* se obtuvo una media superior en el nivel de altura base con 1142,42 kg/cm<sup>2</sup>, y transversalmente, la sección albura es superior con una media de 1164,67 kg/cm<sup>2</sup>. En base a la Tabla 1 estos resultados se encuentran en la clasificación “muy alta” (MA).

En este aspecto, en investigaciones realizadas de diferentes especies el MOR en la flexión estática, el autor Pantigoso (2009) en su estudio de la especie *Aspidosperma macrocarpon* presentó resultados de 1140,56 kg/cm<sup>2</sup> que resultan ser similares al estudio realizado; por otro lado, con resultado superior los autores Arévalo y Londoño (2005) en su estudio de la especie *Protium neglectum* registro un valor de 1460 kg/cm<sup>2</sup>; por otra parte, el autor Villegas (2007) en su investigación para la especie *Protium montanum* obtuvo 841 kg/cm<sup>2</sup> siendo un valor inferior con referencia al resultado del estudio ejecutado, similarmente el autor Torres (2010) en su estudio de la especie *Cedrelinga cateniformis*, muestra valores de 594,00 kg/cm<sup>2</sup>, de la misma forma, los autores Ccyanchira y Reyes (2019) en la especie *Cedrela odorata* L. obtuvieron valor de 480,64 kg/cm<sup>2</sup>, finalmente, el autor Torres (2009) en un estudio de la especie *Schizolobium amazonicum* presentó un módulo de ruptura 316,400 kg/cm<sup>2</sup> resultados que difieren con la investigación realizada por ser un valor inferior. A la vez coincide a lo obtenido por Urbina (2017) de la madera de *Guazuma crinita* Martius (Bolaina blanca) con un MOR superior en el nivel de base con 234,63 kg/cm<sup>2</sup>

Concluyendo, la variación entre los valores de las investigaciones antes descritas se debe probablemente a la especie de la investigación realizada debido a que presentan diferentes estructuras celulares, adicionalmente, las condiciones del sitio que intervienen en las propiedades de la madera como la densidad, humedad las cuales modifican la resistencia de la madera; también, sus componentes estructurales como las fibras. Es importante mencionar, que el módulo de ruptura es una propiedad mecánica que permite caracterizar el nivel de resistencia que tiene la madera a soportar antes de romperse.

#### **4.1.3. Esfuerzo al límite proporcional (ELP) (kg/cm<sup>2</sup>)**

Como se observa en la Tabla 7, para el análisis de varianza al 95 % de confianza del ELP en la flexión estática para especie *D. peruviana*, para la fuente de variación niveles,

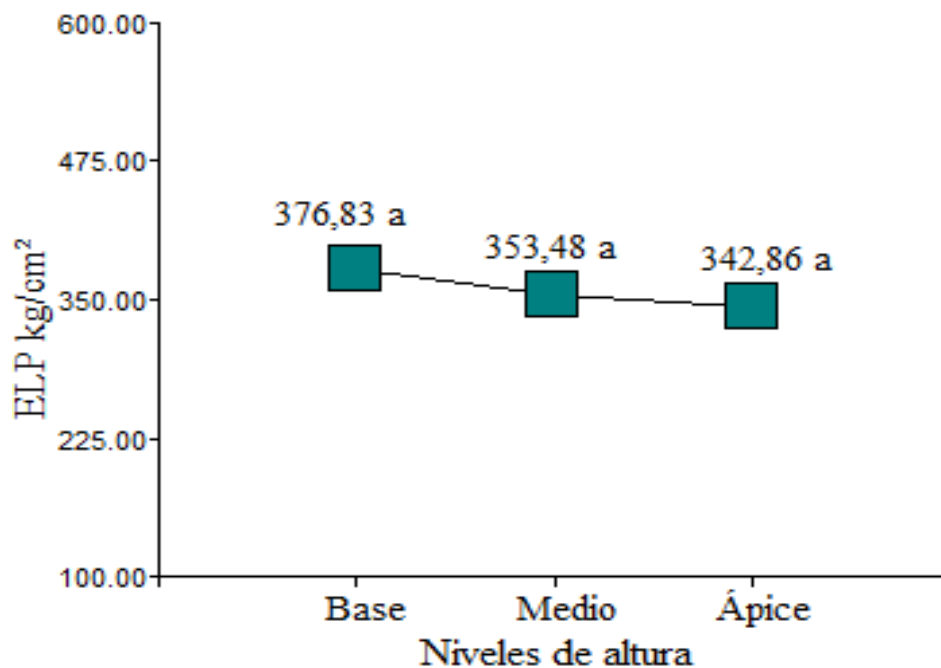
secciones y relación niveles\*secciones no difieren estadísticamente con un p-valor superior al 5 % (0,76, 0,69 y 0,69) respectivamente. El arreglo presenta un coeficiente de variación de 22,27 %.

**Tabla 7.** Estudio de varianza del ELP (kg/cm<sup>2</sup>)

F.V	GL	SC	CM	F	P valor
Niveles	2	3624,49	1812,24	0,29	0,76 <sup>NS</sup>
Secciones	1	1078,5	1078,5	0,17	0,69 <sup>NS</sup>
Niveles*Secciones	2	4769,17	2384,59	0,38	0,69 <sup>NS</sup>
Error	12	76132,33	6344,36		
Total	17	85604,49			

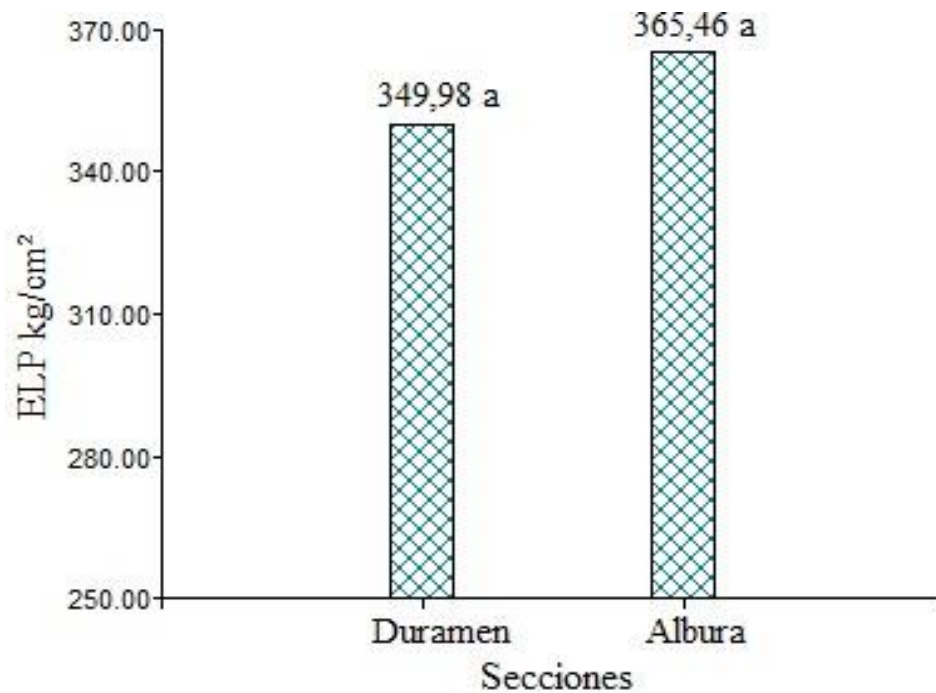
F.V: Fuente de variación; GL: Grado de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; NS: no significativo; CV: 22.27%

En la Figura 11 mediante la prueba de Tukey para los diferentes niveles de altura de *D. peruviana* del ELP en la flexión estática, donde no se presentan diferencias estadísticas, no obstante, a lo anterior, el nivel de altura base y medio resultan ser superiores numéricamente con una media de 376,83 kg/cm<sup>2</sup> y 353,48 kg/cm<sup>2</sup>, comparado al del nivel de altura ápice con una media de 342,86 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 11.** Contraste de comparación de medias de ELP (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes niveles para el ensayo de flexión estática

Para la Figura 12 se evidencia mediante la prueba de Tukey transversalmente de la especie *D. peruviana* del ELP en la flexión estática, que no existe diferencias estadísticas, no obstante, la sección albura con una media de 365,46 kg/cm<sup>2</sup> resulta ser numéricamente superior con respecto a la sección duramen con una media de 349,98 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 12.** Contraste de comparación de medias de ELP (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes secciones para la prueba de flexión estática.

En resumen, para el ELP en la flexión estática para especie *D. peruviana*, para los niveles de altura se obtuvo una media superior de 376,83 kg/cm<sup>2</sup> para el nivel de altura base, por otro lado, para las secciones transversales se presentó una media superior en la sección albura con un valor de 365,46 kg/cm<sup>2</sup>.

De este modo, en estudios de especies forestales del ELP en la flexión estática con valores similares en el ELP se tiene a los autores Ccyanchira y Reyes (2019) en su estudio de la especie *Cedrela odorata* obtuvo un valor de 335,20 kg/cm<sup>2</sup>, similarmente el autor Torres (2010) en su investigación de la especie *Cedrelinga cateniformis*, muestra en los resultados de 325,81 kg/cm<sup>2</sup> valores que se encuentran dentro del rango de los resultados obtenidos en la investigación; por otro lado, el autor Álvarez (2019) obtuvo resultados superiores en su investigación de la especie *Tectona grandis* (teca) con un valor de 555,4 kg/cm<sup>2</sup>, además, el autor Alvis *et al.* (2017) en su investigación de la especie *Ocotea brevipetiolata* presentó un valor de 626 kg/cm<sup>2</sup>, de igual modo, Pantigoso (2009) en su estudio de la especie *Aspidosperma*

*macrocarpon* obtuvo un ELP de  $706,6 \text{ kg/cm}^2$  valores que resultan ser superiores a los del estudio realizado.

En conclusión, existe variación en los valores de los estudios mencionados, esto se debe probablemente por la especie de madera, las propiedades físicas (densidad y contenido de humedad), presencia de defectos en la madera como nudos, orientación de las fibras. Es relevante destacar, que el esfuerzo en el límite permisible se relaciona con la tensión máxima que soporta la madera previa a la deformación, además, la madera es más resistente y rígida cuando se encuentra a favor de la dirección de las fibras y de lo contrario, es más frágil en dirección perpendicular.



**Figura 13.** Fallas generadas después del ensayo de flexión estática

En la Figura 13 se observa los tipos de fallas ocurridas en el ensayo de flexión estática, donde la mayoría de las muestras presentaron tensión astillada en excepción la probeta obtenida del duramen en el nivel de la base presento una tensión abrupta.

## 4.2. Compresión paralela a las fibras a tres niveles de la altura y en sentido transversal de *Dacryodes peruviana*

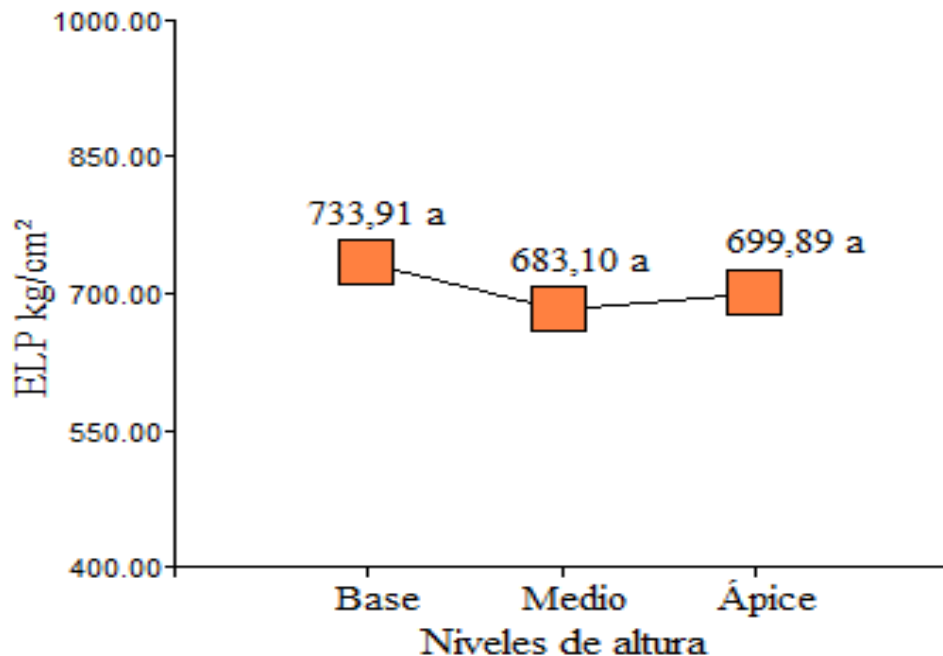
### 4.2.1. Esfuerzo al límite proporcional ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

La Tabla 8 muestra el análisis de varianza del ELP en la compresión paralela a las fibras de *D. peruviana* donde no presentan diferencias estadísticas significativas para las fuentes de variación niveles, sección y la interacción de niveles\*sección resultando un p-valor superior al 5 % (0,7173, 0,7177 y 0,7914) respectivamente. El modelo presenta un coeficiente de variación de 14,80 %; asimismo, el contenido de humedad promedio después del ensayo fue de 16,87% (ver anexo, Tabla 16).

**Tabla 8.** Análisis de varianza del ELP ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

F.V.	GL	SC	CM	F	P valor
Niveles	2	8042,41	4021,2	0,34	0,71 NS
Sección	1	1612,36	1612,36	0,14	0,71 NS
Niveles*Sección	2	5615,18	2807,59	0,24	0,79 NS
Error	12	141238,29	11769,89		
Total	17	156508,23			

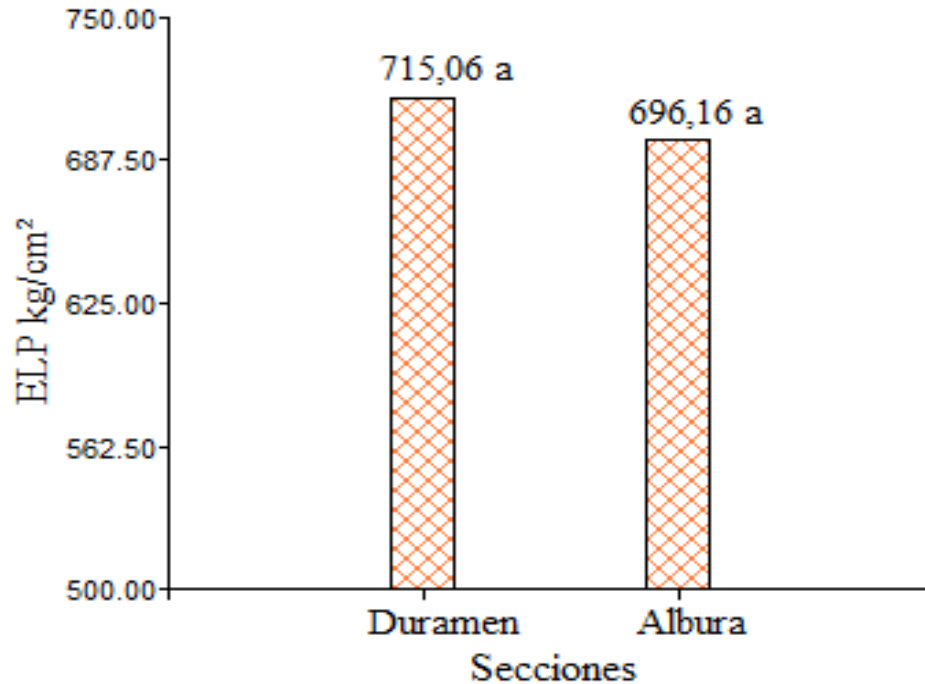
F.V: Fuente de variación; GL: Grado de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; NS: no significativo; C.V: 15,37%



**Figura 14.** Contraste de comparación de medias de ELP ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) en diferentes niveles de fuste para ensayo de compresión paralela a las fibras.

Para la Figura 14 mediante la prueba de tukey para los niveles de altura de *D. peruviana* el ELP en la compresión paralela a las fibras, se puede observar que no se presentan

diferencias estadísticas entre los tres niveles del fuste, no obstante, la base presenta una media de 733,91 kg/cm<sup>2</sup> que resulta ser superior numéricamente con relación a los demás niveles de fuste.



**Figura 15.** Prueba de comparación de medias de ELP (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes secciones para ensayo de compresión paralela a las fibras

Como se observa en la Figura 15 para la prueba de tukey transversalmente la especie *D. peruviana* del ELP en la compresión paralela, donde no se muestran diferencias estadísticas en las secciones, sin embargo, el duramen presenta valor superior con 715,09 kg/cm<sup>2</sup> en contraste con la sección albura con una media menor de 696,16 kg/cm<sup>2</sup>.

Con lo mencionado anteriormente, el ELP en la compresión paralela a las fibras de *D. peruviana*, para los niveles del fuste se obtuvo al nivel base con una media de 733,91 kg/cm<sup>2</sup> que resulta ser superior, por otra parte, para las secciones transversales se presenta la sección duramen con una media 715,09 kg/cm<sup>2</sup> siendo superior con respecto a los demás.

En este aspecto, en investigaciones sobre especies forestales en el ELP de la compresión paralela se tienen a los autores Ccyanchira y Reyes (2019) en su investigación de la especie *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav) presentó un valor de 525,01 kg/cm<sup>2</sup> que se aproximan con la investigación realizada; por otro lado, con resultados inferiores con respecto a la investigación el autor Álvarez (2019) en su investigación de la especie *Tectona grandis* (teca) presentó un valor de 313,5 kg/cm<sup>2</sup>, asimismo, para los autores Alvis *et al.* (2017) al

estudiar la especie *Ocotea brevipetiolata* presentaron un valor de 325 kg/cm<sup>2</sup> el cual difiere con el estudio realizado; de la misma forma, el autor Torres (2010) en su estudio de la especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) obtuvo un ELP de 231,65 kg/cm<sup>2</sup>, igualmente, el autor Torres (2009) en un estudio de la especie *Schizolobium* presentó un ELP de 117,130 kg/cm<sup>2</sup> resultados que son disimiles a los del estudio realizado.

Cabe recalcar, que los diferentes resultados en rangos y valores se deben posiblemente a las diferentes especies forestales de los estudios, asimismo, las condiciones del sitio (temperatura) intervienen en las propiedades de la madera como la humedad y densidad que posteriormente influyen de las propiedades mecánicas. De esta forma, el ELP en la compresión paralela de las fibras de la madera es la capacidad que tiene este material para resistir esfuerzos que son aplicados.

#### 4.2.2. Resistencia Máxima (RM) (kg/cm<sup>2</sup>)

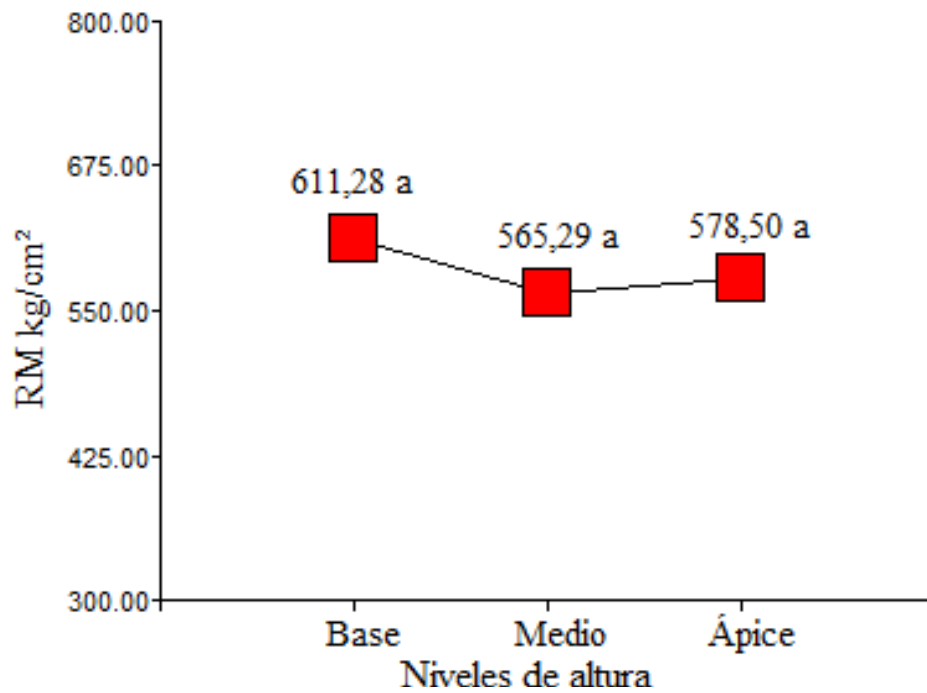
Se muestra en la Tabla 9 para la RM en la compresión paralela a las fibras de la especie *D. peruviana*, donde para la F. V. niveles, sección y la interacción niveles\*sección no indica diferencias estadísticas significativas con un p-valor de (0,63, 0,73 y 0,60) respectivamente. El arreglo indica un coeficiente de variación de 14,26 %.

**Tabla 9.** Análisis de varianza de la RM (kg/cm<sup>2</sup>)

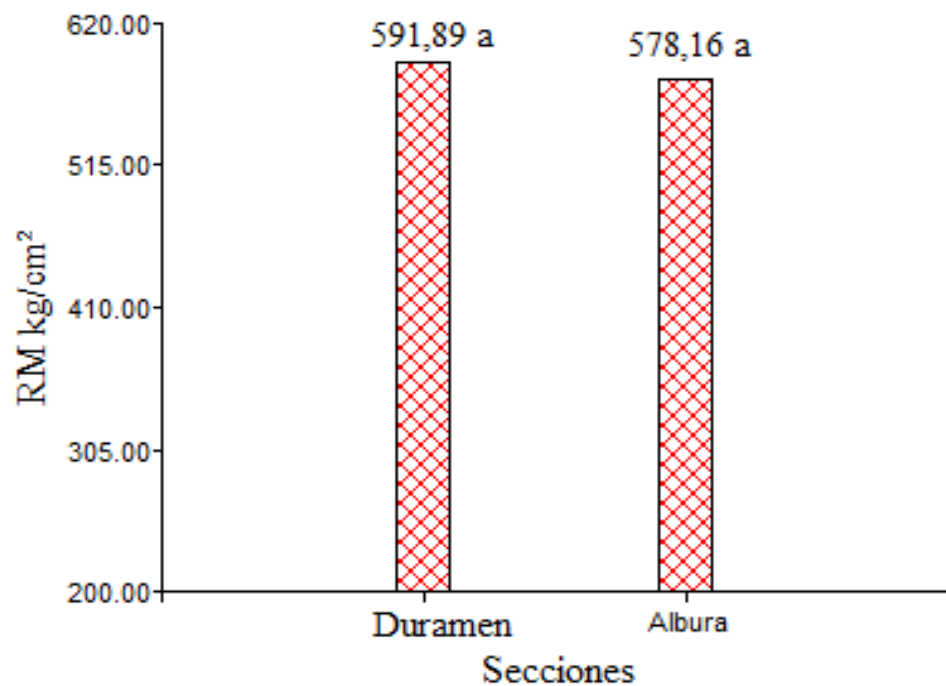
F. V	GL	SC	CM	F	P valor
Niveles	2	6727,44	3363,72	0,48	0,63 <sup>NS</sup>
Sección	1	848,03	848,03	0,12	0,73 <sup>NS</sup>
Niveles*Sección	2	7330,21	3665,1	0,53	0,60 <sup>NS</sup>
Error	12	83527,17	6960,6		
Total	17	98432,85			

F.V: Fuente de variación; GL: Grado de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; NS: no significativo; C.V: 14.26%

Para la Figura 16 se muestra en la prueba de tukey en los niveles de fuste en *D. peruviana* la RM en la compresión paralela a las fibras, donde no presentan diferencias estadísticas, pese a lo cual, el nivel de altura base resulta ser superior numéricamente con una media de 611,28 kg/cm<sup>2</sup> al comparar con los niveles medio y ápice con una media de (565,29 y 578,50 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente.



**Figura 16.** Contraste de comparación de medias de RM ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) en diferentes niveles de fuste para ensayo de compresión paralela a las fibras



**Figura 17.** Contraste de comparación de medias de RM ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) en diferentes secciones para ensayo de compresión paralela a las fibras.

En la Figura 17 por medio de la prueba de Tukey en cuanto a las secciones de *D. peruviana* la RM en la compresión paralela a las fibras, no se muestran diferencias estadísticas para las diferentes secciones, sin embargo, la sección duramen es superior

numéricamente con un valor de 591,89 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a la albura con una media de 578,16 kg/cm<sup>2</sup>.

Con relación a lo anterior, en la resistencia máxima (RM) en la compresión paralela a las fibras de *D. peruviana*, para los niveles del fuste se presenta la media superior el nivel base con una media de 611,28 kg/cm<sup>2</sup>, transversalmente se obtuvo la media superior en la sección duramen con un valor de 591, 89 kg/cm<sup>2</sup>. Estos valores obtenidos se encuentran en la clasificación “muy alta” (MA), ver Tabla 1.

Por tanto, en las investigaciones realizadas en diferentes especies forestales en la resistencia máxima (RM) en la compresión paralela a las fibras, donde los autores Ccyanchira y Reyes (2019) en su investigación para la especie *Cedrela odorata* L. muestra un resultado de 580,48 kg/cm<sup>2</sup> siendo un valor cercano al resultado del estudio realizado, asimismo, Pantigoso (2009) en su estudio de la especie *Aspidosperma macrocarpon* Mart presentó un valor de 586,75 kg/cm<sup>2</sup> siendo similar al resultado del estudio ejecutado; por otro lado, con un valor inferior el autor Álvarez (2019) en su investigación de la especie *Tectona grandis* presentó una resistencia máxima de 458,5 kg/cm<sup>2</sup>; también, el autor Torres (2010) en su estudio de la especie *Cedrelinga cateniformis* obtuvo un valor de 336,15 kg/cm<sup>2</sup>, finalmente, con un resultado que difiere con la investigación realizada el autor Torres (2009) en un estudio de la especie *Schizolobium amazonicum* presentó una resistencia máxima (RM) de 223,560 kg/cm<sup>2</sup> siendo inferior al resultado obtenido.

Para resumir, se presentan diferentes valores para la resistencia máxima en la compresión paralela de las fibras, esto se debe posiblemente por las características que presentan cada especie en específico, además, las características del lugar donde se encuentra la especie en estudio. Es importante recalcar, que la resistencia máxima en la compresión paralela de las fibras en la madera es primordial para asegurar la garantía y eficacia de dicho material.

#### **4.3. Cizallamiento paralelo a las fibras (tangencial) a tres niveles de altura y en sentido transversal de *Dacryodes peruviana*.**

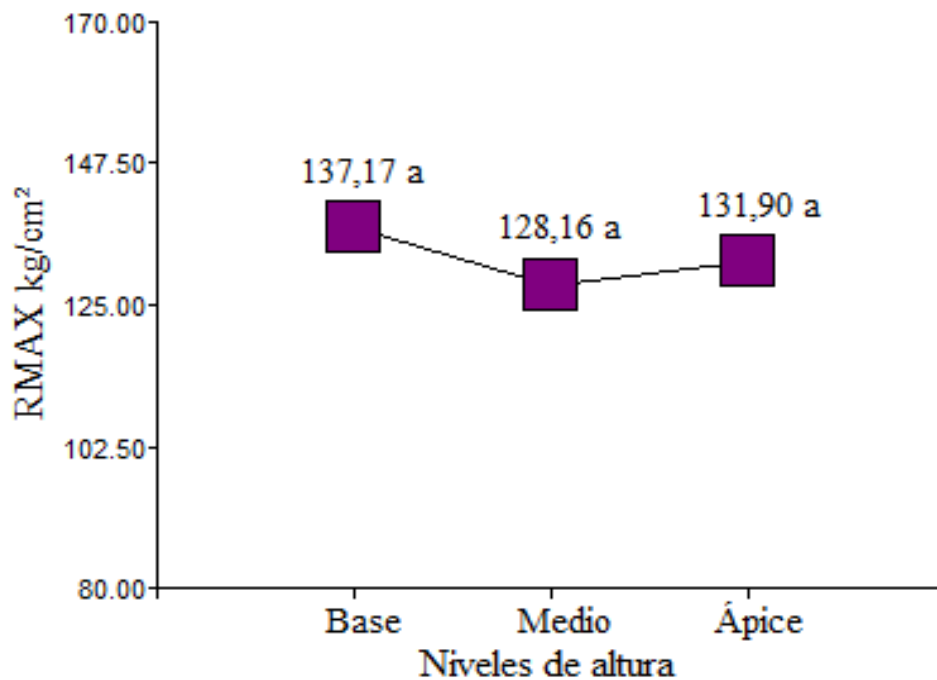
Se observa en la Tabla 10 en el análisis de varianza de la resistencia máxima al cizallamiento (RMAX) de la especie *D. peruviana* al 95 % del nivel de confianza, estadísticamente no presentan diferencias significativas para la F. V. niveles, secciones y la interacción de niveles\*secciones con p-valor (0,88, 0,63 y 0,51) que resulta ser superior al 5 %. El modelo presenta un coeficiente de variación de 23,33 %; asimismo el contenido de humedad promedio después de terminar el ensayo fue de 16,47% (ver anexo, Tabla 15).

**Tabla 10.** Análisis de varianza del RMAX (kg/cm<sup>2</sup>)

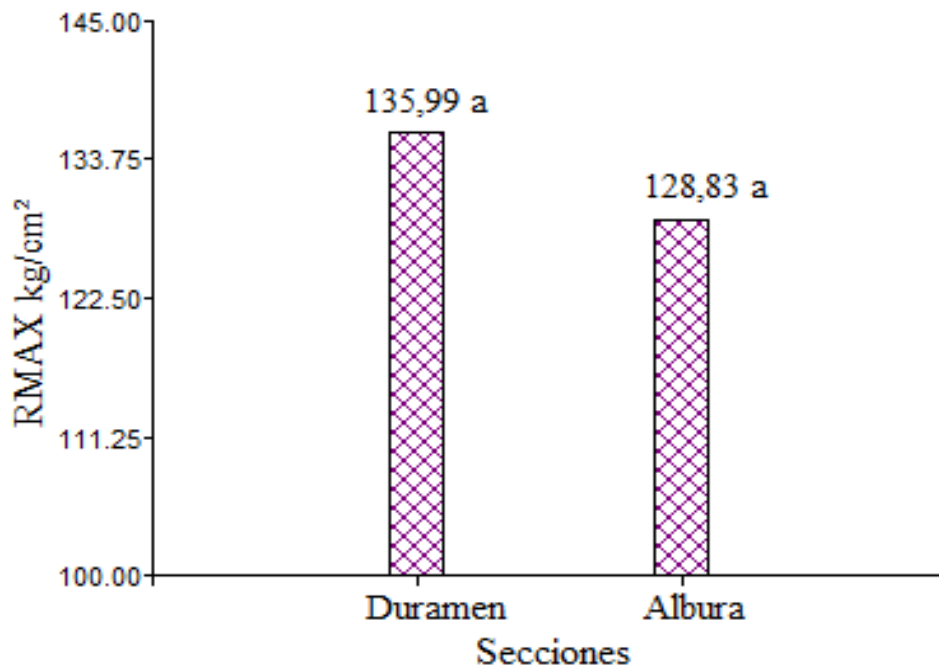
F. V	GL	SC	CM	F	P valor
Niveles	2	246,26	123,13	0,13	0,88 NS
Secciones	1	230,82	230,82	0,24	0,63 NS
Niveles*Secciones	2	1359,12	679,56	0,71	0,51 NS
Error	12	11451,66	954,3		
Total	17	13287,85			

F.V: Fuente de variación; GL: Grado de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: Cuadrados medios; NS: no significativo; CV :23.33%

Se registra en la Figura 18 por medio de la prueba de tukey para los diferentes niveles del fuste de *D. peruviana*, donde estadísticamente no presentan diferencias en los niveles del fuste, no obstante, la base con una media de 137,17 kg/cm<sup>2</sup> resulto numéricamente superior a diferencia del ápice y medio con una media de (131,90 y 128,16 kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente.



**Figura 18.** Contraste de comparación de medias de Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes niveles de altura para ensayo de cizallamiento.



**Figura 19.** Contraste de comparación de medias de Resistencia máxima (kg/cm<sup>2</sup>) en diferentes secciones para ensayo de cizallamiento.

La Figura 19 presenta mediante la prueba Tukey transversalmente de *D. peruviana*, en la cual no se muestran diferencias estadísticas en las secciones, sin embargo, resulta ser superior numéricamente la sección duramen con una media de 135,99 kg/cm<sup>2</sup>, por otro lado, la sección albura con una media de 128,83 kg/cm<sup>2</sup> resulta ser inferior numéricamente.

Con referencia a lo anterior, en la resistencia máxima en el cizallamiento de *D. peruviana*, para los niveles de fuste se obtuvo la media numéricamente superior en el nivel de altura base con un valor de 137,17 kg/cm<sup>2</sup>, transversalmente, el duramen fue superior numéricamente con una media de 135,99 kg/cm<sup>2</sup>. Resultados que se ubican en el rango: Mayor de 121, clasificándolo como “muy alta” (MA).

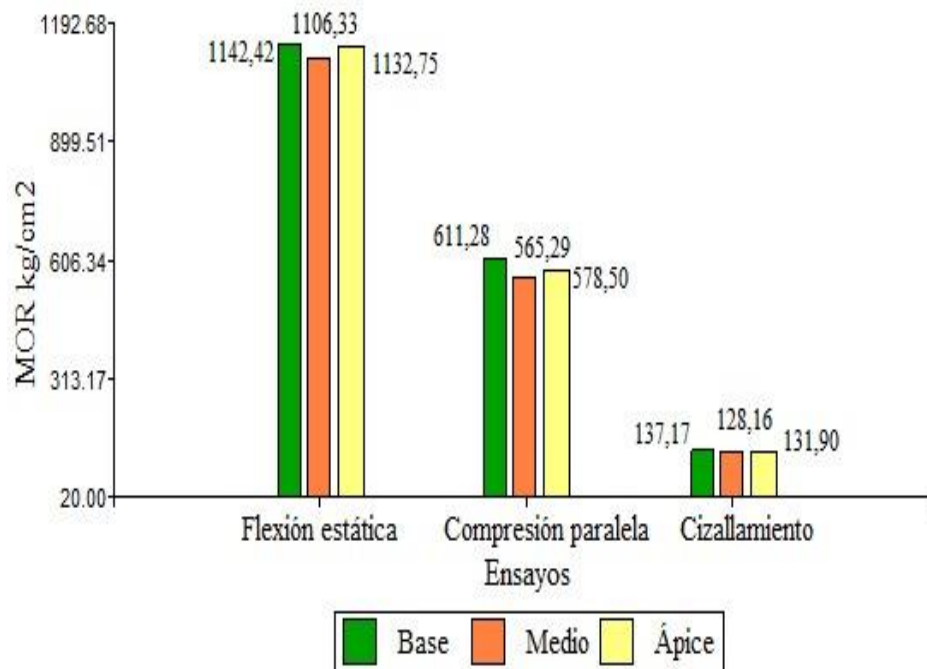
Por consiguiente, en estudios realizados de la resistencia máxima en el cizallamiento en especies forestales diferentes, se tiene a los autores Arévalo y Londoño (2005) en su investigación de la especie *Protium neglectum* se presentó un valor de 126 kg/cm<sup>2</sup> que se asemeja al resultado obtenido en la investigación, por otro lado, el autor Pantigoso (2009) en su estudio de la especie *Aspidosperma macrocarpon* obtuvo un valor de 159,62 kg/cm<sup>2</sup> el cual resulta ser superior en comparación al del estudio ejecutado, desde otro punto, con un valor inferior el autor Álvarez (2019) en su investigación de la especie *Tectona grandis* (teca) un valor de 107,8 kg/cm<sup>2</sup>.

En conclusión, los resultados que difieren en el estudio realizado se deben posiblemente por la especie estudiada, además de las características de la madera como el grano (orientación), las condiciones del lugar de estudio (temperatura, entre otras). Finalizando, la resistencia máxima al cizallamiento es una propiedad importante y fundamental para el desempeño de dicho material.

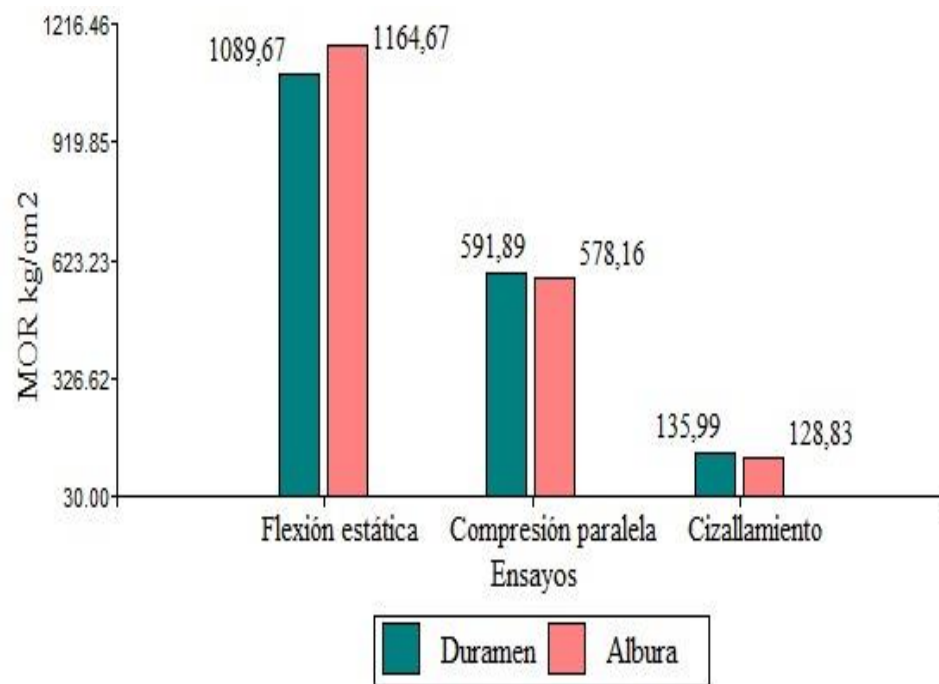
**Tabla 11.** Resumen de los valores obtenidos en los tres ensayos.

Propiedades mecánicas	N	Base	Medio	Ápice	Duramen	Albura	
Flexión estática kg/cm <sup>2</sup>	MOE	3	117958,33	111950	115250	111855,56	118250
	MOR	3	1142,42	1106,33	1132,75	1089,67	1164,67
	ELP	3	376,83	353,48	342,86	349,98	365,46
Compresión paralela kg/cm <sup>2</sup>	ELP	3	733,91	683,10	699,89	715,06	696,16
	RM	3	611,28	565,29	578,50	591,89	578,16
Cizallamiento kg/cm <sup>2</sup>	RES MAX	3	137,17	128,16	131,90	135,99	128,83

Fuente: Elaboración propia; N: número de árboles.



**Figura 20.** Comparación de las propiedades mecánicas del *D. peruviana* en los niveles de altura.



**Figura 21.** Comparación de las propiedades mecánicas del *D. peruviana* en albura y duramen.

## V. CONCLUSIONES

1. Para el ensayo flexión estática: en los niveles longitudinales y secciones, estadísticamente no se registraron diferencias significativas. De acuerdo con la clasificación a la resistencia a la flexión y tomando en cuenta el valor del MOR este ensayo se clasifica como “muy alta” (MA).
2. Para el ensayo de compresión paralela a las fibras: no se evidenciaron diferencias estadísticas entre niveles y secciones. Con el promedio de la resistencia máxima mostrada anteriormente entre niveles y secciones, este ensayo se clasifica como “muy alta” (MA).
3. Para la resistencia máxima en el ensayo de cizallamiento estadísticamente no se encontraron diferencias en los diferentes niveles de longitud y secciones. Conforme a los resultados presentados para la RMAX, se clasifica como “muy alta” (MA).

## VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Explorar otras características mecánicas de la madera, como resistencia a la dureza superficial o resistencia a la tracción en diferentes direcciones y la compresión perpendicular.
- Analizar cómo varían las propiedades mecánicas según la zona de procedencia y la edad del árbol para entender mejor su comportamiento en diferentes condiciones.
- Explorar diferentes métodos de tratamiento de la madera o técnicas para mejorar sus propiedades mecánicas y hacerla más versátil en diversos campos.
- Realizar comparaciones con otras especies de madera con propiedades similares para tener una visión más amplia y destacar las fortalezas y debilidades relativas de la madera de *Dacryodes peruviana*.

## VII. REFERENCIAS

- Acuña, L., Casado, M. (2005). Material de apoyo del curso Tecnología de la madera (en línea). Universidad de Valladolid. España.
- Alvarez, D. (2017). Caracterización morfológica e identificación de zonas potenciales de conservación de copal (*Dacryodes peruviana*) en los siete transectos del proyecto banco de germoplasma. [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi] Repositorio <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4204>
- Alvis, J., Cabas, L., Valencia, D. (2017). Propiedades físico-mecánicas de la madera de uraco (*Ocotea brevipetiolata* van der Werff), Municipio de Sibundoy, Putumayo. Revista Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial. 15(1), 66-75.
- Alvarez, R. (2019). Caracterización físico-mecánica de la madera de teca *Tectona grandis* L.f. proveniente de una plantación en Chanchamayo-Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4947>
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2000). Standard test methods for small clear specimens of timber, Designation: D 143-94 (Reapproved 2000) – Primary methods. Philadelphia, US. 31 p.
- Arévalo, R., Londoño, A. (2005). Manual para la identificación de madera que se comercializan en el departamento de Tolima. Corporación Autónoma Regional del Tolima.
- Aróstegui, V. 1980. Propiedades tecnológicas y uso de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. *Revista Forestal del Perú*, 10(1-2): 3-82. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol10\\_no1-2\\_80-81\\_\(14\)/vol10\\_art1.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol10_no1-2_80-81_(14)/vol10_art1.pdf)

- Ayala, F. (2003) *Taxonomía Vegetal: Gimnospermas y Angiospermas de la Amazonía Peruana*.  
Folia Amazónica. 2: 423-858
- Aylas, R., Bendezú, J. (2008) *Anatomía, Propiedades Físicas y Mecánicas de Matisia bicolor Ducke (Malvaceae) y Myrcianthes fragans (Sw.) McVaugh (Myrtaceae) Comunidad Nativa Coriteni Tarso – Satipo* [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú] Repositorio UNCP  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2565>
- Ccyanchira, F., Reyes, M. (2019). *Anatomía, propiedades físicas-mecánicas, químicas y potencial dendrocronológico de Cedrela odorata L. y Terminalia oblonga (Ruiz & Pav.) Centro Anapiari, Pichanaki- Junín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro de Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5587>
- Cuevas, E. (2003). *Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Material de apoyo en propiedades físicas y mecánicas*. Talca, Chile. Universidad de Talca. Escuela de Ingeniería en industrias de la madera.
- Díaz, P. (2005). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de Nothofagus glauca (hualo) proveniente de la zona de cauquenes*. Talca-UT.
- GBIF (2014). *Global Biodiversity Information Facility*. <http://www.gbif.es>
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano Ciencias Agrícolas. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7936/BVE19040225e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jauregui, Y. y Ramos, J. (2019). *Anatomía y propiedades físico – mecánicas de tres especies forestales, Concesión Forestal Mendoza – Pucallpa*. [Tesis para optar título profesional].  
Repositorio UNCP.

[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5155/T010\\_46089891\\_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5155/T010_46089891_T.pdf?sequence=1)

Morales, P. (2009). Propiedades físico – mecánicas del Haplorhus peruviana Engl. – Huancavelica. [tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2571>

NTP (Norma Técnica Peruana 251.008.). (2016). Método para selección y colección de muestras. Lima-Perú.

Paguay, I. (2013) Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas: platuquero (*Styloceras* sp), yagual (*Polylepis racemosa*), nogal (*Juglans neotropica*). [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] Repositorio ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2788>

Pantigoso, J. (2009). Propiedades físicas y mecánicas del pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart.) proveniente de plantaciones del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt – Ucayali. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/325>

Pérez, S. (2019) determinación de algunas propiedades mecánicas de la especie *Septotheca tessmannii* Ulbr (utucuro), y su variabilidad en tres niveles longitudinales del fuste, procedentes de los distritos de Callería e Iparía – Ucayali. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Ucayali] Repositorio UNU

<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4192>

Sánchez, E. (2023) *Influencia de los niveles longitudinales del fuste en las propiedades mecánicas de la madera de Simarouba amara Aubl (Marupa), procedente del Fundo San Agustín - distrito de Tournavista, provincia de Puerto Inca, departamento de Huánuco.* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Ucayali] Repositorio UNU

<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/6794>

Suasnabar, C., Monge, (2019). *Características anatómicas y propiedades físico - mecánicas de tres especies forestales, iscozacín, Oxapampa – Pasco* [tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú.] Repositorio UNCP

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5192>

Shapiama, F. (2023). *Propiedades físicas en el eje longitudinal y transversal del fuste de Dracryodes peruviana (copal), zona-Tingo María*. [Tesis para optar título]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva  
<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/623d7534-f653-49eb-abdc-53797855b71c/content>

Spavento, E., Keil, G., Monteoliva, S. (2008). *Propiedades mecánicas de la madera*. Curso de Xilotecnología. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.

Torres, F. (2010). *Propiedades físico-mecánicas de la especie (“tornillo”) Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke* proveniente de plantaciones en fajas del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt-Ucayali. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12955/312>

Torres, F. (2009). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la especie pino chuncho (Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke)* proveniente de plantaciones del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt – Ucayali. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/495>

Urbina, L. (2017) *Propiedades mecánicas de la madera de raleo procedente de plantaciones de cuatro años de Guazuma crinita Martius (bolaina blanca) – Huánuco*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina] Repositorio UNALM

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2703>

- Vasquez, M. (2005) Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (hualo) proveniente de la zona de Cauquenes [Tesis pregrado, Universidad de Talca]
- Velásquez, J., Toro, M., Gómez, L., Terzo, F., & Márquez, A. (2009). Patrón de variación axial y radial del peso específico en la madera de *erisma uncinatum* warm. *Interciencia*, 34(12), 873-879.
- Veliz, G. (2003). Determinación de propiedades físicas y mecánicas en maderas de híbridos de *Populus* . [Tesis Ing. Forestal, Universidad de Talca/ tesis no publicada]
- Vilcayauri, E. (2009). Propiedades Físico-Mecánicas de *Simarouba amara* Aubl. (Marupá) proveniente de las plantaciones de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/435>
- Villegas, W. (2007). Uso actual y potencial de especies forestales maderables en áreas tradicionales de Chaqueo, en el Parque Nacional de manejo integrado Cotapta, Departamento de la Paz. [tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional UMSA. <http://hdl.handle.net/123456789/4272>

**ANEXO**

**Tabla 12.** Valores obtenidos para ensayo de flexión estática

N° de árbol	Niveles de altura	Sección	Item	Sample ID	Sample No,	Ancho cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	MOR kg/cm <sup>2</sup>	MOE kg/cm <sup>2</sup>	CLP kg	CMAX kg	DLP cm	ELP kg/cm <sup>2</sup>
1	Base	Albura	1	COPAL	A1BA1	2,57	2,51	6,45	1249	125000	235,6	375	0,43	394,94
1	Base	Albura	2	COPAL	A1BA2	2,56	2,55	6,53	1239	122200	219,0	382	0,49	360,7
1	Base	Duramen	3	COPAL	A1BD1	2,57	2,53	6,50	1240	111000	236,0	378	0,60	395,01
1	Base	Duramen	4	COPAL	A1BD2	2,56	2,58	6,60	1192	107800	212,0	376	0,52	338,85
1	Medio	Albura	5	COPAL	A1MA1	2,62	2,75	7,20	1089	71400	150,0	216	0,45	397,64
1	Medio	Albura	6	COPAL	A1MA2	2,55	2,53	6,45	1354	124100	246,0	409	0,56	414,98
1	Medio	Duramen	7	COPAL	A1MD1	2,53	2,51	6,35	1022	88300	164,8	302	0,54	385,86
1	Medio	Duramen	8	COPAL	A1MD2	2,53	2,47	6,25	1343	138800	240,0	384	0,53	433,29
1	Ápice	Albura	9	COPAL	A1ApA1	2,51	2,59	6,50	1247	126200	233,0	389	0,49	376,06
1	Ápice	Albura	10	COPAL	A1ApA2	2,47	2,59	6,40	1150	122300	226,0	353	0,50	370,67
1	Ápice	Duramen	11	COPAL	A1ApD1	2,47	2,59	6,40	1151	109800	199,6	292	0,55	327,37
1	Ápice	Duramen	12	COPAL	A1APD2	2,57	2,53	6,50	1381	95100	348,0	421	1,03	582,47
2	Base	Albura	13	COPAL	A2BA1	2,49	2,54	6,32	1650	138700	347,0	491	0,72	593,49
2	Base	Albura	14	COPAL	A2BA2	2,59	2,51	6,50	1248	117900	239,0	377	0,58	404,96
2	Base	Duramen	15	COPAL	A2BD1	2,56	2,54	6,50	1087	109500	268,0	332	0,68	445,84
2	Base	Duramen	16	COPAL	A2BD2	2,55	2,53	6,45	1039	123800	151,8	314	0,35	456,07
2	Medio	Albura	17	COPAL	A2MA11	2,49	2,59	6,45	1368	138000	238,0	423	0,46	387,21

2	Medio	Albura	18	COPAL	A2MA12	2,55	2,43	6,20	1290	118100	253,0	360	0,68	471,67
2	Medio	Duramen	19	COPAL	A2MD1	2,45	2,51	6,15	1027	109800	199,6	294	0,55	357,53
2	Medio	Duramen	20	COPAL	A2MD2	2,57	2,56	6,58	1369	111400	339,0	427	0,82	550,64
2	Ápice	Albura	21	COPAL	A2ApA1	2,57	2,55	6,55	1164	98400	202,0	360	0,56	331,41
2	Ápice	Albura	22	COPAL	A2ApA2	2,62	2,58	6,76	999	94600	201,0	323	0,55	313,91
2	Ápice	Duramen	23	COPAL	A2ApD1	2,39	2,51	6,00	1070	123100	197,9	298	0,50	363,38
2	Ápice	Duramen	24	COPAL	A2APD2	2,54	2,60	6,60	1019	125000	215,0	324	0,45	339,49
3	Base	Albura	25	COPAL	A3BA1	2,51	2,55	6,40	1186	125900	223,0	359	0,50	374,61
3	Base	Albura	26	COPAL	A3BA2	2,57	2,52	6,48	957	129000	189,2	289	0,42	319,86
3	Base	Duramen	27	COPAL	A3BD1	2,39	2,65	6,33	693	90100	156,9	215	0,46	250,46
3	Base	Duramen	28	COPAL	A3BD2	2,64	2,65	7,00	929	114600	193,4	319	0,40	279,49
3	Medio	Albura	29	COPAL	A3MA1	2,57	2,55	6,55	1003	120700	164,5	310	0,37	269,88
3	Medio	Albura	30	COPAL	A3MA2	2,64	2,65	7,00	985	113700	187,8	338	0,39	271,4
3	Medio	Duramen	31	COPAL	A3MD1	2,63	2,65	6,97	1005	83300	140,8	265	0,40	204,25
3	Medio	Duramen	32	COPAL	A3MD2	2,63	2,59	6,81	1151	125800	258,0	376	0,52	397,41
3	Ápice	Albura	33	COPAL	A3ApA1	2,61	2,55	6,66	1089	123700	208,0	342	0,45	336,02
3	Ápice	Albura	34	COPAL	A3ApA2	2,59	2,63	6,81	1197	118600	273,0	397	0,57	410,26
3	Ápice	Duramen	35	COPAL	A3ApD1	2,53	2,49	6,30	1296	123500	255,0	376	0,62	451,25
3	Ápice	Duramen	36	COPAL	A3APD2	2,63	2,63	6,92	1030	122700	216,0	347	0,43	319,67

MOR: Modulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidad; CLP: Carga limite proporcional; CMAX: Carga máxima; DLP: Dimensión al límite proporcional; ELP: Esfuerzo al límite proporcional.

**Tabla 13.** Valores obtenidos en el ensayo de compresión paralela a las fibras

N <sup>a</sup> de árbol	Niveles de altura	sección	Ite m	Sample ID	Sample No,	Ancho cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	CLP kg	CMAX kg	DLP cm	Área comprimida	ELP kg/ cm <sup>2</sup>	RM kg/ cm <sup>2</sup>
1	Base	Albura	1	COPAL	A1BA1	5,02	5,03	25,3	11850	14985	0,15	19,7	601,5	592,3
1	Base	Albura	2	COPAL	A1BA2	5,01	5,03	25,2	14580	15260	0,12	19,7	740,1	605,5
1	Base	Duramen	3	COPAL	A1BD1	5,02	5,02	25,2	15700	15710	0,19	19,8	792,9	623,4
1	Base	Duramen	4	COPAL	A1BD2	5,03	5,01	25,2	17010	17020	0,24	19,8	859,1	675,4
1	Medio	Albura	5	COPAL	A1MA1	5,02	5,02	25,2	14760	15120	0,19	19,8	745,5	600,0
1	Medio	Albura	6	COPAL	A1MA2	5,02	5,02	25,2	13460	13470	0,36	19,7	683,3	534,5
1	Medio	Duramen	7	COPAL	A1MD1	5,02	5,02	25,2	16540	16660	0,25	19,7	839,6	661,1
1	Medio	Duramen	8	COPAL	A1MD2	5,02	5,02	25,2	15820	15950	0,32	19,7	803,1	632,9
1	Ápice	Albura	9	COPAL	A1ApA1	5,02	5,02	25,2	16960	17010	0,23	19,6	865,3	675,0
1	Ápice	Albura	10	COPAL	A1ApA2	5,02	5,02	25,2	17220	17320	0,20	19,6	878,5	687,3
1	Ápice	Duramen	11	COPAL	A1ApD1	5,01	5,01	25,1	18260	18460	0,25	19,7	926,9	735,4
1	Ápice	Duramen	12	COPAL	A1APD2	5,00	5,00	25,0	13570	15410	0,242	19,7	688,8	616,4
2	Base	Albura	13	COPAL	A2BA1	5,01	5,01	25,1	13565	15690	0,14	19,6	692,1	625,1
2	Base	Albura	14	COPAL	A2BA2	5,01	5,02	25,1	17310	18240	0,353	19,7	878,7	726,6
2	Base	Duramen	15	COPAL	A2BD1	5,02	5,01	25,1	16000	16010	0,12	19,8	808,1	637,2
2	Base	Duramen	16	COPAL	A2BD2	5,01	5,02	25,1	13570	15690	0,17	19,8	685,4	625,1
2	Medio	Albura	17	COPAL	A2MA1	5,00	5,00	25,0	13240	15430	0,14	19,6	675,5	617,2

2	Medio	Albura	18	COPAL	A2MA2	5,01	5,02	25,1	12560	12670	0,15	19,7	637,6	604,7
2	Medio	Duramen	19	COPAL	A2MD1	5,02	5,02	25,2	12750	17170	0,14	19,7	647,2	681,3
2	Medio	Duramen	20	COPAL	A2MD2	5,01	5,02	25,2	15650	15870	0,36	19,7	794,4	629,7
2	Ápice	Albura	21	COPAL	A2ApA1	5,02	5,03	25,2	14470	15470	0,32	19,6	738,2	613,8
2	Ápice	Albura	22	COPAL	A2ApA2	5,01	5,02	25,1	12870	16440	0,15	19,6	656,6	654,9
2	Ápice	Duramen	23	COPAL	A2ApD1	5,01	5,01	25,1	14040	14170	0,29	19,7	712,6	564,5
2	Ápice	Duramen	24	COPAL	A2APD2	5,02	5,01	25,1	15380	15440	0,26	19,7	780,7	615,1
3	Base	Albura	25	COPAL	A3BA1	5,02	5,01	25,1	11710	12620	0,25	19,8	591,4	502,7
3	Base	Albura	26	COPAL	A3BA2	5,02	5,01	25,2	14630	14900	0,15	19,8	738,9	591,2
3	Base	Duramen	27	COPAL	A3BD1	5,00	5,00	25,0	10500	11460	0,24	19,9	527,6	458,4
3	Base	Duramen	28	COPAL	A3BD2	5,01	5,01	25,1	9560	10010	0,21	19,8	582,8	398,8
3	Medio	Albura	29	COPAL	A3MA1	5,01	5,01	25,1	11230	11320	0,24	19,7	570,1	451,0
3	Medio	Albura	30	COPAL	A3MA2	5,01	5,01	25,1	11550	11850	0,25	19,8	583,3	472,1
3	Medio	Duramen	31	COPAL	A3MD1	5,01	5,08	25,5	9750	10340	0,19	19,9	589,9	405,4
3	Medio	Duramen	32	COPAL	A3MD2	5,01	5,02	25,1	14410	14890	0,26	19,8	627,7	493,2
3	Ápice	Albura	33	COPAL	A3ApA1	4,93	5,05	24,9	11630	12810	0,55	19,7	590,3	514,4
3	Ápice	Albura	34	COPAL	A3ApA2	4,87	4,92	24,9	13080	13390	0,23	19,7	663,9	557,9
3	Ápice	Duramen	35	COPAL	A3ApD1	4,96	4,91	24,4	10012	10760	0,33	19,8	575,6	540,9
3	Ápice	Duramen	36	COPAL	A3APD2	4,95	5,00	24,8	15820	16350	0,25	19,8	798,9	559,2

CLP: Carga límite proporcional; CMAX: Carga máxima; DLP: Dimensión al límite proporcional; ELP: Esfuerzo al límite proporcional; RM: Resistencia máxima

**Tabla 14.** Valores obtenidos en el ensayo de cizallamiento

N° de árbol	Niveles de altura	sección	Item	Sample	Sample No,	Ancho cm	Espesor cm	Área cm <sup>2</sup>	C MAX Kg	RES MAX Kg/ cm <sup>2</sup>
1	Base	Albura	1	COPAL	A1BA1	4,99	5,02	25,0	3550	142,00
1	Base	Albura	2	COPAL	A1BA2	4,97	5,12	25,4	3585	141,14
1	Base	Duramen	3	COPAL	A1BD1	4,94	5,01	24,7	3500	141,70
1	Base	Duramen	4	COPAL	A1BD2	5,03	5,1	25,7	3340	129,96
1	Medio	Albura	5	COPAL	A1MA1	4,78	5,04	24,1	3483	144,52
1	Medio	Albura	6	COPAL	A1MA2	4,94	5,03	24,8	3380	136,29
1	Medio	Duramen	7	COPAL	A1MD1	4,99	5,04	25,1	2680	146,61
1	Medio	Duramen	8	COPAL	A1MD2	4,98	5,03	25,0	3110	124,40
1	Ápice	Albura	9	COPAL	A1ApA1	4,86	4,82	23,4	3760	160,68
1	Ápice	Albura	10	COPAL	A1ApA2	4,98	5,04	25,1	4050	161,35
1	Ápice	Duramen	11	COPAL	A1ApD1	4,98	4,91	24,5	4310	175,92
1	Ápice	Duramen	12	COPAL	A1APD2	4,96	5,04	25,0	4000	160,00
2	Base	Albura	13	COPAL	A2BA1	4,96	4,95	24,6	4060	165,04
2	Base	Albura	14	COPAL	A2BA2	4,93	4,93	24,3	4020	165,43
2	Base	Duramen	15	COPAL	A2BD1	4,99	4,91	24,5	4330	176,73
2	Base	Duramen	16	COPAL	A2BD2	4,92	4,95	24,4	4100	168,03
2	Medio	Albura	17	COPAL	A2MA11	4,96	4,92	24,4	3300	135,25

2	Medio	Albura	18	COPAL	A2MAI2	4,99	5,00	25,0	3700	148,00
2	Medio	Duramen	19	COPAL	A2MD1	5,04	4,94	24,9	3080	123,69
2	Medio	Duramen	20	COPAL	A2MD2	4,95	5,10	25,2	3180	126,19
2	Ápice	Albura	21	COPAL	A2ApA1	4,92	5,05	24,8	3611	145,60
2	Ápice	Albura	22	COPAL	A2ApA2	5,00	4,94	24,7	3440	139,27
2	Ápice	Duramen	23	COPAL	A2ApD1	4,98	4,92	24,5	3400	138,78
2	Ápice	Duramen	24	COPAL	A2APD2	4,97	4,89	24,3	3960	162,96
3	Base	Albura	25	COPAL	A3BA1	5,01	5,01	25,1	4210	167,73
3	Base	Albura	26	COPAL	A3BA2	4,95	5,03	24,9	3000	120,48
3	Base	Duramen	27	COPAL	A3BD1	4,99	4,98	24,9	3240	130,12
3	Base	Duramen	28	COPAL	A3BD2	4,92	4,92	24,2	3960	163,64
3	Medio	Albura	29	COPAL	A3MA1	5,00	5,04	25,2	4680	185,71
3	Medio	Albura	30	COPAL	A3MA2	4,94	5,06	25,0	3990	159,60
3	Medio	Duramen	31	COPAL	A3MD1	4,92	4,99	24,6	3850	156,50
3	Medio	Duramen	32	COPAL	A3MD2	4,94	5,02	24,8	2760	111,29
3	Ápice	Albura	33	COPAL	A3ApA1	4,93	5,02	24,7	3230	130,77
3	Ápice	Albura	34	COPAL	A3ApA2	4,83	4,86	23,5	2620	111,49
3	Ápice	Duramen	35	COPAL	A3ApD1	5,06	5,01	25,4	4450	175,20
3	Ápice	Duramen	36	COPAL	A3APD2	4,90	5,03	24,6	3080	125,20

CMAX: Carga máxima; RES MAX: Resistencia máxima

**Tabla 15.** Contenido de humedad (%) después del ensayo de flexión estática

Niveles de altura	sección	Árboles			Promedio
		I	II	III	
<b>Base</b>	Albura	15,29	15,8	15,31	15,47
	Duramen	15,18	15,25	15,72	15,38
<b>Medio</b>	Albura	16,37	15,17	15,37	15,64
	Duramen	15,28	15,27	15,5	15,35
<b>Ápice</b>	Albura	14,87	12,8	16,12	14,59
	Duramen	15,76	14,62	15,19	15,19
<b>Promedio</b>		<b>15,46</b>	<b>14,82</b>	<b>15,54</b>	<b>15,27</b>

**Tabla 16.** Contenido de humedad (%) después del ensayo de compresión paralela a las fibras

Niveles de altura	sección	Árboles			Promedio
		I	II	III	
<b>Base</b>	Albura	16,23	15,76	15,81	15,93
	Duramen	15,94	16,51	16,66	16,37
<b>Medio</b>	Albura	16,75	16,67	15,91	16,44
	Duramen	16,06	16,41	15,86	16,11
<b>Ápice</b>	Albura	16,04	16,64	16,59	16,42
	Duramen	16,42	16,63	15,76	16,27
<b>Promedio</b>		<b>16,24</b>	<b>16,44</b>	<b>16,1</b>	<b>16,87</b>

**Tabla 17.** Contenido de humedad (%) después del ensayo de cizallamiento

Niveles de altura	sección	Árboles			Promedio
		I	II	III	
<b>Base</b>	Albura	16,55	16,77	16,35	16,56
	Duramen	16,47	16,15	16,32	16,31
<b>Medio</b>	Albura	15,91	17,80	16,82	16,85
	Duramen	16,81	16,32	16,59	16,57
<b>Ápice</b>	Albura	16,05	16,07	16,51	16,21
	Duramen	16,40	16,34	16,18	16,31
<b>Promedio</b>		16,37	16,58	16,46	16,47

**Figura 22.** Georreferenciación de los árboles seleccionados.



**Figura 23.** Evaluación de las variables dasométricas



**Figura 24.** Apeado y trozado de los árboles seleccionados



**Figura 25.** Obtención de las viguetas



**Figura 26.** Obtención de las probetas para los distintos ensayos mecánicos



**Figura 27.** Codificación de las probetas teniendo en cuenta los niveles de altura y secciones.



**Figura 28.** Probetas para ensayo de flexión estática



**Figura 29.** Probetas para ensayo de compresión paralela a las fibras



**Figura 30.** Probetas para ensayo de cizallamiento



**Figura 31.** Ensayo de flexión estática



**Figura 32.** Ensayo de cizallamiento



**Figura 33.** Ensayo de compresión paralela a las fibras