

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**“PROPIEDADES FISICO MECÁNICAS DE LA MADERA DE RALEO  
DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* PROVENIENTE DE UNA  
PLANTACIÓN DE 5 AÑOS”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

**DIANA ZOILA CORONEL BARRERA**

**LIMA- PERU**

**2023**

---

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

## Tesis de Diana Coronel

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>14%</b>	<b>14%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>purl.org</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>dspace.esoch.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unj.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.unas.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>www.researchgate.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**“PROPIEDADES FISICO MECÁNICAS DE LA MADERA DE RALEO  
DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* PROVENIENTE DE UNA  
PLANTACIÓN DE 5 AÑOS”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

**DIANA ZOILA CORONEL BARRERA**

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

---

*Mg. Sc. Miguel Ángel Meléndez Cárdenas  
Presidente*

---

*Ing. Milo Bozovich Granados, Dr.  
Miembro*

---

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

---

*Ing. Manuel Chavesta Custodio, Dr.  
Asesor*

---

*Ing. Moisés Pascual Acevedo Mallque  
Mg.Sc.*

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis papas y hermano, por alentarme y apoyarme en todo el proceso

A mí, por terminarlo.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

Al Dr. Manuel Chavesta Custodio por su apoyo como asesor y orientador en mi investigación.

Al Mg. Sc. Moisés Acevedo Mallque por su apoyo constante y asesoramiento desde el inicio hasta el final de la investigación.

Al Mg. Sc. Rolando Montenegro por su apoyo en la parte estadística.

Al Dr. Héctor Gonzales Mora por apoyarme en encontrar mi enfoque en la investigación.

A la empresa Reforesta Perú, por la oportunidad de poder realizar un tema de investigación dentro de sus instalaciones, y estuvieron siempre prestos a contribuir en la finalización de la investigación.

Al técnico David Huamán Cabrera del Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Agraria La Molina por su disponibilidad, indicaciones y paciencia.

A Bach. Rosa Céspedes García, por acompañar a la colección de muestras y durante todo el proceso.

A mi papá y mi mamá por el apoyo incondicional y acompañarme en el camino de cumplir mis metas.

A mi hermano, por su apoyo en laboratorio y acompañarme en momentos de estrés.

A CITE-Forestal Pucallpa, por el apoyo en el asesoramiento en la habilitación y tratamiento de las muestras.

A mis amigas, Maria Fernanda, Omshanti, Izumi, Linda, Betzy y Gabriela, que presionaron y motivaron para culminar este proceso.

A Amy, mi mascota que me acompaño en las interminables noches de análisis y redacción.

A mi por no rendirme hasta verlo finalizado.

## INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
2.1.	CONSIDERACIONES DE LA ESPECIE.....	2
2.1.1.	Taxonomía.....	2
2.1.2.	Descripción general .....	3
2.1.3.	Descripción dendrológica.....	3
2.1.4.	Distribución geográfica .....	3
2.1.5.	Ecología.....	4
2.2.	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA MADERA.....	4
2.2.1.	Propiedades físicas .....	4
2.2.2.	Propiedades mecánicas.....	7
2.2.3.	Variabilidad dentro y entre arboles .....	9
2.2.4.	Influencia de la calidad de la madera en sus propiedades .....	9
2.3.	CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA .....	11
2.3.1.	Propiedades anatómicas.....	11
2.3.2.	Antecedentes de las Propiedades físicas y mecánicas .....	12
2.4.	Usos de la especie.....	14
III.	METODOLOGÍA.....	15
3.1.	LA ESPECIE .....	15
3.2.	LUGAR DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS.....	15
3.3.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	15
3.3.1.	DE CAMPO.....	15
3.3.2.	DE LABORATORIO .....	15

3.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	16
3.5. SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS .....	17
3.6. OBTENCIÓN DE MUESTRAS, CODIFICACIÓN Y DENDROMETRIA DE INDIVIDUOS .....	17
3.7. PROCESAMIENTO DE TROZAS Y PREPARACIÓN DE PROBETAS .....	18
3.8. PROPIEDADES FÍSICAS .....	18
3.9. PROPIEDADES MECÁNICAS .....	20
3.10. CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.....	24
3.11. PROCESAMIENTO DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS .....	25
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>26</b>
4.1. PROPIEDADES FÍSICAS .....	26
4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS .....	32
4.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE DENSIDAD BÁSICA Y PROPIEDADES MECÁNICAS .....	45
4.4. APTITUDES DE USO .....	47
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>50</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

## Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación de maderas en función a su densidad básica .....	5
Tabla 2: Clasificación de maderas según su contracción volumétrica .....	6
Tabla 3: Clasificación de la madera según sus propiedades s en condición verde (kg/cm <sup>2</sup> )	8
Tabla 4: Propiedades físicas de dos individuos <i>Eucalyptus urograndis</i> y los parentales <i>Eucalyptus urophylla</i> y <i>Eucalyptus grandis</i> .....	13
Tabla 5: Propiedades mecánicas de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> .....	14
Tabla 6: Características dasométricas de los árboles colectados.....	18
Tabla 7: Normas Técnicas Peruanas empleadas para las propiedades físicas.....	19
Tabla 8: Distribución de probetas según posición longitudinal por árbol para las propiedades físicas.....	19
Tabla 9: Normas Técnicas Peruanas utilizadas para la determinación de las propiedades mecánicas.....	20
Tabla 10: Distribución de probetas según posición longitudinal por árbol para las propiedades mecánicas .....	21
Tabla 11: Valores promedios según posición longitudinal de las propiedades físicas de <i>Eucalyptus urograndis</i> .....	27
Tabla 12: Análisis comparativo de las propiedades físicas de la especie evaluada con otros estudios de la misma especie y/o parentales.....	28
Tabla 13: Valores promedios de las propiedades mecánicas en condición saturada de <i>Eucalyptus urograndis</i> por posición longitudinal .....	34
Tabla 14: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera obtenida de la plantación con otros estudios de la misma especie y/o parentales .....	36
Tabla 15: Valores de determinación y ecuaciones de regresión de la especie <i>Eucalyptus urograndis</i> .....	46



## Índice de figuras

Figura 1: Ubicación de las plantaciones de eucalipto.....	16
Figura 2: Posiciones longitudinales para la toma de muestras .....	17
Figura 3: Análisis comparativo de densidad básica de la especie evaluada con otros estudios de la misma especie y/o parentales.....	29
Figura 4: Análisis comparativo de contracción radial, tangencial y volumétrica y relación T/R de la especie evaluada con otros estudios de la misma especie y/o parentales .....	30
Figura 5: Gráfico de cajas de la densidad básica según posición longitudinal.....	31
Figura 6: Gráfico de cajas de la estabilidad dimensional según posición longitudinal.....	32
Figura 7: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas (MOR en flexión, RM en compresión paralela, Cizallamiento tangencial y Dureza en extremos) de la especie evaluada en la plantación con otros estudios de la misma especie y/o parentales.....	37
Figura 8: Análisis comparativo del MOE en flexión estática de la especie evaluada en la plantación con otros estudios de la misma especie y/o parentales .....	38
Figura 9: Gráfico de cajas de la MOR, ELP Y MOE de flexión estática a diferentes posiciones longitudinales.....	39
Figura 10: Gráfico de cajas de la MOE, RM y ELP de compresión paralela al grano a diferentes posiciones longitudinales.....	40
Figura 11: Gráficos de cajas del ELP de compresión perpendicular al grano.....	41
Figura 12: Gráficas de cajas de dureza en entremos y lados tangenciales y radiales a diferentes posiciones longitudinales.....	41
Figura 13: Comparación de los valores promedios de LADOS y EXTREMOS de dureza en diferentes posiciones longitudinales.....	42
Figura 14: Gráfico de cajas de resistencia al cizallamiento paralelo al grano en los lados radiales y tangenciales.....	43

Figura 15: Comparación de los valores promedios de lados y extremos de cizallamiento paralelo al grano en diferentes posiciones longitudinales .....	43
Figura 16: Gráfico de cajas de la tenacidad a diferentes posiciones longitudinales.....	44

## **Índice de anexos**

Anexo 1: Análisis estadístico de las propiedades físicas y mecánicas .....	60
Anexo 2: Clasificación de las propiedades físicas y mecánicas .....	79
Anexo 3: Coeficientes de correlación para las propiedades .....	83
Anexo 4: Requisitos mínimos de uso para la madera en condición verde .....	84
Anexo 5: Rangos de clasificación de las maderas según sus propiedades físicas y mecánicas según Arostegui (1982) .....	93

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la aptitud de uso para la especie *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* de 5 años, mediante la determinación de los ensayos físico-mecánicos y evaluación del comportamiento de estas propiedades a nivel longitudinal, realizados en base a Normas Técnicas Peruanas. Los resultados promedios obtenidos de las propiedades físicas se encuentran clasificados como medios para densidad básica ( $0,57 \text{ g/cm}^3$ ) y valores de 10,29 por ciento, 6,65 por ciento, 0,38 por ciento para contracciones totales tangencial, radial, longitudinal respectivamente, obteniendo un valor alto en contracción volumétrica (17,32%). Las propiedades mecánicas en condición saturada presentaron valores bajos para esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular al grano ( $48,98 \text{ kg/cm}^2$ ); medios para el MOR en flexión estática ( $636,73 \text{ kg/cm}^2$ ), resistencia máxima en compresión paralela ( $310,62 \text{ kg/cm}^2$ ), cizallamiento ( $84,72 \text{ kg/cm}^2$ ) y dureza ( $419,75 \text{ kg/cm}^2$ ); y altos para ELP en compresión paralela ( $195,08 \text{ kg/cm}^2$ ) y MOE en flexión estática ( $103\ 241,95 \text{ kg/cm}^2$ ). El análisis a nivel longitudinal no presenta diferencias significativas tanto para las propiedades físicas como las mecánicas. Los resultados obtenidos posibilitan proponer la aptitud de uso para encofrados y materia prima para MDF, tablero de partículas y carbón.

**Palabras clave:** Propiedades físicas, propiedades mecánicas, aptitudes de uso, *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, plantación forestal.

## ABSTRACT

The objective of this research is to determine the aptitude for use of the 5-year-old species *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, by determining the physical-mechanical tests and evaluating the behaviour of these properties at the longitudinal level, carried out based on Peruvian Technical Standards. The average results obtained from the physical properties are classified as medium for basic density ( $0.57 \text{ g/cm}^3$ ) and values of 10.29 percent, 6.65 percent, 0.38 percent for total tangential, radial contractions and longitudinal respectively, obtaining a high value in volumetric contraction (17.32%). The mechanical properties in saturated condition presented low values for stress at the proportional limit in compression perpendicular to the grain ( $48.98 \text{ kg/cm}^2$ ); means for the MOR in static flexion ( $636.73 \text{ kg/cm}^2$ ), maximum resistance in parallel compression ( $310.62 \text{ kg/cm}^2$ ), shearing ( $84.72 \text{ kg/cm}^2$ ) and hardness ( $419.75 \text{ kg/cm}^2$ ); and high for ELP in parallel compression ( $195.08 \text{ kg/cm}^2$ ) and MOE in static flexion ( $103\ 241.95 \text{ kg/cm}^2$ ). The longitudinal analysis does not show significant differences for both physical and mechanical properties. The results obtained make it possible to propose the suitability of use for formwork and raw material for MDF, particle board and carbon.

**Key words:** Physical properties, mechanical properties, aptitudes for use, *Eucalyptus urograndis*, forest plantation

## I. INTRODUCCIÓN

Como una alternativa de mitigación en la disminución de los bosques nativos, se ha generado el establecimiento de plantaciones forestales de *Eucalyptus spp.*, uno de los géneros comerciales con mayor cobertura de plantación en el mundo, destacando América del Sur y África. El *E. grandis*, *E. globulus*, *E. deglupta* y sus híbridos, son especies que se plantan con fines de producción de madera para aserrío, tableros y astillas para la producción de pulpa para papel (Martinez, 2015).

En el Perú, Daetz (2010) indica que el rendimiento de las plantaciones de eucalipto fluctúa entre 7 a 10 m<sup>3</sup>/ha/año, que dependen de las condiciones edáficas, climáticas, disponibilidad de nutrientes, la luz solar y la competencia; muy debajo de los 16 m<sup>3</sup> para ser considerado rentable, y lejos del 25 m<sup>3</sup> para competir con el mercado internacional, (Obregón & Restrepo, 2006). El *Eucalyptus urograndis*, en los últimos años, ha sido considerado una especie de interés por sus usos y facilidad de crecimiento; sin embargo, carece de estudios físico-mecánicos de la madera en el Perú.

La especie utilizada en el presente trabajo proviene de dos progenies: *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis*. El híbrido fue introducido en el país dentro del marco de un proyecto con Innovate Perú y el sector privado, para evaluar el incremento de la productividad de las plantaciones de hasta 45 m<sup>3</sup>/ha/año en ciclos de corta de 10 a 12 años (Santos & Ramos, 2019). Los autores mencionados anteriormente señalan que la especie presenta características prometedoras en plantaciones a gran escala, por su rápido crecimiento, rusticidad y densidad de la madera. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo, identificar la aptitud de uso del “eucalipto urograndis” mediante la determinación de las propiedades físico-mecánicas y su variación a nivel longitudinal de las plantaciones de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, de una edad de 5 años, proveniente de Pucallpa-Ucayali.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. CONSIDERACIONES DE LA ESPECIE

#### 2.1.1. Taxonomía

Vinueza (2012) la clasifica taxonómicamente en:

Reino:           Plantea

División:       Magnoliophyta

Clase:           Magnoliopsida

Subclase:       Rosidae

Orden:           Myrtales

Familia:         Myrtaceae

Subfamilia:    Myrtoideae

Tribu:           Eucalypteae

Género:         Eucalyptus

Especie:        *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*

Nombre común: Eucalipto urograndis

### **2.1.2. Descripción general**

Según Mendoza (2015), los progenitores del *Eucaliptus urograndis* son *Eucalyptus urophylla*, conocido por su buena densidad de la madera y capacidad de rebrotes; y *Eucalyptus grandis*, por su rápido crecimiento y uso. Sobre el híbrido, Martines et al (2006) mencionado por Paillacho (2010) señala valores de crecimiento de 30 a 50 m<sup>3</sup>/ha/año y turnos de 7 a 10 años, características de relevancia para considerarla como especie ideal para plantaciones forestales y para determinar sus propiedades físico-mecánicas y aptitudes de uso.

### **2.1.3. Descripción dendrológica**

El árbol alcanza entre 50 a 60 m de altura y diámetros de 0,30 a 1,5 m; fuste recto y cilíndrico, corteza externa de color marrón claro, usualmente lisa y con presencia de ritidoma papiráceo, copa poco frondosa e irregular, corteza interna lisa con manchas grises o parduzcas. Hojas simples, opuestas, sésiles; en etapa juvenil de forma ovalada y grisácea y tornándose alargadas, coriáceas y de color verde azulado en etapa adulta. Flores blancas y solitarias. Fruto tipo cápsula, con semillas pequeñas. (Vinueza, 2012; Paillacho, 2010).

### **2.1.4. Distribución geográfica**

Simkunas (2012) señala que el género *Eucalyptus* tiene más de 700 especies y son nativas de Australia. Para el estudio, el híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*Eucalyptus urograndis*) es original de Brasil y actualmente se encuentran plantaciones comerciales en su país de origen como también en Venezuela, Colombia, Congo, Sudáfrica y China e introducidas de manera experimental en otros países.

En el Perú, se han registrado plantaciones de *Eucalyptus urograndis* en distintas ubicaciones. Según Mendoza (2015), se han identificado cultivos en la localidad de Villa Rica-

Oxapampa-Pasco. Por otro lado, Quispe y Ramos (2019) mencionan que también se han establecido plantaciones desde Iscosazin hasta Palca en Junín. Estas plantaciones tienen alrededor de 17 años. Además, Valdez et al. (2020) han documentado plantaciones de *Eucalyptus urograndis* en la provincia de Padre Abad-Ucayali, con diferentes edades que incluyen periodos de 15, 34, 39 y 52 meses. Estas plantaciones son impulsadas por diversas empresas, destacando la participación de REFINCA. Recientemente, la Gerencia Regional Forestal y de Fauna Silvestre UCAYALI (2023) ha informado sobre la existencia de plantaciones en Campo Verde-Coronel Portillo-Ucayali.

### **2.1.5. Ecología**

Según Pereira (2008) y Xavier (2013), el *Eucalyptus urograndis* es una especie que se encuentra principalmente en suelos aluviales, los cuales son pobres y ligeramente húmedos. Estos suelos son de naturaleza limosa y franco-arcillosa, profundos, bien drenados, ligeros y frescos, no compactados y húmedos, pero no encharcados. Además, se caracterizan por ser fértiles.

Vinueza (2012) menciona que esta especie de eucalipto no crece en zonas saturadas de agua, es sensible a las heladas y tiene una tolerancia media a la sequía. Sin embargo, es resistente a las plagas. El autor también añade que se puede cultivar en zonas del litoral ecuatoriano, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2000 metros sobre el nivel del mar. La temperatura adecuada para su desarrollo se encuentra en un rango de 24°C a 30°C, y requiere precipitaciones que oscilen entre 800 mm y 2500 mm.

## **2.2. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA MADERA**

### **2.2.1. Propiedades físicas**



La madera, según Shmulsky y Jones (2011), es un material heterogéneo e higroscópico capaz de retener o liberar agua, siendo esta una característica anisotrópica. Esta característica tiene como efecto cambios dimensionales en la madera. Barnett y Jeronimidis (2009) y Vignote et al (2006) indican que cuando se pierde el agua higroscópica, se presenta cambios tanto de hinchazón o contracción; por el contrario, cuando el contenido de humedad se incrementa por encima del punto de saturación de fibras, desde allí no aumenta más sus dimensiones, aunque siga absorbiendo más agua.

Gomes et al. (2009) consideran a la densidad como un parámetro utilizado para caracterizar las propiedades de la madera, tanto en la industria de transformación mecánica como en la química. Para Barnett y Jeronimidis (2009), la densidad es un indicador altamente útil para evaluar la calidad de la pulpa, ya que está relacionada con propiedades específicas de las fibras, como el espesor de la pared celular y también puede utilizarse para estimar el rendimiento de la pulpa.

En la tabla 1, se presenta la clasificación de la madera según su densidad básica según Rivera (2014).

**Tabla 1: Clasificación de maderas en función a su densidad básica**

<b>Grupo</b>	<b>Rango (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
I	Menos de 0,30	Muy baja (MB)
II	De 0,31 a 0,40	Baja (B)
III	De 0,41 a 0,60	Media (M)
IV	De 0,61 a 0,80	Alta (A)
V	Más de 0,81	Muy alta (MA)

Fuente: Rivera (2014)

Schmulsky y David (2011) precisan que la contracción longitudinal de la madera es mínima y llega a ser insignificante su influencia para los diferentes usos de la madera. La variación va de 0,1-0,2% para la mayoría de las especies, y pocas veces llega al 0,4%. Tanto los mismos autores y Arroyo (1983) coinciden para la contracción tangencial y radial, la tangencial es mayor por un valor de 2 veces a la radial; siendo los rasgos anatómicos los responsables de este diferencial.

En la tabla 2, se presenta la clasificación de la madera según su contracción volumétrica según Vignote y Martinez (2006).

**Tabla 2: Clasificación de maderas según su contracción volumétrica**

<b>Clase</b>	<b>C vol. (%)</b>	<b>Tipo de deformación</b>
Pequeña contracción	10-5	Pequeñas grietas (secarse antes del trozado)
Contracción mediana	15-10,1	Grietas medianas (construcción)
Gran contracción	20-15,1	Grandes grietas

Fuente: Vignote y Martinez (2006)

Scanavaca y García (2004) definen a la relación entre la contracción tangencial y radial como coeficiente de anisotropía (T/R). Es un medio para analizar la estabilidad dimensional y señala que cuanto más cercano es el valor a 1, más estable será la madera. Batista et al (2010), también citado por Nunes et al (2015) afirman que hay una correlación directa entre la densidad básica y el cambio dimensional. Por su parte, Schmulsky y David (2011), señalan que los cambios dimensionales no son únicamente en función de la cantidad de agua presente en la madera, lo son también con relación a la cantidad de substancia en la pared celular. Por ejemplo, la presencia de lignina en la pared celular puede reducir la variación dimensional, particularmente en dirección longitudinal.

### **2.2.2. Propiedades mecánicas**

Para Schmulsky y David (2011), las propiedades mecánicas son los parámetros más importantes para los productos de madera, donde la resistencia es el criterio principal, pues es la reacción del cuerpo ante esfuerzos de compresión, tensión y cortantes. Esta resistencia suele mostrarse como un cambio en la forma y tamaño. Dependiendo del tiempo y el esfuerzo aplicado, resulta variable y recuperable, denominándose así deformación elástica. Gomes et al (2009) señalan que las propiedades mecánicas de la madera dependen de factores, tales como la densidad básica, porcentaje de madera juvenil, intensidad de ataque de insectos a la madera y presencia de nudos. Gomes (2006) agrega que las propiedades de la madera están influenciadas según su posición en el árbol, alteraciones en el punto de saturación de fibras, tiempo de duración de la carga aplicada, ocurrencia de defectos y la estructura anatómica de la madera; agrega que, en el caso de la elasticidad y resistencia por debajo del punto de saturación de la fibra, varían en forma inversa con el contenido de humedad.

Pfeil y Pfeil (2003), citado por Gomes et al (2009) mencionan que las propiedades mecánicas de la madera en sentido transversal y longitudinal están influenciadas por varios factores; entre ellos la posición de la pieza en relación con el tronco del árbol, su contenido humedad, tiempo de duración, intensidad, dirección de aplicación de la carga y la estructura anatómica de la madera, entre otros.

Schmulsky y David (2011) coinciden que las fuerzas que se aplican a la superficie son resultados de esfuerzos de compresión y tensión. La cantidad de deformación de la posición original se llama deflexión, y esta depende de la distribución, ubicación y magnitud de la carga.

El módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) son dos parámetros normalmente evaluados en ensayos de flexión y compresión. Para Scanavaca y Garcia (2004), citado por Gomes et al. (2009), el MOE es la medida más importante para la caracterización de la madera, al representar la resistencia a la deformación del material sometido a una fuerza aplicada a una sección de la madera. Cuando mayor sea el MOE, menos se desviará de la posición inicial. Los mencionados autores agregan que, en el caso

de maderas de fibra recta, es más resistente a la tensión que a la compresión; mientras que maderas que contiene nudos y desviaciones en la fibra, suele ser más resistente a compresión que a la tensión.

En cizallamiento (Shmulsky y Jones, 2011) es la resistencia al esfuerzo cizallante o cortante y consiste en una fuerza que intenta deslizar una sección sobre la sección adyacente, y que resulta en una separación de las fibras y la división de las partes de la pieza; su reacción según orientación radial y tangencial son diferentes por la influencia de la disposición de los elementos anatómicos involucrados.

En la tabla 3, se presenta la clasificación de la madera según sus propiedades mecánicas; según Dávalos y Bárcenas (1998).

**Tabla 3: Clasificación de la madera según sus propiedades en condición verde  
(kg/cm<sup>2</sup>)**

	<b>Muy bajo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>
Flexión estática					
MOR	<290	291-500	501-650	651-900	>900
MOE (x1000)	<55	56-80	81-100	100-125	>1250
Compresión paralela					
RM	<160	161-250	251-310	311-400	>400
ELP	<15	16-35	36-50	51-85	>85
<b>Compresión perpendicular</b>					
ELP	>45	45-65	66-85	86-110	>110
<b>Dureza promedio</b>	<140	141-287	288-415	416-635	>635

Fuente: Dávalos y Bárcenas (1998)

### **2.2.3. Variabilidad dentro y entre arboles**

Arroyo (1983), citado por Vilcayauri (2009), indica que existe una variabilidad dentro de una especie, como resultado de diversos factores que afectan en los procesos fisiológicos para la formación de madera. Tal es así, que esta variación puede llegar a ser 10 veces mayor entre árboles que dentro de los árboles en una misma especie.

El grado de variación que se presenta dentro de un mismo árbol es un elemento importante, no sólo desde el punto de vista anatómico, sino que -de acuerdo con su magnitud- puede ejercer un papel importante en los aspectos relacionados con la utilización de la madera (León y Narcisana, 1999). Por su parte, Schmulsky y David (2011) señalan que la variabilidad de las características de la madera dentro de un mismo individuo esta fundamentalmente relacionada a cambios resultantes del envejecimiento del cambium y las modificaciones impuestas por las condiciones medio ambientales. Morgado et al (2010) agregan que una variabilidad entre el peso específico y el nivel longitudinal tiene implicancia directa en las propiedades físicas y mecánicas dentro de una misma especie.

Wimmer et al (2008) y Diaz et al (2012) indican que la genética, condiciones de crecimiento, tratamientos silviculturales tienen efecto en las diferencias de crecimiento en diferentes sitios, como también en la variabilidad de las propiedades como material para celulosa (biomasa) o madera sólida. Respecto a la variabilidad de la madera entre árboles, Giménez y López (2000) precisa que son las causas genéticas, condiciones ambientales y la ubicación geográfica las que generan esta variabilidad.

### **2.2.4. Influencia de la calidad de la madera en sus propiedades**

#### **a. Madera de tensión**

La madera de tensión se forma en los tallos y ramas inclinadas, resultado de los diferentes factores externos que afecta al árbol en su crecimiento. Braz et al (2017) mencionan factores propios de la especie como: edad, dimensiones de la troza y proporción del leño juvenil; así como en el manejo: raleo, poda, espaciamiento, técnicas de manejo forestal, tipo de suelo y vientos. Bermudez et al (2001) destacan que las tensiones de crecimiento ocurren por el

aumento de las células iniciales fusiforme que produce el cambium y que durante su proceso de envejecimiento tienden a expandirse lateralmente y a contraerse longitudinalmente, en consecuencia, las células formadas en años anteriores generan un conjunto de tensiones.

La madera de tensión difiere en sus propiedades a la de una madera normal. Latorraca y Albuquerque (2000), citados por Braz et al (2017) indican que estas tensiones son más acentuadas en latifoliadas y que contribuyen en darles estabilidad y mantener el equilibrio de los árboles en pie en respuesta a agentes externos.

Braz et al (2017) mencionan que existen limitaciones para la utilización de la madera de eucalipto por la presencia de madera de tensión. Siendo mayor en árboles juveniles que en adultos. Soares et al (2016), respecto al *Eucalyptus grandis*, una de las filiales del híbrido en estudio, determinaron la tendencia a presentar mayores tensiones de crecimiento; en tanto, en *Eucalyptus urophylla* las tensiones de crecimiento son insignificantes.

Gonçalez et al (2014) indican que la estructura anatómica de la madera depende de las condiciones de crecimiento del árbol y de su material genético, donde cualquier modificación en su estructura llega a influenciar en su calidad y utilización industrial. Señala que entre las propiedades físicas más influenciadas son la densidad y la contracción del espesor de pared de fibras.

#### b. Madera juvenil

La madera juvenil es difícilmente observable a simple vista y se presenta en el interior del fuste. Bermudez et al (2002) mencionan que los árboles jóvenes de crecimiento rápido presentan una alta proporción de madera juvenil y por ello puede ocurrir que la madera localizada en la zona de duramen tenga características mecánicas inferiores a la albura.

Schmulsky y David (2011) definen a la madera juvenil como parte del “xilema secundaria” producido por el cambium que se encuentra influenciada por la actividad en el meristema apical. El porcentaje de madera juvenil, que es específico de la especie, es resultado de un proceso de iniciales cambiales. Este porcentaje, es afectado principalmente por condiciones ambientales. Los autores, destacan que la madera juvenil, ya sea de latifoliadas o de

coníferas, presenta menor calidad que una madera madura, por la presencia de un mayor porcentaje de células juveniles cortas y altos ángulos de las microfibrillas, reduciendo su porcentaje en la base a medida que va creciendo. La madera juvenil está asociada a bajas resistencias de tracción, ocurrencia de grano espiralado y alto grado de contracción longitudinal.

### c. Tratamientos silviculturales

Los tratamientos silviculturales tienen un efecto en las plantaciones por su crecimiento y calidad de la madera. El comportamiento de los árboles en las plantaciones forestales, sometidas a diferentes tipos de manejo, puede ocasionar alteraciones en las tasas de crecimiento, calidad de la madera que influirá en el producto final y consecuentemente en su valor comercial. Chadwick (1985) citado por Pantigoso (2009) corroboran el mencionar el aumento de la velocidad de crecimiento, pero también una disminución de la densidad y futuro desempeño de la especie plantada.

Para Schmulsky y David (2011) el efecto del raleo en la producción de madera radica en el tiempo adecuado de realización. Un raleo temprano genera un aumento de madera juvenil, y una reducción del tiempo de transición de periodo juvenil a maduro, obteniendo menor densidad y resistencia, mayor contracción longitudinal, y mayor proporción de lignina. Por su parte, Winck et al (2005) mencionan la relación entre las propiedades con el “raleo”; indicando que, en flexión estática, el MOR y MOE presentan un menor valor de resistencia cuando hay un mayor porcentaje de raleo.

## **2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA**

### **2.3.1. Propiedades anatómicas**

Según *The Wood Database* (2017) la madera es de color amarillo pálido, vetado poco diferenciado, textura media, grano recto a entrecruzado, sabor no distintivo, brillo medio, presencia de nudos, moderadamente resistente al ataque biológico. Mendoza (2015) añade características como olor ausente y un vetado de arcos superpuestos en corte tangencial y ausente en corte radial.

Para Dias de Souza (2008) y Brisola & Demarco (2011), la especie presenta poros visibles a simple vista, vasos en arreglo diagonal, solitarios, ovalados, placas de perforación simples, con puntuaciones intervasculares simples; porosidad parénquima vasicéntrico y radios uniseriados a veces biseriados, radios homocelulares formado por células procumbentes, presencia de fibrotraqueidas cortas o largas con puntuaciones areoladas. Mendoza (2015) agrega la presencia de inclusiones tipo tilides en los poros o vasos.

### **2.3.2. Antecedentes de las Propiedades físicas y mecánicas**

En la Tabla 4, se presentan las propiedades físicas de la madera del *Eucalyptus urograndis*, según *The Wood Database* (2017) y Mendoza (2015), así como de los parentales *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis*, según Silvestre y Torres (2003).



**Tabla 4: Propiedades físicas de dos individuos *Eucalyptus urograndis* y los parentales *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis***

	Unidades	<i>E. urograndis</i> <sup>1</sup>	<i>E. urograndis</i> <sup>2</sup>	<i>E. urophylla</i> <sup>3</sup>	<i>E. grandis</i> <sup>4</sup>
Densidad básica	g/cm <sup>3</sup>	0,6	0,52	0,56	0,43
Contracción tangencial	%	12,8	8,87	9,86	7,79
Contracción radial		8,2	4,53	5,26	3,97
Contracción volumétrica		≤21	≤13.5	15,40	12,64
T/R		1,6	1,96	1,96	1,88

Fuente: <sup>1</sup> *The Wood Database* (2017), <sup>2</sup> Mendoza (2015), <sup>3</sup> *E. urophylla* y <sup>4</sup> *E. grandis*, Silvestre y Torres (2003)

Así mismo, Alzate et al (2004) y Henrique & Cláudio (2014), citados por Mendoza (2015) reportan valores de densidad básica para *E. urograndis* de 0,49 g/cm<sup>3</sup> para 9 años y 0,42 g/cm<sup>3</sup> para 7 años.

En la Tabla 5, se presentan las propiedades mecánicas reportadas por Silva (2011), *The Wood Database* (2008) y Mendoza (2015) para la especie en estudio y con uno de los parentales.

**Tabla 5: Propiedades mecánicas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis***

Unidades	<i>E. urograndis</i> <sup>1</sup>	<i>E. urograndis</i> <sup>2</sup>	<i>E. urophylla</i> <sup>3</sup>	<i>E. grandis</i> <sup>4</sup>	<i>E. grandis</i> <sup>5</sup>	
Flexión estática						
MOR	978	1202,95	1007,40	856	910,60	
MOE	kg/cm <sup>2</sup>	149 898	144 058	90448,50	101 720	103910,50
ELP			312,80		327,30	
Compresión paralela						
MOR	570	607,45	450,70	429	536,80	
MOE	kg/cm <sup>2</sup>		144886,40		198205,00	
ELP			312,80		327,30	
Compresión perpendicular						
ELP			69,50		87,20	
Cizallamiento	kg/cm <sup>2</sup>	126	90,94		106,57	
Dureza		830	642,42	307,89	523	500,64

Fuente: <sup>1</sup> *E. urograndis*; Silva (2011), <sup>2</sup> *E. urograndis*; *The Wood Database* (2008), <sup>3</sup> *E. urophylla*; Silvestre y Torres (2003), <sup>4</sup> *E. grandis*, Mendoza (2015), <sup>5</sup> *E. grandis*; Silvestre y Torres (2003).

#### 2.4. Usos de la especie

Vinueza (2012) y Vaz de Arruda et al (2001) coinciden en indicar que de la madera de *Eucalyptus urograndis* se puede obtener diferentes productos, tales como: madera aserrada, tutores, puntales, postes, parquet, columnas y tableros de fibras; así como, celulosa para la industria papelera y biomasa para energía, etc.

Bassa et al (2007) estima que, en plantaciones brasileñas de alta producción se puede obtener entre 40 a 50 m<sup>3</sup>/ha/año con buena calidad de madera. Obteniendo un rendimiento en pulpa celulósica entre 50% a 54%, con una densidad básica entre 0,5 - 0,52 g/cm<sup>3</sup>.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. LA ESPECIE**

Las muestras colectadas corresponden a 5 árboles de *Eucalyptus urograndis* de cinco años provenientes de la parcela L42, en el fundo Santa Rita, km 12 de la Carretera Federico Basadre, provincia Coronel Portillo- Ucayali.

#### **3.2. LUGAR DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS**

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina

#### **3.3. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.3.1. DE CAMPO**

- Sierra de disco
- Regla
- Lápices de cera
- Wincha de metal
- Escuadra
- Cuchilla

##### **3.3.2. DE LABORATORIO**

- Prensa universal y accesorios “Tinius Olsen” de capacidad 60 000 lb
- Probadora de tenacidad “Baldwin” de capacidad 652.6 lb/pulg
- Estufa eléctrica “Mommert”
- Vernier digital “Mitutoyo”, precisión 0,01 mm
- Balanza digital precisión 0,01 g
- Desecadores de laboratorio con silicagel
- Lupa 10x

### 3.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los árboles provienen de una plantación de 53 hectáreas en el Fundo Santa Rita, propiedad del grupo BACKUS SA, localizada en el kilómetro 12 de la Carretera Federico Basadre, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. Las coordenadas UTM de la ubicación de la parcela dentro de la plantación son 539850 y 9069250 (Figura 1).

Según el informe de la región, la Municipalidad de Coronel Portillo (2017) detalla que el clima es cálido y húmedo, con lluvias prácticamente durante todo el año, con una disminución de la temperatura en el mes de junio. La precipitación promedio es de 2,000 mm, con un período seco entre julio y agosto. Temperaturas que oscilan entre 19,7°C y 30,6°C, alcanzando los valores más altos entre mayo y agosto. Desde un punto de vista ecológico, la zona se encuentra en la categoría de bosque húmedo Premontano tropical (bh-PT).

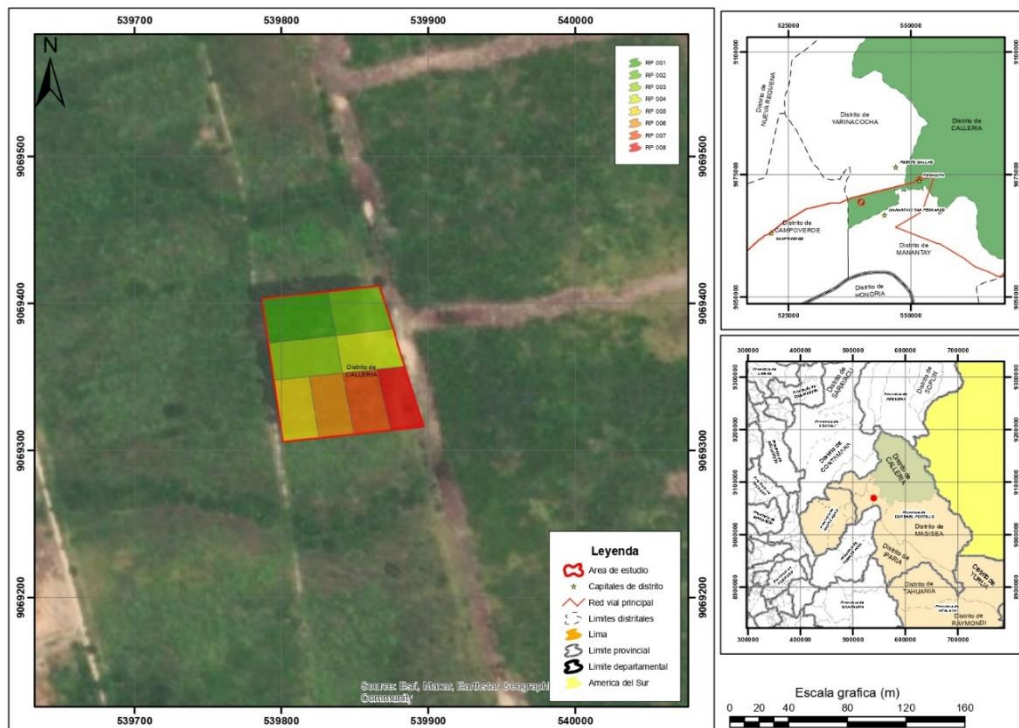


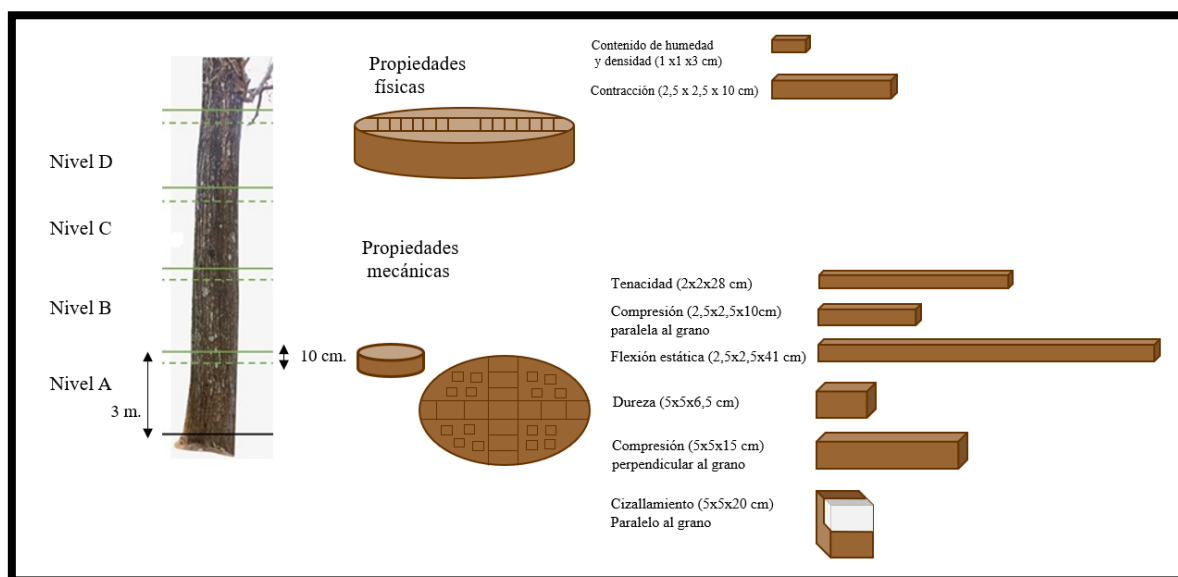
Figura 1: Ubicación de las plantaciones de eucalipto

### 3.5. SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS

Se seleccionaron 5 individuos de una parcela de 0,81 hectáreas según la norma Standard Test Methods for Sampling Forest Trees. Designation: D5536-94 y La norma técnica peruana NTP 250:008

### 3.6. OBTENCIÓN DE MUESTRAS, CODIFICACIÓN Y DENDROMETRIA DE INDIVIDUOS

A cada uno de los árboles se le midió la altura total, altura comercial, diámetro a la altura del pecho (DAP) y otras características tales como calidad del fuste y sanidad de cada individuo. Para el estudio se estableció 4 posiciones longitudinales: A, B, C y D. (Fig. 2); codificados de acuerdo con el número de árbol y la posición longitudinal.



**Figura 2: Posiciones longitudinales para la toma de muestras**

En la Tabla 6 se muestran las características dasométricas de los 5 árboles de *Eucalyptus urograndis* seleccionados para el estudio.

**Tabla 6: Características dasométricas de los árboles colectados**

Árbol	DAP (cm)	Altura comercial (m)	Altura total (m)	Forma de fuste	Sanidad de fuste
1	19,00	13,00	20,00	Recto	Sano
2	19,50	11,00	22,00	Recto	Sano
3	16,50	16,00	22,00	Recto	Sano
4	17,00	19,00	24,00	Ligeramente inclinado	Sano
5	17,00	15,00	20,00	Recto	Sano

### 3.7. PROCESAMIENTO DE TROZAS Y PREPARACIÓN DE PROBETAS

Las trozas fueron procesadas en el Galpón de Carpintería del Cite Forestal- Pucallpa. Las probetas fueron dimensionadas según la norma técnicas peruanas especificadas en las Tablas 7 y 8.

### 3.8. PROPIEDADES FÍSICAS

En caso de las propiedades físicas, los ensayos de densidad, contenido de humedad y contracción volumétrica; requerían probetas de dimensiones 1 cm x 1 cm x 3 cm y 2,50 cm x 2,50 cm x10 cm, teniendo en consideración el tipo de corte en cada uno de los niveles de los individuos y los ensayos para las propiedades físicas se realizaron según las Normas Técnicas Peruanas conforme la Tabla 7.

**Tabla 7: Normas Técnicas Peruanas empleadas para las propiedades físicas**

<b>Norma</b>	<b>Propiedades físicas</b>
NTP 251.010:2020	Método de determinación de contenido de humedad
NTP 251.011:2014 (revisada el 2019)	Método de determinación de densidad
NTP 251.012:2015	Método de determinación de contracción

En la Tabla 8, se presenta el número de probetas para los ensayos de propiedades físicas, en los cuatro niveles. En total se obtuvieron 185 probetas.

**Tabla 8: Distribución de probetas según posición longitudinal por árbol para las propiedades físicas**

<b>Ensayo</b>	<b>Posición</b>	<b>Número de árbol</b>					<b>Total</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
Contenido de humedad y densidad	A	12	9	8	6	8	43
	B	8	10	7	3	3	31
	C	8	7	7	3	7	32
	D	5	8	3	3	5	24
Contracciones	A	1	4	4	3	4	16

B	3	4	3	1	3	14
C	3	1	3	2	4	13
D	2	2	2	3	3	12
Total	42	45	37	24	37	185

### 3.9. PROPIEDADES MECÁNICAS

En el caso de las propiedades mecánicas, los ensayos de flexión estática y compresión paralela se requieren probetas de 2,5 cm x 2,5 cm de sección transversal y 41 cm y 10 cm de largo; para tenacidad se requiere de 2 cm x 2 cm de sección transversal y 28 cm de largo respectivamente.

Para compresión perpendicular, dureza y cizallamiento se trabajó con probetas de 5 cm x 5 cm de sección transversal, con 15 cm, 20 cm y 6,5 cm de largo respectivamente. Los ensayos de las propiedades mecánicas fueron realizados conforme a las Normas Técnicas Peruanas, que se presentan en la Tabla 9.

**Tabla 9: Normas Técnicas Peruanas utilizadas para la determinación de las propiedades mecánicas**

Norma	Propiedades mecánicas
NTP 251.017.2014 (revisada el 2019)	Método de determinación de flexión estática
NTP 251.014.2020	Método de determinación de compresión paralela al grano



NTP 251.016.2015	Método de determinación de compresión perpendicular al grano
NTP 251.013.2015	Método de determinación de cizallamiento paralelo al grano
NTP 251.015.2020	Método de determinación de dureza
NTP 251.018.2015	Método de determinación de tenacidad

En la Tabla 10, se puede observar la distribución de las probetas obtenidas para los ensayos de propiedades mecánicas, en las diferentes posiciones longitudinales. Se obtuvieron 475 probetas en total para los ensayos.

**Tabla 10: Distribución de probetas según posición longitudinal por árbol para las propiedades mecánicas**

Ensayo	Posición	Número de árbol					Total
		1	2	3	4	5	
Flexión estática	A	2	7	6	4	3	22
	B	1	6	5	3	3	18
	C	3	4	5	7	5	24
	D	5	5	5	4	1	20

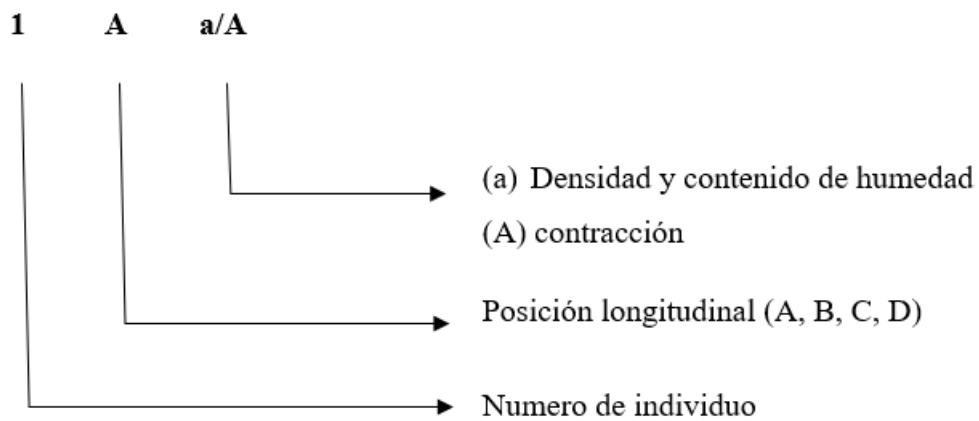
Compresión paralela al grano	A	4	11	7	6	3	31
	B	4	9	6	4	3	26
	C	6	4	4	6	4	24
	D	11	7	5	4	2	29
Compresión perpendicular al grano	A	4	5	4	3	4	20
	B	2	3	1	1	2	9
	C	1	3	2	1	2	9
	D	0	2	2	1	0	5
Cizallamiento paralelo al grano	A	10	9	6	6	8	39
	B	5	5	2	2	4	18
	C	3	8	2	2	6	21
	D	0	2	4	2	2	10
Dureza (para lados y extremos)	A	4	5	4	3	4	20
	B	3	3	1	1	2	10
	C	1	3	2	1	2	9

	D	0	2	2	1	1	6
	A	4	7	8	5	4	28
	B	3	7	6	5	5	26
Tenacidad	C	4	5	5	5	5	24
	D	9	5	7	4	2	27
Total		89	127	101	81	77	475

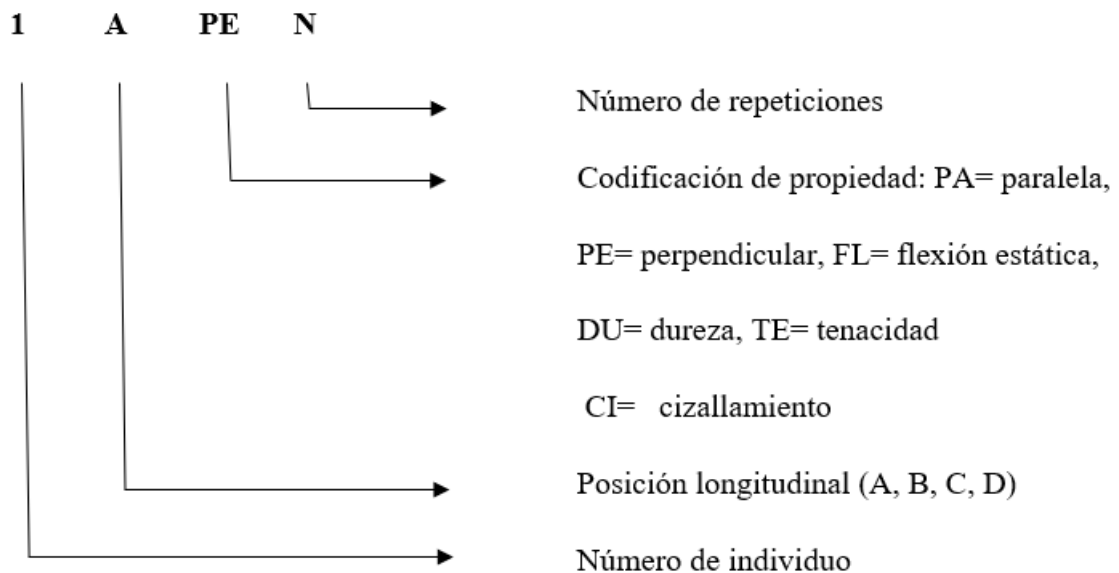
### 3.10. CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS

La codificación de las probetas evaluadas, para las propiedades físicas y mecánicas fue el siguiente.

*Propiedades físicas:*



*Propiedades mecánicas:*



### 3.11. PROCESAMIENTO DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Para el ordenamiento y procesamiento de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel para Windows y RStudio, para el análisis estadístico.

Para resumir los datos se calcularon las medidas de tendencia central y dispersión. Entre ellos, valores promedios máximos y mínimos, intervalos de confianza y coeficientes de variación. Así mismo, se realizó un análisis de regresión entre las variables mecánicas y la densidad básica; donde se clasificó el nivel de correlación según lo propuesto por Calzada (1982) (Anexo 3).

Para evaluar el comportamiento longitudinal de las propiedades físicas y mecánicas se realizó un ANOVA. Se indica que el factor “posición longitudinal” posee cuatro niveles: A, B, C, D. También se realizó un análisis de residuales. En los casos donde se observó efecto de la posición longitudinal, se empleó la prueba de Tukey. En caso de incumplimiento de supuestos, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Finalmente, se realizó la determinación de los posibles usos de la especie *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, en función a valores de las propiedades físicas y mecánicas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Los valores obtenidos para las propiedades físicas se presentan en la Tabla 11, en este se detallan el valor promedio, mínimo, máximo y coeficiente de variación en las posiciones longitudinales de los clones de *Eucalyptus urograndis*.

El valor de densidad básica promedio de *Eucalyptus urograndis* es de 0,56 g/cm<sup>3</sup>, clasificado en el grupo III “media” según Rivera (2014). Esta se encuentra dentro del rango para la propiedad según Wood Database (2017) y Mendoza (2015). Al comparar con resultados obtenidos por Mendoza (2015), el valor obtenido es mayor infiriendo inicialmente que son otros factores, aparte de la edad, los que influyen en el porcentaje de material leñoso y por ende la variabilidad en la densidad básica en la especie.

La contracción volumétrica para la especie fue de 18,28%, clasificada como “alta” según Arostegui (1982) y Spavento et al (2013). Por su parte, Nunes et al (2015) presentan un valor de 11,78 % para una plantación de 7 años, atribuyéndole una relación directa entre la edad de la especie con la generación de material leñoso más estable y menor valor de contracción volumétrica total. Para Tuset (1981), citado por Rivera (2014), la contracción tangencial tiene mayor importancia que la radial debido a cuánta estabilidad se tendrá durante el proceso de secado, para los posibles usos que se tendrá de la madera. En el caso del estudio, se cumple esta condición al ser el valor de la contracción tangencial de 1,4 más que la radial. En la relación T/R, se obtuvo como resultado de 1.48 para la especie, considerado como “muy estable” según la clasificación de Rivera (2014).

**Tabla 11: Valores promedios según posición longitudinal de las propiedades físicas de *Eucalyptus urograndis***

Propiedades físicas	Unidades	Promedio	A				B				C				D			
			Prom	Min	Max	CV%	Prom	Min	Max	CV%	Prom	Min	Max	CV%	Prom	Min	Max	CV%
Densidad saturada (*)		0,93	0,93	0,73	1,28	11%	0,92	0,73	1,28	11%	0,94	0,73	1,28	11%	0,94	0,73	1,28	11%
Densidad seca al Aire (**)	g/cm <sup>3</sup>	0,70	0,69	0,52	1,04	16%	0,69	0,54	0,97	14%	0,71	0,52	1,04	15%	0,71	0,52	1,04	15%
Densidad anhidra		0,65	0,64	0,47	0,98	17%	0,63	0,50	0,83	14%	0,67	0,47	0,98	16%	0,67	0,47	0,98	16%
Densidad básica		0,56	0,57	0,42	0,74	13%	0,55	0,45	0,68	10%	0,55	0,44	0,77	14%	0,58	0,43	0,75	16%
Contracción radial		7,30	7,07	4,67	10,75	26%	7,12	5,22	10,67	22%	7,44	4,22	12,13	34%	7,57	4,73	13,33	32%
Contracción tangencial	%	10,53	10,91	7,39	14,61	18%	10,85	7,41	15,11	19%	9,56	5,37	12,86	27%	10,79	7,18	17,15	24%
Contracción longitudinal		0,43	0,39	0,03	1,40	65%	0,34	0,08	0,72	54%	0,49	0,10	1,39	88%	0,51	0,04	1,05	68%
Contracción volumétrica		18,28	18,37	14,31	24,03	18%	18,37	12,90	25,97	17%	17,50	10,38	25,10	28%	18,87	12,88	30,87	27%
T/R		1,48	1,61	1,04	2,22	25%	1,51	1,08	1,97	17%	1,32	1,03	1,60	16%	1,46	1,29	1,91	12%

\*Contenido de humedad: 65,8%; \*\*Contenido de humedad: 14,58%

Asimismo, en la Tabla 12 se presenta las propiedades físicas de la madera evaluada de la especie *Eucalyptus urograndis* comparada con otros estudios de la misma especie y/o parentales.

**Tabla 12: Análisis comparativo de las propiedades físicas de la especie evaluada con otros estudios de la misma especie y/o parentales**

	<i>E. urograndis</i> <sup>1</sup>	<i>E. urograndis</i> <sup>2</sup>	<i>E. urophylla</i> <sup>3</sup>	<i>E. grandis</i> <sup>4</sup>
	5 años	9 años	7 años	7 años
Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,56	0,46	0,56	0,43
Contracción tangencial (%)	10,52	8,87	9,86	7,79
Contracción radial (%)	7,29	4,53	5,26	3,97
Contracción volumétrica (%)	18,27	12,55	15,40	12,64
T/R	1,47	1,96	1,96	1,88

Fuente: <sup>1</sup> Resultado obtenido en el presente estudio <sup>2</sup> Mendoza (2015), <sup>3,4</sup> Silvestre y Torres (2003)

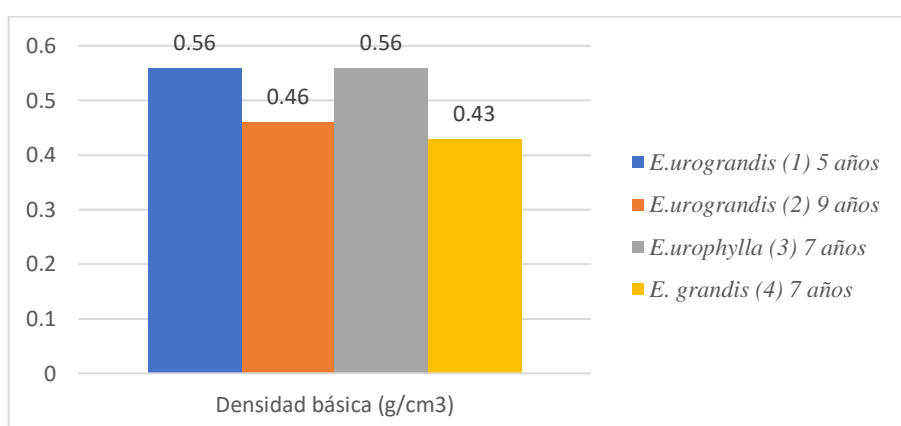
Para la densidad básica, las especies comparadas se encuentran en el rango de 0,43 a 0,56 g/cm<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos guardan semejanza con sus parentales<sup>3,4</sup> (Silvestre y Torres, 2003); no obstante, mayor a los valores de *E. urograndis*<sup>2</sup> (Mendoza, 2015). De igual manera en Brasil, individuos de *E. urograndis* con 3 y 7 años presentaron valores de 0,49 g/cm<sup>3</sup> (Nunes et al, 2015) y de 0,39 g/cm<sup>3</sup> (Braz et al, 2017) respectivamente, valores menores al



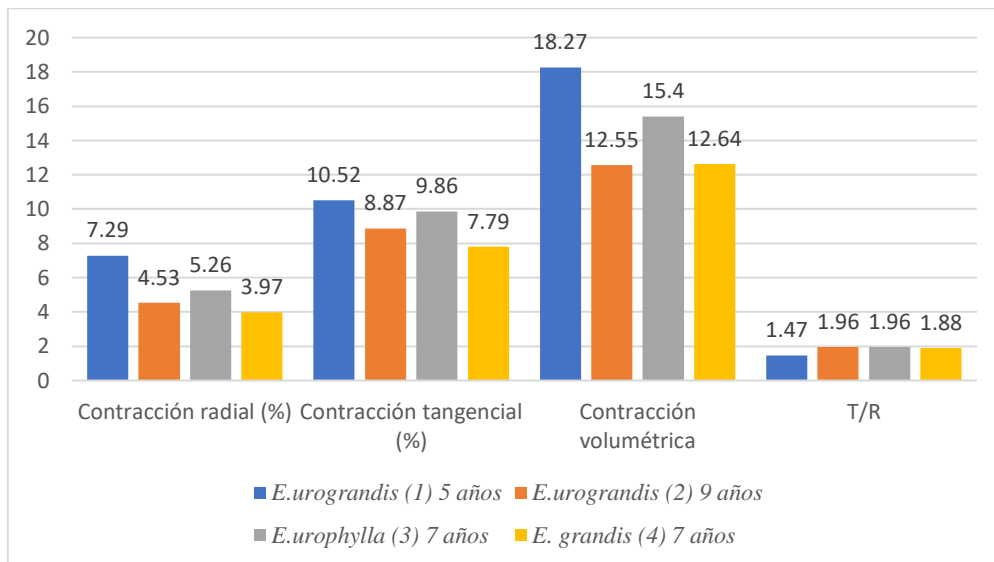
obtenido en Perú. El estudio de los individuos de Silvestre y Torres cuenta con fisiografía, clima y precipitación similar. En el caso de *E. urograndis* de Mendoza, cuenta con diferencias en la altitud, clima y precipitación que puede generar esta diferencia en valores de sus propiedades, siendo mayor en altura y precipitación.

Conforme con la información de los parentales, *E. urophylla* cuenta con un mayor valor a la *E. grandis*, siendo más denso a la edad evaluada (Figura 3); en contra parte, la madera de *E. grandis* suele ser más estable y se contrae menos que la *E. urophylla* (Figura 4). Para la especie estudiada, se observa que cuenta con un mayor valor de contracción, pero aun así se cuenta con estabilidad al estudiar su T/R.

Respecto al cambio dimensional, en la Tabla 12 y las Figuras 3 y 4, se observan que el valor de contracción volumétrica obtenido para la especie estudiada<sup>1</sup> es mayor a los otros 3 comparados. En el caso de los parentales, se tiene menor valor de contracción (Silvestre y Torres, 2003), por lo cual se infiere en primera instancia que se va reduciendo las contracciones a mayor edad. Esta tendencia se mantiene tanto en la contracción radial y tangencial. Por otro lado, la relación T/R es menor en el *E. urograndis*<sup>1</sup> que, en los parentales de 9 años, aun así, dentro del rango de estable.

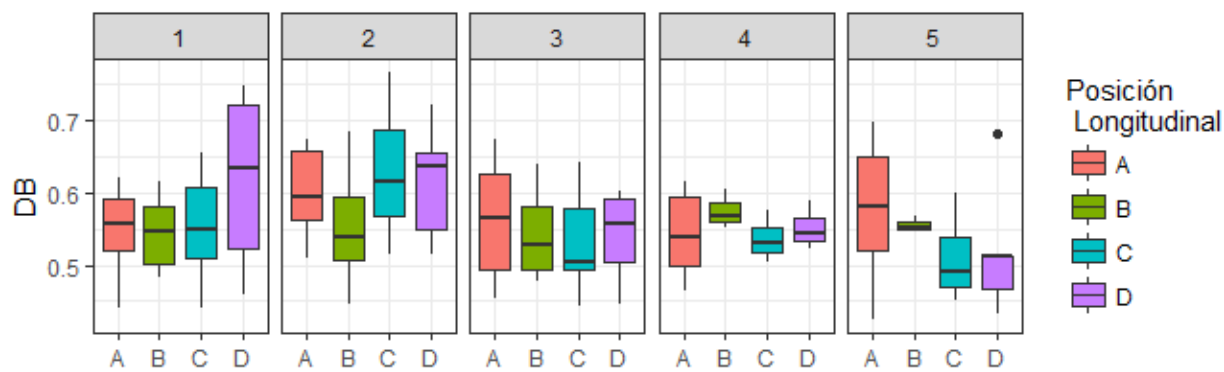


**Figura 3: Análisis comparativo de densidad básica de la especie evaluada con otros estudios de la misma especie y/o parentales**



**Figura 4:Análisis comparativo de contracción radial, tangencial y volumétrica y relación T/R de la especie evaluada con otros estudios de la misma especie y/o parentales**

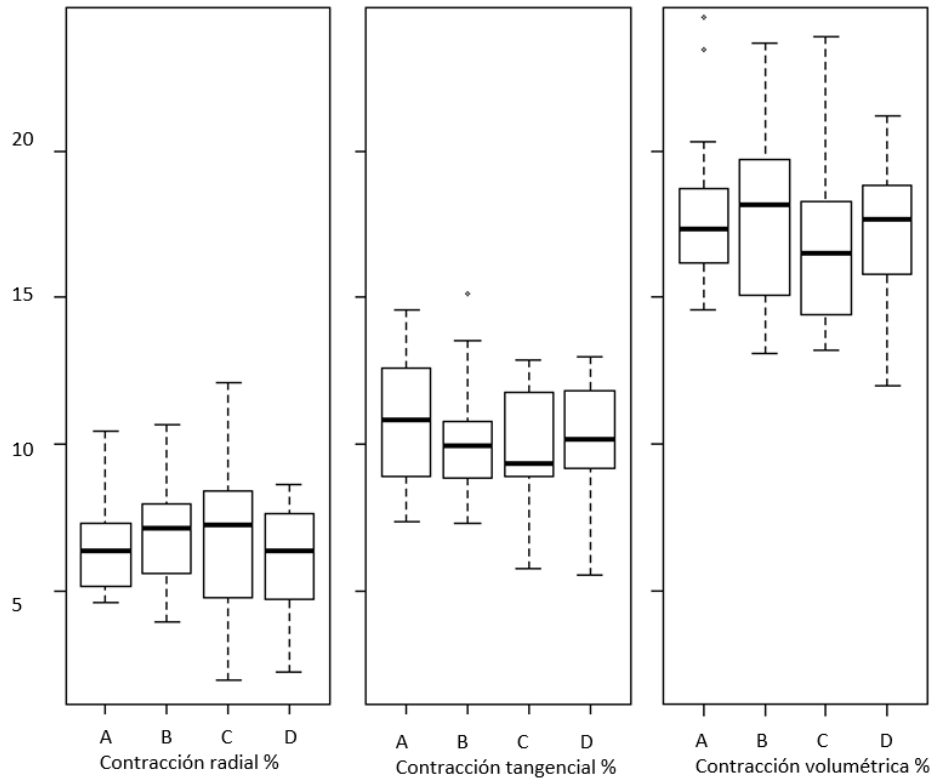
En el análisis de las propiedades físicas según el nivel longitudinal, los valores promedios no presentan una tendencia a aumentar o disminuir en las cuatro posiciones longitudinales, corroborada por el análisis estadístico ( $p$ -valor  $> 0,05$ ). Según el Anexo 1 para cada propiedad física, el análisis estadístico permite aceptar la hipótesis nula: no se evidencia diferencias significativas entre los niveles longitudinales.



**Figura 5: Gráfico de cajas de la densidad básica según posición longitudinal**

En la Figura 5 se presenta el gráfico de cajas de la densidad básica según posición longitudinal y por árbol. Se puede observar que no se evidencian tendencias claras y tras comparar con el análisis estadístico (Anexo 1.1.), se muestra que no existen diferencias significativas entre los niveles longitudinales para la densidad básica (DB:  $F=0,567$ ;  $p\text{-valor}=0,633$ ). Resultados contrarios a los reportados por Barrichello et al (1983) citado por Gomes et al (2009) quienes encontraron mayor promedio en la base, disminuyendo hasta un 25% en el ápice de la altura comercial.

En el caso de las contracciones, en la Figura 6 se presenta el gráfico de cajas de la contracción radial, tangencial y volumétrica según posición longitudinal. Podemos observar que no se evidencian tendencias claras y tras comparar con el análisis estadístico (Anexo 1.2.), se muestra que no existen diferencias significativas entre los niveles longitudinales para las contracciones radial, tangencial y volumétrica (Ctg:  $F=0,525$ ;  $p\text{-valor}=0,666$ ; Crd:  $F=0,560$ ;  $p\text{-valor}=0,640$ ; Cvol:  $F=0,600$ ;  $p\text{-valor}=0,610$ ).



**Figura 6: Gráfico de cajas de la estabilidad dimensional según posición longitudinal**

#### 4.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

En la Tabla 13 se observan los valores obtenidos para las propiedades mecánicas. Se detallan el valor de la especie, como el promedio, mínimo, máximo y coeficiente de variación de las posiciones longitudinales para las propiedades mecánicas de los clones de *Eucalyptus urograndis*.

En flexión estática se obtuvieron valores para el módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidad (MOE) y esfuerzo de la fibra al límite proporcional (ELP). Donde los valores de MOR (636,73 kg/cm<sup>2</sup>) y MOE (103 241,95 kg/cm<sup>2</sup>) se clasifican como “medio” y “alto” respectivamente, según Dávalos y Bárcenas (1999). Al comparar los mismos valores con otros eucaliptos de 9 años (Silva, 2011; Wood Database, 2012), estos se encuentran por debajo del rango.

Para la compresión paralela al grano, los valores de resistencia máxima (RM) (310,62 kg/cm<sup>2</sup>) y esfuerzo de la fibra al límite proporcional (ELP) (195,08 kg/cm<sup>2</sup>) clasifican como “alto”, según Dávalos y Bárcenas (2012). En primera instancia, indica que presenta cierta rigidez y soporte a la aplicación de cargas bajas. Mientras el alto valor del CV% en el ELP, indica mayor variabilidad en contraste con los valores menores de CV% en RM. Por su parte, para compresión perpendicular al grano, la especie presenta un esfuerzo de la fibra al límite proporcional (ELP), clasificada dentro de la categoría de “alto” según Dávalos y Bárcenas (2012), siendo propia de maderas de alta resistencia con baja heterogeneidad (bajo CV%).

En dureza, se obtuvieron valores de lados y extremos, teniendo un promedio de 419,75 kg, siendo clasificada madera de resistencia “alta”, según Dávalos y Bárcenas (2012). Al comparar el valor con otros eucaliptos, este se encuentra por debajo del promedio; aun así, según Rubio (2002) citado por Ccahuana (2019) presenta datos regularmente variables (Tabla 13).

Para cizallamiento paralelo al grano, se obtuvo valores tanto para el corte tangencial y radial, teniendo como promedio de resistencia de 84,73 kg/cm<sup>2</sup>. Clasificado según Fuentes (1998) mencionado por Silvestre y Torres (2003) (Anexo 2) de resistencia “media”, y aun así siendo menor en comparación a otros *Eucaliptus urograndis* (Silva, 2011). El valor de tenacidad para la especie es de promedio es de 1,73 kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose comprendido en el rango de los otros estudios, el cual es de 1,61 kg/cm<sup>2</sup> a 1,92 kg/cm<sup>2</sup>(Tabla 14), presentando variabilidad con un CV de 37% de los resultados obtenidos. Para el caso de cizallamiento y tenacidad, estas propiedades se encuentran clasificadas como complementarias a las principales (flexión estática, compresión paralela y perpendicular y dureza), es necesaria conocerlas para comportamientos futuros muy específicos. Todas las propiedades han mantenido la tendencia de encontrarse clasificadas como madera de resistencia media. Siendo una característica que engloba unos amplios valores tecnológicos (Forest Service & Products Laboratory, 2010).

**Tabla 13: Valores promedios de las propiedades mecánicas en condición saturada de *Eucalyptus urograndis* por posición longitudinal**

Propiedades mecánicas	Unidades	Promedio	A				B				C				D			
			Prom	Min	Max	CV %	Prom	Min	Max	CV %	Prom	Min	Max	CV %	Prom	Min	Max	CV %
Flexión estática																		
ELP	Kg	402,44	393,55	305,09	560,22	16%	365,30	184,98	441,54	20%	408,98	182,48	507,12	20%	441,93	227,23	589,98	22%
MOR	/cm <sup>2</sup>	636,73	628,62	412,92	837,38	16%	617,89	419,50	818,36	15%	639,47	314,79	784,08	18%	660,92	413,56	805,43	18%
MOE (x1000)		103,24	114,08	75,23	181,69	20%	95,70	61,95	124,58	19%	103,86	72,39	132,74	17%	99,33	58,02	157,31	23%
Compresión paralela al grano																		
ELP	Kg	195,08	209,10	125,20	317,48	24%	182,44	114,61	333,52	28%	189,96	67,68	297,90	29%	198,83	91,55	326,96	27%
RM	/cm <sup>2</sup>	310,62	318,23	213,35	474,51	19%	290,09	206,99	378,73	18%	312,03	194,02	405,00	20%	322,13	215,11	526,85	21%
Compresión perpendicular al grano																		

ELP	Kg	48,98	47,1 7	36,29	76,20	22%	39,31	27,22	54,43	23%	54,63	27,22	99,79	37%	54,80	43,55	76,20	21%	
Dureza																			
Lados	Kg	423,86	449, 12	349,5 8	930,7 0	28%	419,0 4	333,6 9	556,1 5	19%	422,4 7	317,8 0	592,4 7	19%	404,8 2	360,9 3	444,9 2	10%	
Extremo		415,64	431, 98	335,9 6	535,7 2	13%	379,0 9	322,3 4	422,2 2	10%	426,2 6	326,8 8	476,7 0	11%	425,2 5	363,2 0	553,8 8	16%	
Cizallamiento																			
Prom	Kg	84,72	88,1 3	56,14	110,9 5	15%	79,74	45,82	105,3 7	23%	84,03	51,00	108,6 1	21%	87,00	66,66	100,3 2	18%	
Tenacidad																			
Prom	Kg	1,73	2,22	1,21	3,24	28%	1,58	0,58	2,74	48%	1,50	0,83	2,56	39%	1,63	0,58	2,33	33%	

En la tabla 14 se comparan los resultados de las propiedades mecánicas de la especie estudiada con otros individuos y especies parentales, según Silvestre y Torres (2003), Silva (2011) y *The Wood Database* (2008). El *Eucalyptus urograndis* muestra valores bajos en MOR de flexión estática y compresión paralela y cizallamiento; mientras que se mantiene en el rango para MOE en flexión estática y valor promedio de la dureza.

**Tabla 14: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera obtenida de la plantación con otros estudios de la misma especie y/o parentales**

		Unidad	<i>E.</i> <i>urograndis</i> 1	<i>E.</i> <i>urograndis</i> 2	<i>E.</i> <i>urograndis</i> 3	<i>E.</i> <i>urophylla</i> 4	<i>E.</i> <i>grandis</i> 5
Flexión estática	MOR		636,73	1202,95	978,00	910,60	1007,40
	MOE x10 <sup>3</sup>		103,24	144,06	149,90	103,91	90,45
Compresión paralela	RM	kg/cm <sup>2</sup>	310,62	607,45	570,00	536,80	450,70
Cizallamiento	Tangencial		88,42		126,00	121,38	106,03
Dureza	Promedio		415,65	642,42	830,00	516,83	321,27

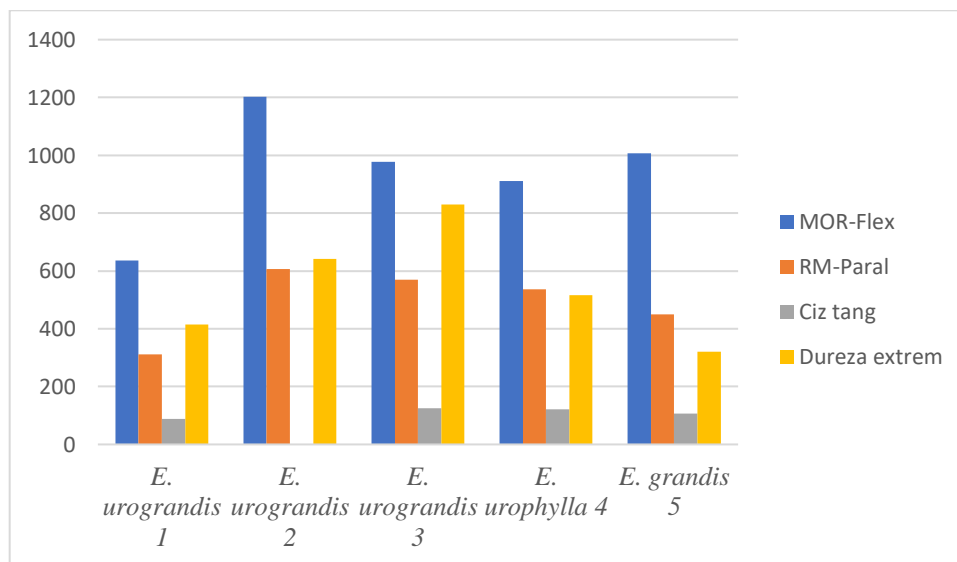
Fuente: <sup>1</sup> especie estudiada, <sup>2</sup>The Wood Database (2008), <sup>3</sup> Silva (2011), <sup>4,5</sup> Silvestre y Torres (2003)

Para flexión estática, el MOR (*E. urograndis* de 5 años) se encuentra por debajo del rango de las especies estudiadas y parentales que a su vez cuentan con más años. Podemos inferir inicialmente que existe una primera relación entre la edad y la generación de material leñoso con la resistencia máxima de la madera, tal como lo mencionan Silva (2011) ya que, al ser una madera de raleo, esta suele ser menos resistente. En el caso de MOE, se cuenta con valores bajos, pero todavía dentro del rango de las especies estudiadas (Figura 8).

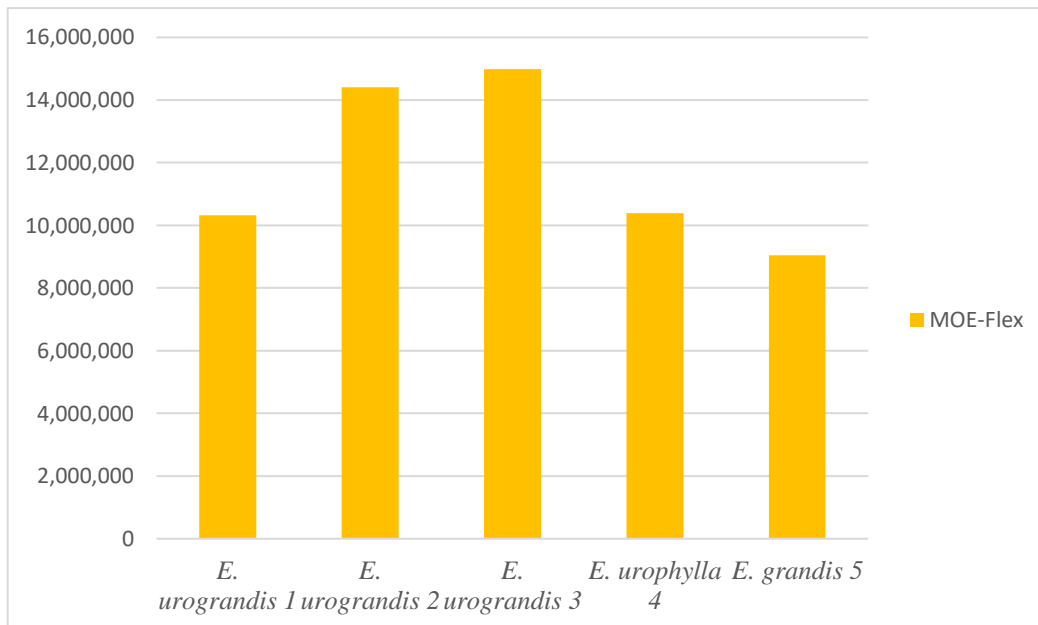


Respecto a la RM en compresión paralela al grano, el valor obtenido se encuentra por debajo del rango de las demás especies (Figura 7). Según Haygreen y Bowyer (1930), los valores en flexión estática son mayores que en compresión paralela al grano. En este caso, la madera tiene una mayor capacidad en soportar cargas aplicadas en forma de flexión sin romperse más fácilmente que cuando se somete a cargas de compresión en dirección paralela al grano.

En cizallamiento y dureza, se mantiene cierta homogeneidad de los valores y dentro del mismo rango al compararlos con otras especies y parentales (Figura 7). Tal como menciona França (2019), existe una relación entre la densidad de la especie, rapidez de crecimiento y su resistencia al cizallamiento y dureza, siendo las maderas más densas la que cuenten con mayor rigidez.

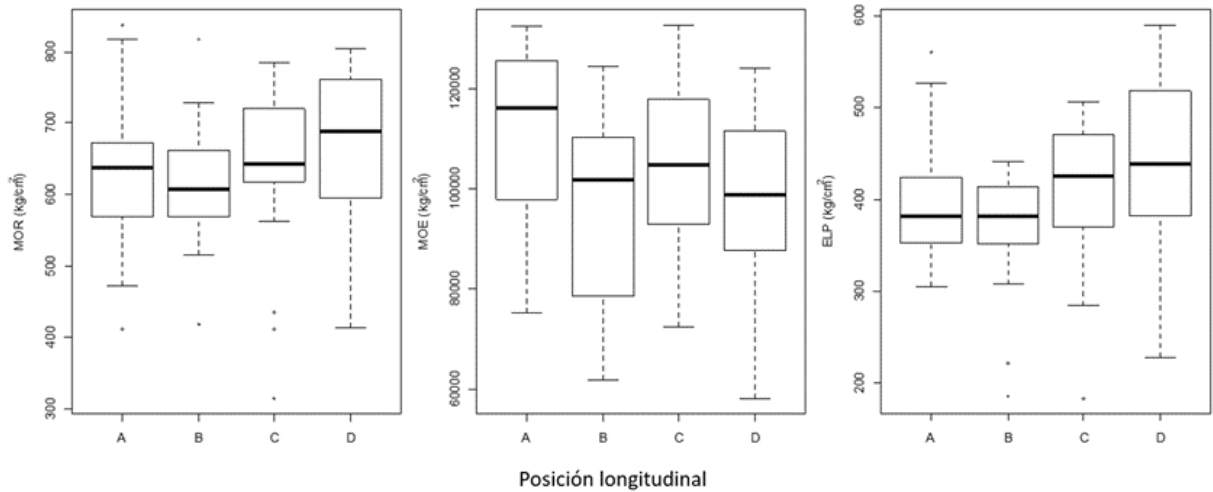


**Figura 7: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas (MOR en flexión, RM en compresión paralela, Cizallamiento tangencial y Dureza en extremos) de la especie evaluada en la plantación con otros estudios de la misma especie y/o parentales**



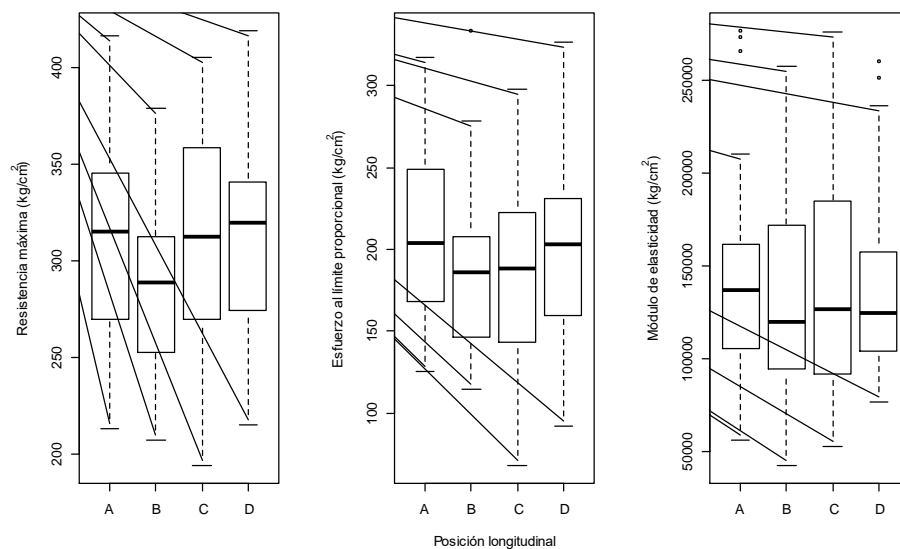
**Figura 8: Análisis comparativo del MOE en flexión estática de la especie evaluada en la plantación con otros estudios de la misma especie y/o parentales**

En flexión estática, la Figura 9 presenta el gráfico de cajas del módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidad (MOE) y esfuerzo al límite proporcional (ELP) de la flexión estática a nivel longitudinal. Se puede observar que no se evidencian tendencias claras y tras comparar con el análisis estadístico (Anexo 1.3.), se muestra que no existen diferencias significativas entre los niveles longitudinales (MOE:  $F=3,11$ ;  $p\text{-valor}=0,031$ ; ELP:  $F=1,58$ ;  $p\text{-valor}=0,199$ ).



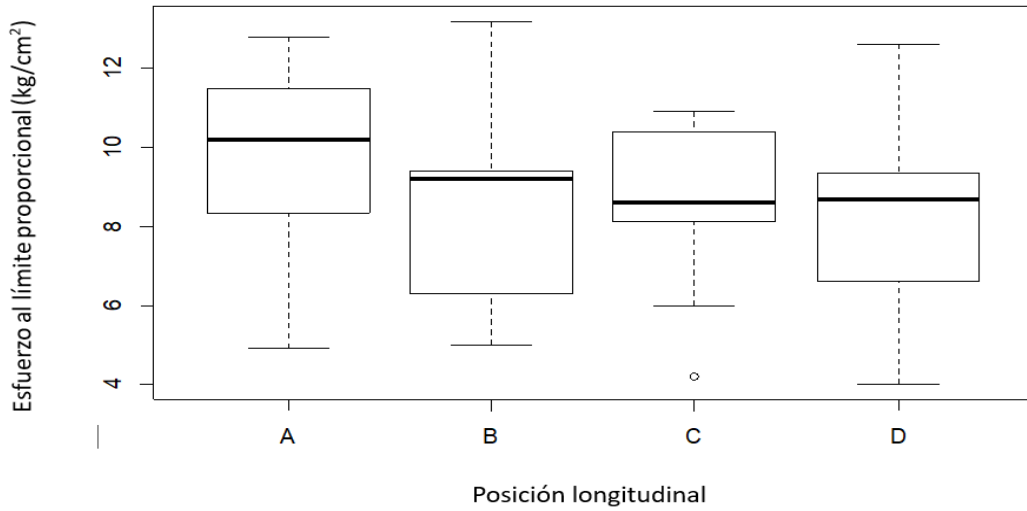
**Figura 9: Gráfico de cajas de la MOR, ELP Y MOE de flexión estática a diferentes posiciones longitudinales**

En la figura 10 se muestra el gráfico de cajas de resistencia mecánica (RM), esfuerzo al límite proporcional (ELP) y módulo de elasticidad (MOE) de la compresión paralela al grano a nivel longitudinal. Se puede observar que no se evidencian tendencias claras y tras comparar con el análisis estadístico (Anexo 1.4.), se muestra que no existen diferencias significativas entre los niveles longitudinales (MOR:  $F=1,304$ ;  $p\text{-valor}=0,277$ ; ELP:  $F=1,298$ ;  $p\text{-valor}= 0,279$ ).



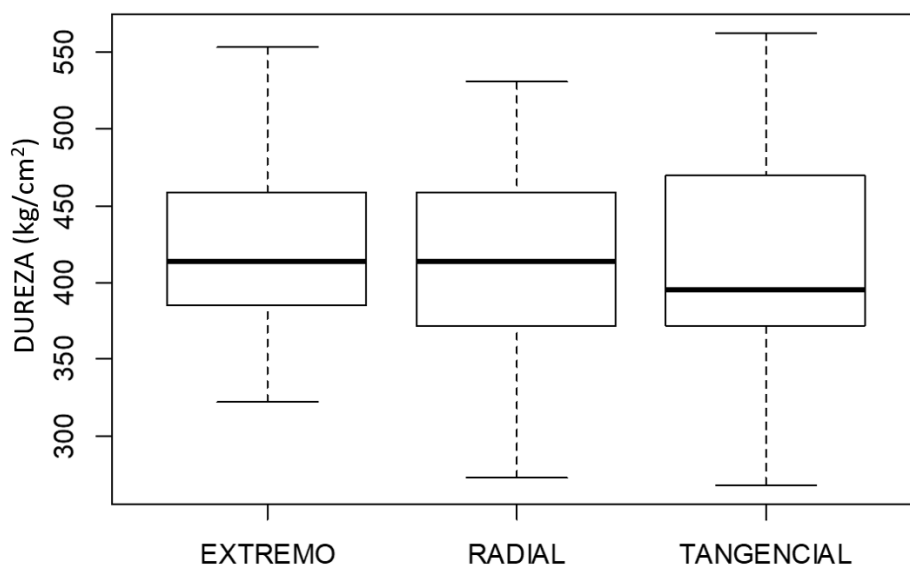
**Figura 10: Gráfico de cajas de la MOE, RM y ELP de compresión paralela al grano a diferentes posiciones longitudinales**

Para compresión perpendicular al grano, en la Figura 11 se observa el gráfico de cajas del esfuerzo al límite proporcional (ELP) de la compresión perpendicular al grano a nivel longitudinal. Se puede observar que no se evidencian tendencias claras y tras comparar con el análisis estadístico (Anexo 1.5.), se muestra que no existen diferencias significativas entre los niveles longitudinales (ELP:  $F=1,166$ ;  $p\text{-valor}= 0,334$ ).

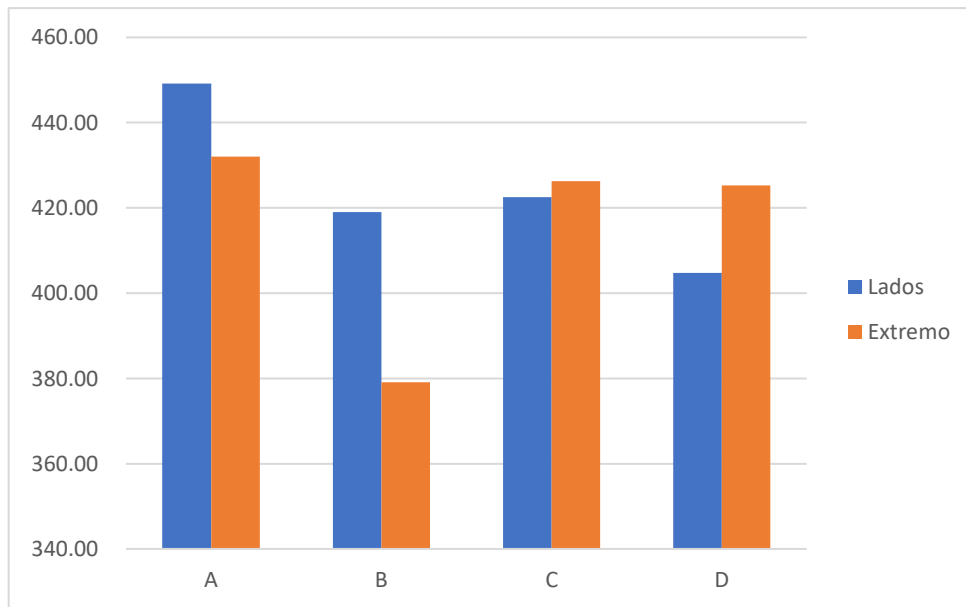


**Figura 11: Gráficos de cajas del ELP de compresión perpendicular al grano**

Para dureza, la Figura 12 y 13 ilustran los valores, de extremos y lados (radial y tangencial), como de su posición longitudinal. Tanto para ambas figuras se puede observar que no se evidencian tendencias claras y tras comparar con el análisis estadístico (Anexos 1.6. y 1.7.), se muestra que no existen diferencias significativas entre los niveles longitudinales para (RM:  $F=2,00$ ;  $p\text{-valor}=0,944$ ).

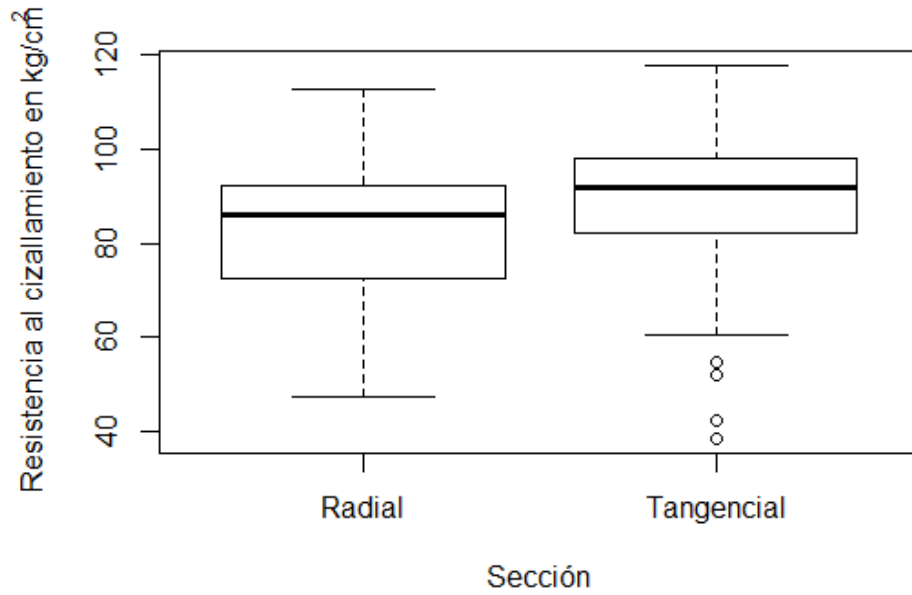


**Figura 12: Gráficas de cajas de dureza en entremos y lados tangenciales y radiales a diferentes posiciones longitudinales**

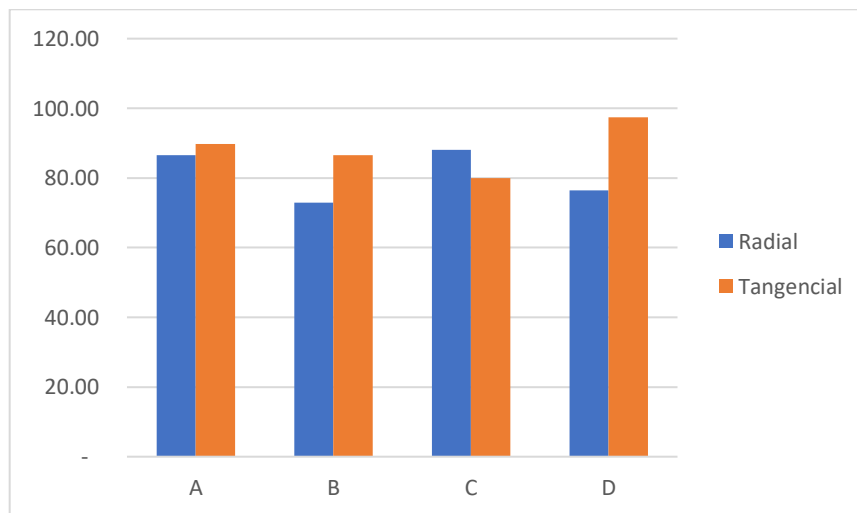


**Figura 13: Comparación de los valores promedios de LADOS y EXTREMOS de dureza en diferentes posiciones longitudinales**

Para cizallamiento paralelo al grano, las Figuras 14 y 15 muestran el comportamiento de la resistencia tanto en la sección radial y tangencial, como en sus diferentes posiciones longitudinales. Al observar el gráfico de cajas (Figura 14), no hay una marcada diferencia entre los valores de las secciones radiales y tangenciales. Esto es debido a la estructura anatómica de la especie, coincidiendo con Suirezs & Berger (2009) y Arroyo (1983). También se puede observar que no se evidencian tendencias claras y tras comparar con el análisis estadístico (Anexo 1.8.), se muestra que no existen diferencias significativas entre los niveles longitudinales (CIZ:  $F=2,225$ ;  $p\text{-valor}=0,139$ ).

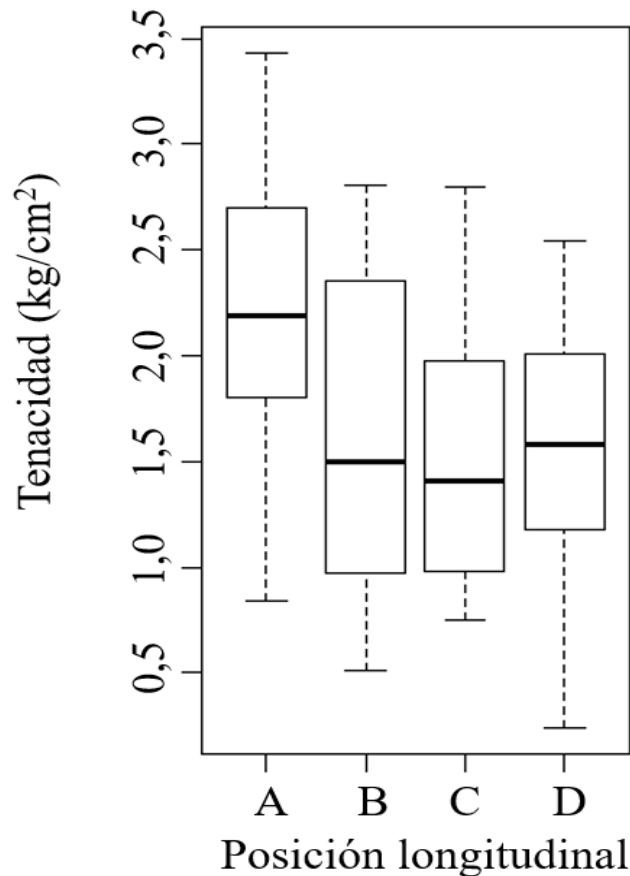


**Figura 14: Gráfico de cajas de resistencia al cizallamiento paralelo al grano en los lados radiales y tangenciales**



**Figura 15: Comparación de los valores promedios de lados y extremos de cizallamiento paralelo al grano en diferentes posiciones longitudinales**

Para tenacidad, en la Figura 16 se presenta el gráfico de cajas de su resistencia a nivel longitudinal. Se puede observar que no se evidencian tendencias claras y tras comparar con el análisis estadístico (Anexo 1.9.), se muestra que no existen diferencias significativas entre los niveles longitudinales (TENAC:  $F=2,0.37$ ;  $p\text{-valor}=0,156$ ).



**Figura 16: Gráfico de cajas de la tenacidad a diferentes posiciones longitudinales**

Al calcular el F y obtener el p-valor en cada ensayo, se obtuvo un p-valor  $\geq 0,05$ , donde se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y no se evidencian diferencias estadísticas significativas entre los niveles. La densidad básica, elementos anatómicos, porcentaje de madera juvenil y presencia de madera de tensión y factores externos, como el raleo tiene cierto efecto en las propiedades físicas y mecánicas (Schmulsky y David, 2011); sin embargo, para el estudio no se presentó tal comportamiento.



### 4.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE DENSIDAD BÁSICA Y PROPIEDADES MECÁNICAS

En la Tabla 15 se presenta entre densidad básica y las propiedades mecánicas. Se observa que los coeficientes de determinación se encuentran dentro de la categoría de “bajo” ( $R^2 < 50\%$ ) (Véase Anexo 2, Tabla 18), excepto en dureza promedio ( $R^2 = 50,6\%$ ;  **$R = 71,10\%$** ) y el MOR ( $R^2 = 66,2\%$ ;  **$R = 81,30\%$** ) en flexión estática. Calzada (1982) (Anexo 2), menciona la importancia de conocer este valor para evaluar el nivel de efecto que tiene la variable dependiente. Se observa que 71% del valor de la dureza y el 81% del MOR en flexión estática se encuentra explicada por la densidad básica. Conforme a lo mencionado por França (2019), existe una estrecha relación entre la densidad y la capacidad de resistir una ruptura y su resistencia a la penetración.

**Tabla 15: Valores de determinación y ecuaciones de regresión de la especie**

*Eucalyptus urograndis*

Propiedad	R <sup>2</sup> (determinación)	F y p-valor
Dureza	50,59%	F= 224,87
		p-valor=0,00
	66,24%	F= 151,07
		p-valor=0,00
Flexión	32,05%	F= 36,32
		p-valor=0,00
	46,00%	F=65,58
		p-valor=0,00
Compresión	40,18%	F=80,60
		p-valor=0,00
Paralela	36,16%	F=57,21
		p-valor=0,00
	35,60%	F=55,83

	p-valor=0,00
Compresión	F=20,36
32,50%	
perpendicular	p-valor=0,00

#### 4.4. APTITUDES DE USO

Para la edad de 5 años, la especie, como madera sólida, presenta aptitud en encofrado y revestimientos (Anexo 4), mostrando una versatilidad propia de una madera del grupo III (Anexo 2 y 5). También es recomendable para esta edad, su utilización en tablero de partículas, tablero de fibra (MDF) y/o carbón, tal como lo indica Hein et al (2013).

## V. CONCLUSIONES

Los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Eucalyptus urograndis* permiten clasificarla en el grupo III, con estabilidad y resistencia media para la edad de 5 años.

La madera de *Eucalyptus urograndis* procedente de raleo de plantación de 5 años, no presenta diferencias significativas en sus propiedades físicas y mecánicas en los 4 niveles axiales evaluados

Las ecuaciones de regresión demuestran que la densidad básica es un buen estimador para predecir la resistencia del módulo de ruptura en flexión estática y dureza.

La madera tiene aptitudes para uso en encofrado y revestimiento, materia prima en la elaboración de tableros de partículas, tableros de fibras y carbón como fuente energética.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Monitorear de manera periódica las propiedades físico-mecánicas de la madera de la plantación y sus tensiones de crecimiento a diferentes edades con el fin de evaluar la calidad de la madera como materia prima.

Realizar estudios complementarios en aserrío, preservación, secado y trabajabilidad para proponer su mejor opción de uso como madera sólida.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

ABRAF. (2011). Anuário Estadístico da ABRAF 2011: Ano Base 2010. Brasília, Brasil: ABRAF.

Alzate, S. B. (2004). Características de madera de clones de árboles de *Eucalyptus grandis*, *E. Saligna*, *E. grandis* X *E. Urophylla* [Tesis de ingeniería forestal, Universidad de Sao Paulo]

Angyalossy, A. (1983). Caracterização anatômica da madeira e casca das principais espécies de *Eucalyptus* do estado de São Paulo. São Paulo, Brasil: Editora da Universidade de São Paulo.

Arostegui, J. (1982). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, Perú: PNUD/FAO/PER/71/511

Arroyo, J. (1983). Propiedades físico-mecánicas de la madera. Merida, Venezuela: Universidad de los Andes

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2004). Standard Test Methods for Small clear specimens of timber. Designation: D143-94 (Reapproved 2000). Pennsylvania, EE. UU.: ASTM.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2004). Standard Test Methods for Sampling Forest Trees. Designation: D5536-94 (Reapproved 2004). Pennsylvania, EE. UU.: ASTM.

Bassa, A., Silva, J., & Sacon, V. (2007). Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para producao de celulose Kraft através do Processo Lo-Solids®. *Scientia Forestalis*, 75, 19-29. Piracicaba, Brasil.

Barnett, J. & Jeronimidis, G. (2003). Wood quality and its biological basis. University of Reading. United Kingdom. 240 pp.

Braz, R., Da Silva, J., Rosado, A., Baptiste, G., Lima, J. (2017). Deformação residual longitudinal de clones de *Eucalyptus* em local sujeito a ventos. *Floresta e Ambiente*. N°24. Pag 1-9. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.028013>

Bermúdez, J., Bermudez et al, M., & Sanz, F. (2002). Manual de la madera de Eucalipto blanco. CIS-Madera. Galicia, España. 144 pp.

Brisola, S. R. L., & Demarco, D. (2011). Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. *Scientia Forestalis*, (91), 317-330.

Burns, R.; Mosquera, M.; Whitmore, J. (1998). Árboles útiles de la región tropical de América del Norte. North American Forestry Commission. Washington DC, EE. UU.: 290 pp.

Calzada, J. (1982). Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Milagros S.A. Lima, Peru.

Ccahuana, E. (2019). Propiedades físicas, mecânicas y características anatómicas de *Vochysia kosnipatae* Huamantua (Alco kaspi) proveniente de plantación del distrito San Gaban 2019. Tesis de Grado. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Disponible em: <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/534/004-2-3-096.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chaves, M. (2009). Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, Brasil. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/cerne/a/Rv4zwwV5wPDdFKnwnTDHjtN/?lang=pt>

Cueto, G., O'Neill, H., Rachid, C., Ohta, S., & Resquin, F. (2013). Influencia del raleo sobre el módulo de elasticidad y ruptura en *Eucalyptus grandis*. *Agrociencia Uruguay*, 17(1), 91-97. Montevideo, Uruguay.

Dávalos Sotelo, R., & Bárcenas Pazos, G. M. (2016). Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “verde.” *Madera y Bosques*, 4(1), 65–70. <https://doi.org/10.21829/myb.1998.411368>

Dias de Souza, N. (2008). Identificação de madeiras de clones de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *Eucalyptus urograndis* por RMN13C. UFRRJ. Instituto de Florestas. Brasil, 8-13.

Díaz Bravo, S., Espinosa, M., Valenzuela, L., Cancino, J., & Lasserre, J. P. (2012). Efecto del raleo en el crecimiento y algunas propiedades de la madera de *Eucalyptus nitens* en una plantación de 15 años. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, ahead, 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2012005000009>

Forest Service, U., & Products Laboratory, F. (2010). *Wood Handbook, Wood as an Engineering Material*. Recuperado de [www.fpl.fs.fed.us](http://www.fpl.fs.fed.us).

França, M. C. (2019). Caracterização tecnológica de clones de *Eucalyptus* para a produção de madeira maciça. Tesis para el título de doctorado en Ingeniería Forestal. Universidade Federal do Paraná.

García, H. (2017). Propiedades de la madera de *Ulcumano* (*Weinmannia* sp.) [PDF]. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Recuperado de [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/494/1/Garcia-propiedades\\_ulcumano.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/494/1/Garcia-propiedades_ulcumano.pdf)

Gerencia Regional y de Fauna Silvestre. (2023). Registro de plantaciones. Recuperado el 7 de mayo de 2023, de <https://gerffsregionucayali.org/OtrosOpcion?opcion=Plantaciones>



Giménez, A.; Lopez, C. (2000). Caracteres anatómicos que determinan la variabilidad del leño de *Schinopsis quebracho-colorado* (Schlecht.) Barkl et meyer, Anacardiaceae. Revista Investigación Agraria, 9(2), 219-235.

Gomes, A. (2006). Avaliação qualidade da madeira de híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* para produtos sólidos. Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, Brasil.

Gomes Gonçalves, F., Tarcísio, J., Oliveira, S., Marius, R., Lucia, D., & Sartório, R. C. (2009). Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore, 33(3), 501-509.

Gominho, J., Figueira, J., Rodrigues, J., & Pereira, H. (2001). Within-tree variation of hardwood, extractives and wood density in the Eucalypt hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). Wood and Fiber Science, 33(1), 3-8.

Gonçalez, J., Leitao, G., Gomes, F., Soares, I., & De Almeida, J. (2014). Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. Scientia Forestalis, 42(101), 81-89. Piracicaba, Brasil.

Gouma, R., Bouvet, J. M., Vigneron, P., & Kimbouma, N. (2000). Conservación ex situ de recursos genéticos en el Congo: Casos de dos especies introducidas: *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urophylla*. Recursos genéticos N° 28. FAO. Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/3/X9662S05.htm> en marzo del 2020.

Guardia, P., Caballero, J., & Barriola, J. (s.f.). Manual técnico de formación para la caracterización de madera de uso estructural. TKNIKA Centro de innovación de la formación profesional. Gobierno Vasco. Recuperado el 7 de mayo de 2022, de <https://normadera.tknika.eus/es/content/clasificaci%C3%B3n-y-proceso-de-caracterizaci%C3%B3n-de-la-madera-estructural.html>

Hein, P. R. G., Silva, J. R. M., & Brancheriau, L. (2013). Correlations among microfibril angle, density, modulus of elasticity, modulus of rupture and shrinkage in 6-year-old

eucalyptus urophylla × e. grandis. Maderas: Ciencia y Tecnología, 15(2), 171–182.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000014>

Meza, A., & Torres, G. (2006). El raleo: una operación silvicultural fundamental. Kuru: Revista forestal, 3(8), 3. Tecnológico de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Martinez, R., Azpiroz, H., Rodriguez, J.L., Cetina, V., Gutierrez, M.A., & Sahun, J. (2005). Micropropagacion clonal in vitro en Eucalyptus grandis y Eucalyptus urophylla. Ra Ximhai, enero-abril, 1(1), 19. Universidad Autonoma Indigena de Mexico. Sinaloa, Mexico.

Martinez, C. (2018). Evaluación de las propiedades físicas-químicas de Eucalyptus urograndis en el sector de Fumisa, Cantón Buena Fe, Provincia de los Ríos. Tesis de Pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Obtenido de: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8503/1/33T0176.pdf>

Martinez, H. (2015). Eucalipto (Eucalyptus spp.): condiciones para su cultivo "Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono". Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. Recuperado de <https://www.onfcr.org/wp-content/uploads/media/uploads/documents/genero-eucalipto.pdf>

Melendez, M. (2011). Propiedades mecánicas de las maderas de Diplotropis sp., Otoba parvifolia, Peltogyne sp., Virola albidiflora y Vochysia sp. Provenientes de las cuencas de los ríos Nanay y Napo. Tesis de Pre grado. Universidad Nacional Agraria La Molina

Mendoza, R. (2015). Anatomía y propiedades físicas de la madera de Eucalyptus urograndis H.B.K. Oxapampa- Pasco. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. 77 p.

Moreschi, J. (2005). Propriedades tecnológicas da madeira. Universidad Federal do Paraná. Recuperado el 7 de mayo de 2020, de <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>

Morgado, R.; Gutierrez, L.; Garcia, P.; Tairis, M.; Gomez, L.; Velasquez, J. (2010). Variación longitudinal del peso específico en la madera de *Centrolobium paraense* Tul. (Fabaceae). Revista Forestal venezolana. Año XLIV. Vol 54 (2) Junio-diciembre. pp. 227-234. Bolivar, Venezuela. Obtenido de: [http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/32527/art9\\_ramonmorgado.pdf;jsessionid=305F511AB6684BD72EAF77EAB1D9D8CD?sequence=1](http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/32527/art9_ramonmorgado.pdf;jsessionid=305F511AB6684BD72EAF77EAB1D9D8CD?sequence=1).

Municipalidad de Coronel Portillo. (2017) . Actualización del plan de desarrollo urbano de Coronel Portillo. 2017-2027. Formato PDF. Obtenido de: [https://www.municportillo.gob.pe/images/pdf/doc2018/pdu17-27/memoriad/dp\\_p5.pdf](https://www.municportillo.gob.pe/images/pdf/doc2018/pdu17-27/memoriad/dp_p5.pdf)

NTP 251.010:2004. (2004). Método de determinación de contenido de humedad.

NTP 251.011:2004. (2004). Método de determinación de densidad

NTP 251.012:2004. (2004). Método de determinación de contracción

NTP 251.013:2004. (2004). Método de determinación de cizallamiento paralelo al grano

NTP 251.014:2004. (2004). Método de determinación de compresión paralela al grano

NTP 251.015:2004. (2004). Método de determinación de dureza

NTP 251.016:2004. (2004). Método de determinación de compresión perpendicular al grano

NTP 251.017:2004. (2004). Método de determinación de flexión estática

NTP 251.018:2004. (2004). Método de determinación de tenacidad

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016) Norma Técnicas Peruanas de Madera. NTP 251-008:2016. MADERA Y CARPINTERÍA PARA CONSTRUCCIÓN. Selección y colección de muestras. Pág. 18.

Nunes, A.; Santos, H.; Fernandes, S.; Moreira, A.; Pereira, E.; Campos, T.; Bueno, C.; Maria, F. (2015). Caracterizacao das propriedades físicas de madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. II Congresso Brasileiro de Ciencia e Tecnologia da Madeira Belo Horizonte II CBCTEM. Brasil. 8 pp.

Obregon, C; Restrepo, N. (2006). El Eucalipto, una opción de alta rentabilidad. Revista M&M. N°53. pp14-20.

Paillacho, C. (2010). Evaluación del crecimiento inicial de *Eucalyptus urograndis*, *Gmelina arborea* Roxb y *Ochroma pyramidale* Cav bajo la aplicación de cuatro dosis de potasio en la Hacienda Zoila Luz del Canton Santo Domingo. Tesis de Maestría. Escuela Politécnica del Ejército. Obtenido de formato PDF en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/2966/T-%20ESPE-IASA%20II-002329.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pérez, V. (1983). Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Santiago, Chile: Corporación Nacional Forestal.

Pereira B., J. L. (2008). Estabilidade fenotípica de clone de *Eucalyptus urograndis*, NA FAZENDA BOM JARDIM – APARECIDA – SP. Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Obtenido de: [http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/Jose\\_Lucio\\_Pereira\\_Braga.pdf](http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/Jose_Lucio_Pereira_Braga.pdf)

Quispe, A. y Ramos, A. (2019). Técnicas de rejuvenecimiento en árboles clonales de eucalipto *urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) en Palca Tarma- Junin. Revista Xilema, (29), 36-46. Recuperado de <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/xiu/article/view/1348/1536>

Rivera, J. (2014). Variación del contenido de humedad y cambio dimensional en diferentes alturas de fuste de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en la zona Tingo Maria. Tesis para Pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria, Peru. Obtenido de: <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/619/T.FRS-223.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Scanavaca, L., José, J., & Garcia, N. (2004). Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*. Vol.65 (120-129)

Shmulsky, R. y Jones, P.D. (2011). *Forest Products and Wood Science: An Introduction* 6th edition. Wiley-Blackwell. UK.

Silva, J. (2011). *Eucalipto, Manual Prático do Fazendeiro Florestal Produzindo Madeira com Qualidade*. Vicosa, Brasil: 3 ed.

Silvestre, M. y Torres, F. (2003). Contribución al conocimiento tecnológico de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill y *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake proveniente de plantaciones forestales comerciales de 7 años de edad de las Choapas, Veracruz, MEX. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.

Simkunas, T. (2012). *Avaliação das madeiras de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla e Acacia mearnsii para a produção de celulose Kraft pelos processos convencional e Lo-Solids®*. Universidade de Sao Paulo. Piracicaba, Brasil. 100 pp.

Soares, J; Mendes, G; Soares de Souza, J; De Alcantara, P. (2016). *Avaliação de propriedades mecânicas da madeira de Eucalyptus urograndis secos*. Universidade do Vale do Paraíba. Brasil. 6 pp. Obtenido de: [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2016/anais/arquivos/0666\\_0658\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0666_0658_01.pdf)

Spavento, E., Keil, G., & Monteoliva, S. (2008). *Propiedades Mecánicas de la Madera*. Universidad Nacional de la Plata. La Plata: Curso de Xilotecnología. Obtenido de <https://docplayer.es/54470950-Propiedades-mecanicas-de-la-madera.html>

The Wood Database. (2017). Lyptus® | The Wood Database - Lumber Identification (Hardwood). <https://www.wood-database.com/lyptus/>

TAPPI. (1996). Sampling and preparing Wood for análisis. Tappei test methods. Atlanta, USA. Press.

Valdez, J.; Delgado, F.; Pillco, C.; Rodriguez, K. (2020). Biomasa y contenido de nutrientes en plantaciones forestales de *E. urograndis* (Ucayali). Revista de Innovacion y transparencia productiva- RITP. Vol. 1(1), enero-Junio. Recuperado de <https://revistas.itp.gob.pe/index.php/ritp/article/view/4/45>

Vaz de Arruda, R.L.; Narnita, E.; Sgarbi, F.; Almeida, MR (2001). Seja Doutor do Seu Eucalipto. Arquivo del agrónomo N°12. Brasil. 32 pp.

Vignote, S. y Martinez, I. (2006). Tecnología de la madera. 3era edición. Madrid, España: Ediciones Mundi Prensa. ISBN: 84-8476-263-7. 678 pp.

Vilcayauri, B. (2018). Propiedades de la madera de Marupa (Simarouba amara Aubl.) [PDF]. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Recuperado de [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/496/1/Vilcayauri-propiedades\\_marupa.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/496/1/Vilcayauri-propiedades_marupa.pdf)

Vinueza (2012). Ficha Técnica No 10: EUCALIPTO. Ecuador forestal. Recuperado de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-10-eucalipto/>

Wimmer, R., Downes, G., Evans, R., & French, J. (2008). Effects of site on fibre, kraft pulp and handsheet properties of *Eucalyptus globulus*. *Annals of Forest Science*, 65(6), 602–602. <https://doi.org/10.1051/forest:2008039>

Winck, A., Fassola, H., & Área, M. (2015). Efecto del raleo sobre las propiedades anatómicas de la madera de *Pinus taeda*. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 17(2), 391-406.

Winnacker, K., & Weingaertner, E. (1958). Tecnologia química: química industrial organica. Editorial Gustavo Gili. Madrid, España. 633 pp.

Xavier, G. S. (2013). Influência de tratamentos térmicos em duas propriedades mecânicas das madeiras de Pinus sp. e Eucalyptus urograndis. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal. Recuperado de [http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4827/1/2013\\_GabrieladaSilvaXavier.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4827/1/2013_GabrieladaSilvaXavier.pdf)

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Análisis estadístico de las propiedades físicas y mecánicas

Anexo 1.1. Análisis estadístico para el ensayo de densidad básica y las diferentes posiciones longitudinales

La densidad básica solo se contrastó con la variable “posición longitudinal” se realizó un ANOVA para el diseño factorial. El modelo es el siguiente:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, p$$

Donde:

$Y_i$ : es el valor de DENSIDAD BÁSICA observado en el  $i$ -ésimo nivel de corte.

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del  $i$ -ésimo posición longitudinal

$\varepsilon_i$ : error experimental en el  $i$ -ésimo posición longitudinal

$p$ : numero de niveles de posición longitudinal

Posteriormente, se realizó el cumplimiento de los supuestos entre las variables mediante la normalidad del error, homogeneidad de variancias y la prueba ANOVA.



Supuesto: *Todas las medias de densidad básica a diferentes posiciones longitudinales (A, B, C y D) no presentan diferencias*

$$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

$$H_a: \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C \neq \mu_D$$

Donde:

p-valor <  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Rechaza  $H_0$

p-valor >  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Acepta  $H_0$

a. Normalidad del error

<b>Test de normalidad</b>	Shapiro-Wilk
<b>W</b>	0,98024
<b>p-valor</b>	0,2595

b. Homogeneidad de variancias

<b>Prueba de puntaje de varianza no constante</b>	
<b>Chi<sup>2</sup></b>	0,4509817
<b>Df</b>	1
<b>p</b>	0,5018691

c. ANOVA

Tabla de análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	Fvalor	Pr(>F)
Pos.long.	3	0,005803	0,0019345	0,5658	0,63937
Arbol	4	0,027749	0,0069373	2,0289	0,09954 .
Residuales	71	0,242765	0,0034192		

Anexo 1.2. Análisis estadístico para el ensayo de contracción tangencial, radial y volumétrica y las diferentes posiciones longitudinales

La CONTRACCIÓN TANGENCIAL, CONTRACCIÓN RADIAL y CONTRACCIÓN VOLÚMETRICA se contrastaron con la variable “posición longitudinal” se realizó un ANOVA para el diseño factorial. El modelo es el siguiente:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, p$$

Donde:

$Y_i$ : es el valor de CONTRACCIÓN TANGENCIAL, CONTRACCIÓN RADIAL y CONTRACCIÓN VOLÚMETRICA observado en el  $i$ -ésimo nivel de corte.

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del  $i$ -ésimo posición longitudinal

$\varepsilon_i$ : error experimental en el  $i$ -ésimo posición longitudinal

$p$ : numero de niveles de la posición longitudinal

Posteriormente, se realizó el cumplimiento de los supuestos entre las variables mediante la normalidad del error, homogeneidad de variancias y la prueba ANOVA.

Supuesto: *Todas las medias de contracción tangencial, contracción radial y contracción volumétrica a diferentes posiciones longitudinales (A, B, C y D) no presentan diferencias*

$$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

$$H_a: \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C \neq \mu_D$$

Donde:

p-valor <  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Rechaza  $H_0$

p-valor >  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Acepta  $H_a$

a. Normalidad del error

	<b>Contracción tangencial</b>	<b>Contracción radial</b>	<b>Contracción volumétrica</b>
<b>Test de normalidad</b>	Shapiro-Wilk	Shapiro-Wilk	Shapiro-Wilk
<b>W</b>	0,98524	0,98702	0,98024
<b>p-valor</b>	0,7613	0,815	0,2595

b. Homogeneidad de variancias

	Contracción tangencial	Contracción radial	Contracción volumétrica
<b>Chi<sup>2</sup></b>	0,005246716	1,589092	0,4509817
<b>Df</b>	1	1	1
<b>P</b>	<i>0,9422564</i>	<i>0,207456</i>	<i>0,5018691</i>

c. ANOVA

c.1. Contracción tangencial

Tabla de análisis de varianza					
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Pos. Long.	3	7,392	2,4641	0,5254	0,6668
Residuales	51	239,205	4,6903		

c.2. Contracción radial

Tabla de análisis de varianza					
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Pos. Long.	3	7,04	2,3467	0,5603	0,6437
Residuales	51	213,62	4,1886		

### c.3. Contracción volumétrica

Tabla de análisis de varianza

	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Pos. Long.	3	15,22	5,0742	0,6029	0,6161
Residuales	51	429,21	8,4158		

Anexo 1.3. Análisis estadístico para el ensayo de flexión estática y las diferentes posiciones longitudinales

El MOE, MOR y ELP se contrastó con la variable “posición longitudinal” se realizó un ANOVA para el diseño factorial. El modelo es el siguiente:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, p$$

Donde:

$Y_i$ : es el valor de MOE, MOR y ELP observado en el  $i$ -ésimo posición longitudinal.

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del  $i$ -ésimo posición longitudinal

$\varepsilon_i$ : error experimental en el  $i$ -ésimo posición longitudinal

$p$ : numero de niveles de posición longitudinal

Posteriormente, se realizó el cumplimiento de los supuestos entre las variables mediante la normalidad del error, homogeneidad de variancias y la prueba ANOVA.

Supuesto: *Todas las medias de MOE, MOR y ELP de flexión estática a diferentes posiciones longitudinales (A, B, C y D) no presentan diferencias*

$$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

$$H_a: \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C \neq \mu_D$$

Donde:

p-valor <  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Rechaza  $H_0$

p-valor >  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Acepta  $H_0$

a. Normalidad del error

	Módulo de elasticidad (MOE)	Módulo de ruptura (MOR)	Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)
Test de normalidad	Shapiro-Wilk	Kruskal-Wallis	Shapiro-Wilk
W/ Chi-cuadrada	0,96326	3,1377	0,97332
df		3	
p-valor	0,2537	0,3709	0,09244

b. Homogeneidad de variancias

Prueba de puntaje de varianza no constante			
	Módulo de elasticidad (MOE)	Módulo de ruptura (MOR)	Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)
Chi <sup>2</sup>	0,5403099		0,006455827

<b>Df</b>	1	1	1
<b>P</b>	046235	0,3709	0,9359604

c. ANOVA

c.1. Módulo de elasticidad (MOE)

Tabla de análisis de varianza					
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Pos. long	3	1,1949e+20	3,9829e+19	3,1123	0,03142 *
Residuales	73	9,3418e+20	1,2797e+19		

c.2. Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

Tabla de análisis de varianza					
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Pos. long	3	44425	14808,2	1,5861	0,1997
Residuales	76	709565	9336,4		

Anexo 1.4. Análisis estadístico para el ensayo de compresión paralela al grano y las diferentes posiciones longitudinales

El MOE, MOR y ELP de compresión paralela al grano se contrastó con la variable “posición longitudinal” se realizó un ANOVA para el diseño factorial. El modelo es el siguiente:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, p$$

Donde:

$Y_i$ : es el valor de MOE, MOR y ELP de compresión paralela al grano observado en el  $i$ -ésimo posición longitudinal.

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del i-ésimo posición longitudinal

$\varepsilon_i$ : error experimental en el i-ésimo posición longitudinal

$p$ : numero de niveles de posición longitudinal

Posteriormente, se realizó el cumplimiento de los supuestos entre las variables mediante la normalidad del error, homogeneidad de variancias y la prueba ANOVA.

Supuesto: *Todas las medias de MOE, MOR y ELP de compresión paralela al grano a diferentes posiciones longitudinales (A, B, C y D) no presentan diferencias*

$$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

$$H_a: \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C \neq \mu_D$$

Donde:

p-valor <  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Rechaza  $H_0$

p-valor >  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Acepta  $H_0$

a. Normalidad del error

	Módulo de elasticidad (MOE)	Módulo de ruptura (MOR)	Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)
Test de normalidad	Kruskal-Wallis	Shapiro-Wilk	Shapiro-Wilk
W/ Chi-cuadrada	0,7804	0,98185	0,98628



<b>df</b>	3		
<b>p-valor</b>	0,8542	0,1702	0,37

b. Homogeneidad de variancias

<b>Prueba de puntaje de varianza no constante</b>			
	<b>Módulo de elasticidad (MOE)</b>	<b>Módulo de ruptura (MOR)</b>	<b>Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)</b>
<b>Chi<sup>2</sup></b>	0,7804	0,1285924	0,03633101
<b>Df</b>	3	1	1
<b>P</b>	0,8542	0,7198959	0,84883

c. ANOVA

c.1. Módulo de elasticidad (MOR)

Tabla de análisis de varianza						
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)	
Sección	3	10617	3538,9	1,3045	0,2773	
Residuales	99	268575	2712,9			

c.2. Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

Tabla de análisis de varianza						
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)	
Pos. long	3	10621	3540,4	1,298	0,2794	
Residuales	99	270020	2727,5			

Anexo 1.5. Análisis estadístico para el ensayo de compresión perpendicular al grano y las diferentes posiciones longitudinales

El ESFUERZO AL LIMITE PROPORCIONAL de compresión perpendicular al grano se contrastó con la variable “posición longitudinal” se realizó un ANOVA para el diseño factorial. El modelo es el siguiente:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, p$$

Donde:

$Y_i$ : es el valor de ELP de compresión perpendicular al grano observado en el  $i$ -ésimo posición longitudinal

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del  $i$ -ésimo posición longitudinal

$\varepsilon_i$ : error experimental en el  $i$ -ésimo posición longitudinal

$p$ : numero de niveles de posición longitudinal

Posteriormente, se realizó el cumplimiento de los supuestos entre las variables mediante la normalidad del error, homogeneidad de variancias y la prueba ANOVA.

Supuesto: *Todas las medias de ELP de compresión perpendicular al grano a diferentes posiciones longitudinales (A,B,C y D) no presentan diferencias*

$$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

$$H_a: \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C \neq \mu_D$$

Donde:

p-valor <  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Rechaza  $H_0$

p-valor >  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Acepta  $H_0$

a. Normalidad del error

	<b>Esfuerzo en el límite proporcional (ELP)</b>
<b>Test de normalidad</b>	Shapiro-Wilk
<b>W</b>	0,97682
<b>p-valor</b>	0,4967

b. Homogeneidad de variancias

<b>Prueba de puntaje de varianza no constante</b>	
<b>Chi<sup>2</sup></b>	0,5751092
<b>Df</b>	1
<b>P</b>	0,44824

c. ANOVA

Tabla de análisis de varianza						
		GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Pos. long	3	20,294	6,7646	1,1661	0,3343	
Residuales	41	237,845	5,8011			

Anexo 1.6. Análisis estadístico para el ensayo de dureza y diferentes posiciones longitudinales

Los VALORES DE DUREZA EN EXTREMOS Y LADOS se contrasto con la variable “posición longitudinal” se realizó un ANOVA para el diseño factorial. El modelo es el siguiente:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, p$$

Donde:

$Y_i$ : es el valor de DUREZA EN EXTREMOS Y LADOS observado en el i-ésimo posición longitudinal.

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del i-ésimo posición longitudinal

$\varepsilon_i$ : error experimental en el i-ésimo posición longitudinal

$p$ : numero de niveles de la posición longitudinal

Posteriormente, se realizó el cumplimiento de los supuestos entre las variables mediante la normalidad del error, homogeneidad de variancias y la prueba ANOVA.

Supuesto: *Todas las medias de DUREZA EN EXTREMOS Y LADOS a diferentes posiciones longitudinales (A, B, C y D) no presentan diferencias*

$$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

$$H_a: \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C \neq \mu_D$$

Donde:

$p\text{-valor} < \alpha = 0,05 \rightarrow$  Rechaza  $H_0$

$p\text{-valor} > \alpha = 0,05 \rightarrow$  Acepta  $H_0$

a. Normalidad del error

	<b>Extremos</b>	<b>Lados (Radial)</b>	<b>Lados (tangencial)</b>
<b>Test de normalidad</b>	Shapiro-Wilk	Shapiro-Wilk	Shapiro-Wilk
<b>W</b>	0,99329	0,96153	0,97001
<b>p-valor</b>	<i>0,9956</i>	<i>0,1397</i>	<i>0,2899</i>

b. Homogeneidad de variancias

<b>Prueba de puntaje de varianza no constante</b>			
	<b>Extremos</b>	<b>Lados (Radial)</b>	<b>Lados (tangencial)</b>
<b>Chi<sup>2</sup></b>	3,105237	0,0680662	6,11618
<b>Df</b>	1	1	1
<b>P</b>	<i>0,07804088</i>	<i>0,7941735</i>	<i>0,01339499</i>

c. ANOVA

c.1. Extremos

Tabla de análisis de varianza					
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Pos. long	3	69131	23044	2,2179	0,1005
Residuales	41	425989	10390		

c.2. Lados (radial)

Prueba de rangos "Kruskal-Wallis"
data: tangencial por posición
Kruskal-Wallis Chi cuadrada = 2,4341, df = 3, p-valor = 0,4873

c.3. Lados (tangencial)

Tabla de análisis de varianza					
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Pos. long	3	28959	9653,1	0,4676	0,7065
Residuales	41	846413	20644,2		

Anexo 1.7. Comparación de medias por cara de prueba (TG/RD/Ext)

a. Normalidad del error

	<b>Extremos</b>
<b>Test de normalidad</b>	Shapiro-Wilk
<b>W</b>	0,99161
<b>p-valor</b>	0,6233

b. Homogeneidad de variancias

Prueba de rangos "Kruskal-Wallis"

data: dz por posicion

Kruskal-Wallis chi-cuadrada = 0,11466, df = 2, p-valor = 0,9443

Anexo 1.8. Análisis estadístico para el ensayo de cizallamiento paralelo al grano en sus caras tangenciales y radiales

Se realizó el cumplimiento de los supuestos entre la homogeneidad de variancias.

Supuesto: *Todas las medias de RESISTENCIA al cizallamiento paralelo al grano en las caras tangenciales y radiales no presentan diferencias*

$$H_0: \mu_R = \mu_T$$

$$H_a: \mu_R \neq \mu_T$$

Donde:

p-valor <  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Rechaza  $H_0$

p-valor >  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Acepta  $H_0$

a. Normalidad de error

Prueba T de dos muestras	
<b>t</b>	0,98322
<b>Df</b>	86
<b>P</b>	0,3139

b. Homogeneidad de variancias

Prueba de puntaje de varianza no constante	
<b>Chi<sup>2</sup></b>	0,5402099
<b>Df</b>	1
<b>P</b>	0,46235

c. ANOVA

Tabla de análisis de varianza					
Corresponde: CIZ <sup>2</sup>					
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Orientación	1	15754741	15754741	2,2257	0,1394
Residuales	86	608758509	7078587		

Anexo 1.9. Análisis estadístico para el ensayo de tenacidad y diferentes posiciones longitudinales

La TENACIDAD solo se contrasto con la variable “posición longitudinal” se realizó un ANOVA para el diseño factorial. El modelo es el siguiente:



$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, p$$

Donde:

$Y_i$ : es el valor de TENACIDAD observado en el  $i$ -ésimo posición longitudinal.

$\mu$ : efecto de la media general

$\alpha_i$ : efecto del  $i$ -ésimo posición longitudinal

$\varepsilon_i$ : error experimental en el  $i$ -ésimo posición longitudinal

$p$ : numero de niveles de posición longitudinal

Posteriormente, se realizó el cumplimiento de los supuestos entre las variables mediante la normalidad del error, homogeneidad de variancias y la prueba ANOVA.

Supuesto: *Todas las medias de tenacidad a un nivel no presentan diferencias*

$$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

$$H_a: \mu_A \neq \mu_B = \mu_C = \mu_D$$

Donde:

p-valor <  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Rechaza  $H_0$

p-valor >  $\alpha = 0,05 \rightarrow$  Acepta  $H_0$

a. Normalidad del error

<b>Test de normalidad</b>	Shapiro-Wilk
<b>W</b>	0,9836
<b>p-valor</b>	0,2221

b. Homogeneidad de variancias

<b>Prueba de puntaje de varianza no constante</b>	
<b>Chi<sup>2</sup></b>	0,2983079
<b>Df</b>	1
<b>p</b>	0,5849

c. ANOVA

Tabla de análisis de varianza					
Corresponde: TENACIDAD					
	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Sección	1	0,953	0,95290	2,0378	0,1565
Residuales	103	48,165	0,46762		

## Anexo 2: Clasificación de las propiedades físicas y mecánicas

### - Clasificación de las propiedades físicas

PROPIEDAD	CLASIFICACIÓN		FUENTE		
DENSIDAD BÁSICA (g/cm <sup>3</sup> )	<0,26	excepcionalmente baja			
	0,27-0,38	baja			
	0,39-0,56	media			
	0,57-0,7	alta			
	0,71-0,89	muy alta			
	>0,9	excepcionalmente alta			
CONTRACCIÓN		cond. anhidra	cond. 12%		
	TANGENCIAL	<3,5	<2,5	Muy baja	Fuentes (s.f.), mencionado por Silvestre y Torres (2003)
		3,6-5,0	2,6-4,0	Baja	
		5,1-6,5	4,1-5,0	Media	
		6,6-8,0	5,6-7,0	Alta	
		>8,1	>7,1	Muy alta	
	RADIAL	<2,0	<1,0	Muy baja	
		2,1-3,0	1,1-2,1	Baja	

	3,1-4,0	2,1-3,0	Media
	4,1-5,0	3,1-4,0	Alta
	>5,1	>4,1	Muy alta
	<7,5	<4,1	Muy baja
	7,6-10,0	4,2-5,6	Baja
VOLUMÉTRICA	10,1-15,0	5,7-8,5	Media
	15,1-19,0	8,6-10,8	Alta
	>19,1	>10,9	Muy alta
	<1,5	muy estable	
	1,5-2,00	estable	
T/R	2,00-2,50	moderadamente estable	Ordoñez (1964), mencionado por Silvestre y Torres (2003)
	2,50-3,00	inestable	
	>3,00	muy inestable	

- Clasificación de las propiedades mecánicas

PROPIEDAD	CLASIFICACIÓN		FUENTE
	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	
FLEXIÓN ESTÁTICA	<400	<70 000	Muy bajo
	401-900	71000-100000	Bajo
	901-1350	101000-150000	Medio
	1351-1800	151000-200000	Alto
	>1800	>200000	Muy alto
	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )		
COMPRESIÓN PARALELA	<300		Muy baja
	301-450		Baja
	451-700		Media
	701-950		Alta
	>950		Muy alta
	ELP (kg/cm <sup>2</sup> )		
COMPRESIÓN PERPENDICULAR	<35		Muy baja
			Fuentes (1998), Mencionado

	35-75	Baja	por Silvestre y Torres (2003)
	76-120	Media	
	121-175	Alta	
	>175	Muy alta	
	Rango (kg)		
	<200	Muy baja	
DUREZA	201-400	Baja	Fuentes (1998), mencionado por Silvestre y Torres (2003)
	401-800	Media	
	801-1200	Alta	
	>1200	Muy alta	
		Rango (kg/cm <sup>2</sup> )	
CIZALLAMIENTO	50-70	Baja	Novelo (1964), mencionado por Silvestre y Torres (2003)
	70-100	Media	
	100-160	Alta	

### **Anexo 3: Coeficientes de correlación para las propiedades**

<b>Coeficiente de correlación ( R )</b>	<b>Clasificación</b>
0,2-0,3	Muy bajo
0,4-0,5	Bajo
0,6-0,7	Alto
0,8-1,0	Muy alto

#### **Anexo 4: Requisitos mínimos de uso para la madera en condición verde**

Según Meléndez (2011); Vignote y Martínez (2006); Arostegui (1982) y Dávalos y Bárcenas (1999)

##### 1. Crucetas

Densidad básica de 0,55 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>

Resistencia a la flexión estática: MOR  $\geq$  365 kg/cm<sup>2</sup> y MOE  $\geq$  76000 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la compresión paralela: RM  $\geq$  258 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la compresión perpendicular: ELP  $\geq$  16,8 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia al cizallamiento  $\geq$  61 kg/cm<sup>2</sup>

Buena durabilidad natural o fácil preservación

##### 2. Parihuelas para carga liviana

Densidad básica de 0,35 a 0,50 g/cm<sup>3</sup>

Índice de estabilidad menor o igual a 2,2

MOR en flexión  $\geq$  237 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la compresión perpendicular: ELP  $\geq$  15 kg/cm<sup>2</sup>

Dureza  $\geq$  196 kg/cm<sup>2</sup>



### 3. Parihuelas para carga pesada

Densidad básica de 0,50 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>

Índice de estabilidad menor o igual a 2,2

MOR en flexión  $\geq 356$  kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la compresión perpendicular: ELP  $\geq 41$  kg/cm<sup>2</sup>

Dureza  $\geq 306$  kg/cm<sup>2</sup>

### 4. Durmientes de madera

Densidad básica  $\geq 0,60$  g/cm<sup>3</sup>

índice de estabilidad  $\leq 2,2$

Compresión paralela: MOR  $\geq 307$  kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia a la compresión perpendicular: ELP  $\geq 54$  kg/cm<sup>2</sup>

Dureza lateral  $\geq 378$  kg

Bajo porcentaje de sílice

Buena durabilidad natural o factible de preservarse

### 5. Pisos de madera

Densidad básica  $\geq 0,60$  g/cm<sup>3</sup>

Índice de estabilidad  $\leq 1,6$

Dureza  $\geq 313$  kg

Buena durabilidad natural y buen comportamiento a la trabajabilidad

Buen comportamiento de secado

## 6. Estructuras

Densidad básica de 0,4 a 0,8 g/cm<sup>3</sup>

Moderada o baja contracción volumétrica:  $\leq 12\%$

Buena estabilidad dimensional, relación T/R  $\leq 2$

Flexión estática: MOE  $\geq 96\ 000$  kg/cm<sup>2</sup> y MOR  $\geq 591$  kg/cm<sup>2</sup>

Compresión paralela a la fibra: MOR  $\geq 307$  kg/cm<sup>2</sup>

Compresión perpendicular a la fibra: ELP  $\geq 47$  kg/cm<sup>2</sup>

Cizallamiento  $\geq 36$  kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia al ataque de hongos e insectos o fácil de preservar

## 7. Mobiliario escolar

Densidad básica: 0,45-0,70 g/cm<sup>3</sup>

Flexión estática: MOE  $\geq 70\ 000$  kg/cm<sup>2</sup> y MOR  $\geq 438$  kg/cm<sup>2</sup>

Compresión perpendicular a la fibra:  $ELP \geq 34 \text{ kg/cm}^2$

Cizallamiento  $\geq 50 \text{ kg/cm}^2$

Dureza lateral  $\geq 283 \text{ kg/cm}^2$

#### 8. Muebles en general

Liviano o moderadamente pesado (densidad básica:  $0,30-0,60 \text{ g/cm}^3$ )

Buen comportamiento al trabajo de máquinas de carpintería

Buen comportamiento al secado, contracción volumétrica  $\leq 12\%$  y  $T/R \leq 2,0$

Buena apariencia

#### 9. Ebanistería

Densidad básica:  $0,40 - 0,60 \text{ g/cm}^3$

Estabilidad dimensional: contracción volumétrica  $\leq 12\%$  y  $T/R \leq 2,0$

Dureza  $\geq 290 \text{ kg/cm}^2$

Buen comportamiento al trabajo en máquinas en carpintería

Buen comportamiento al secado

De buena apariencia, acabado y comportamiento al encolado

#### 10. Carpintería interior

Densidad básica:  $0,40 - 0,60 \text{ g/cm}^3$

Flexión estática:  $\text{MOE} \geq 96\,000 \text{ kg/cm}^2$  y  $\text{MOR} \geq 615 \text{ kg/cm}^2$

Alta resistencia a la compresión paralela:  $\text{RM} \geq 307 \text{ kg/cm}^2$

Estabilidad dimensional:  $\text{contracción volumétrica} \leq 12\%$  y  $\text{T/R} \leq 2,0$

Buen comportamiento al trabajo con máquinas de carpintería

Buena apariencia, textura media a fina y uniforme

De acabado bueno a regular

Buen comportamiento al encolado

#### 11. Carpintería exterior (revestimiento)

Densidad básica:  $0,40 - 0,60 \text{ g/cm}^3$

Flexión estática:  $\text{MOR} \geq 356 \text{ kg/cm}^2$

Dureza  $\geq 254 \text{ kg/cm}^2$

Compresión paralela:  $\text{RM} \geq 365 \text{ kg/cm}^2$

Estabilidad dimensional:  $\text{contracción volumétrica} \leq 12\%$  y  $\text{T/R} \leq 2,0$

Resistencia al deterior por acción atmosférica

Baja absorción de humedad

Alto grado de permeabilidad

Alta resistencia al ataque de hongos e insectos

#### 12. Cajonería liviana

Densidad básica: 0,30 - 0,50 g/cm<sup>3</sup>

Flexión estática: MOR  $\geq$  264 kg/ cm<sup>2</sup>

Fácil aserrío

Exenta de olores y secreciones

#### 13. Cajonería pesada

Densidad básica: 0,50 - 0,70 g/cm<sup>3</sup>

Flexión estática: MOR  $\geq$  440 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia al ataque de hongos e insectos

Fácil aserrío

Exenta de olores y secreciones

#### 14. Encofrados

Densidad básica: 0,40 – 0,60 g/cm<sup>3</sup>

Flexión estática: MOR  $\geq$  375 kg/cm<sup>2</sup>

Compresión perpendicular:  $ELP \geq 13 \text{ kg/cm}^2$

Compresión paralela:  $RM \geq 238 \text{ kg/cm}^2$

Cizallamiento  $\geq 46 \text{ kg/cm}^2$

Dureza lateral  $\geq 206 \text{ kg/cm}^2$

Estabilidad dimensional: contracción volumétrica  $\leq 12\%$  y  $T/R \leq 1,60$

Buen comportamiento al secado, baja absorción a la humedad

#### 15. Laminado

Facilidad para el encolado

Buen comportamiento al sedo

Estabilidad dimensional: contracción volumétrica  $\leq 12\%$  y  $T/R \leq 2,00$

Proceder de árboles de diámetros adecuados con alta proporción de madera  
limpias

Buen veteado

Ausencia de sílice

#### 16. Tejas

Estabilidad dimensional: contracción volumétrica  $\leq 12\%$  y  $T/R \leq 2,00$

Baja absorción de humedad, resistencia al deterioro por la acción atmosférica

Buen comportamiento al trabajo con máquinas de carpintería

### 17. Mangos de herramientas y artículos deportivos

Densidad básica:  $0,40 - 0,60 \text{ g/cm}^3$

Flexión estática:  $\text{MOR} \geq 501 \text{ kg/cm}^2$  y  $\text{MOE} \geq 77\,000 \text{ kg/cm}^2$

Compresión paralela:  $\text{RM} \geq 196 \text{ kg/cm}^2$

Dureza lateral  $\geq 433 \text{ kg/cm}^2$

Cizallamiento  $\geq 45 \text{ kg/cm}^2$

Grano recto, buena apariencia

### 18. Construcción naval

- Cubierta

Buen comportamiento al secado

Estabilidad dimensional:  $\text{contracción volumétrica} \leq 12\%$  y  $\text{T/R} \leq 2,00$

Dureza  $\geq 650 \text{ kg/cm}^2$

Baja absorción de humedad

Resistente al ataque de hongos e insectos o fácil de tratar

- Quillas

Densidad básica: 0,60 – 0,80 g/cm<sup>3</sup>

Dureza  $\geq 650$  kg/cm<sup>2</sup>

Flexión estática: MOR  $\geq 474$  kg/cm<sup>2</sup>

Estabilidad dimensional: contracción volumétrica  $\leq 12\%$  y T/R  $\leq 2,00$

#### 19. Artesanías o madera torneada

Moderadamente pesada y dura (densidad básica 0,40 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>)

Resistente al ataque de hongos e insectos o fácil de preservar

Buen acabado (textura de media a fina)

Buen comportamiento al torneado

#### 20. Carrocerías

Densidad básica entre 0,60 - 0,80 g/cm<sup>3</sup>

Alta resistencia a la flexión: MOR  $\geq 650$  kg/cm<sup>2</sup>

Buen comportamiento al secado

Relación T/R  $\leq 2,00$

Buen comportamiento a los clavos y tornillos



**Anexo 5: Rangos de clasificación de las maderas según sus propiedades físicas y mecánicas según Arostegui (1982)**

Grupo	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas (kg/cm <sup>2</sup> ; kg <sup>1</sup> )					Clasificación
	DB (g/cm <sup>3</sup> )	CV %	Flexión estática (MOR)	Compresión paralela (RM)	Compresión perpendicular (ELP)	Dureza lados	Cizallamiento	
I	<0,30	<7	<300	<120	<10	<100	<30	Muy baja
II	0,30-0,40	7-10	300-500	120-240	10-40	100-300	30-60	Baja
III	0,41-0,60	10,1-13,0	501-800	241-360	41-70	301-600	61-90	Media
IV	0,61-0,75	13,1-15,0	801-1000	361-480	71-100	601-900	91-120	Alta
V	<0,75	>15	>1000	>480	>100	>900	>120	Muy alta