

# Comparison of The Physical-Mechanical Properties of Eucalipto, Tornillo and Copaiba Woods for Formwork on Site, 2019

Cesar Antonio Valdera Salazar, Ing.<sup>1</sup>; Anita Elizabet Alva Sarmiento, Ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [N00036049@upn.pe](mailto:N00036049@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [anita.alva@upn.edu.pe](mailto:anita.alva@upn.edu.pe)

**Abstract**– *The objective of this work is to compare the physical-mechanical properties of Eucalipto (Celendín – Cajamarca), Tornillo and Copaiba (Rodríguez de Mendoza – Amazonas), for this, 120 specimens were tested for each type of Wood, being a total of 360 specimens, which were tested in the concrete laboratory of the Universidad Privada del Norte, Cajamarca headquarters. The tests that were carried out were Moisture Content (E=14.97%, T=11.16%, C=18.92%), Basic Density (E=0.851 gr/cm<sup>3</sup>, T=0.663 gr/cm<sup>3</sup>, C=0.888 gr/cm<sup>3</sup>), Modulus of Elasticity of Compression Parallel to Grain (E=1928.78 kg/cm<sup>2</sup>, T=2730.09 kg/cm<sup>2</sup>, C=2699.70 kg/cm<sup>2</sup>), Stresses at the Limit of Proportionality of Compression Perpendicular to the Grain (E=70.06 kg/cm<sup>2</sup>, T=60.16 kg/cm<sup>2</sup>, C=52.42 kg/cm<sup>2</sup>), Modulus of Elasticity of Static Flexion (E=329473.63 kg/cm<sup>2</sup>, T=261823.27 kg/cm<sup>2</sup>, C=120437.22 kg/cm<sup>2</sup>). Being the Tornillo and Eucalipto, the most recommended woods for use as on-site formwork.*

**Keywords:** *Wood, physical property, mechanical property, modulus of elasticity and formwork.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.123>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

# Comparison of The Physical-Mechanical Properties of Eucalipto, Tornillo and Copaiba Woods for Formwork on Site, 2019

## Comparación de Las Propiedades Físico-Mecánicas de Las Maderas Eucalipto, Tornillo y Copaiba para Encofrados en Obra, 2019

Cesar Antonio Valdera Salazar, Ing.<sup>1</sup>; Anita Elizabet Alva Sarmiento, Ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [N00036049@upn.pe](mailto:N00036049@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. [anita.alva@upn.edu.pe](mailto:anita.alva@upn.edu.pe)

**Resumen**— El objetivo de este trabajo es comparar las propiedades físico-mecánicas de las maderas Eucalipto (Celendín – Cajamarca), Tornillo y Copaiba (Rodríguez de Mendoza – Amazonas), para esto se ensayó 120 probetas por cada tipo de madera, siendo en total 360 probetas, las cuales fueron ensayadas en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca. Los ensayos que se realizó fueron Contenido de Humedad ( $E=14.97\%$ ,  $T=11.16\%$ ,  $C=18.92\%$ ), Densidad Básica ( $E=0.851\text{ gr/cm}^3$ ,  $T=0.663\text{ gr/cm}^3$ ,  $C=0.888\text{ gr/cm}^3$ ), Módulo de Elasticidad de la Compresión Paralela al Grano ( $E=1928.78\text{ kg/cm}^2$ ,  $T=2730.09\text{ kg/cm}^2$ ,  $C=2699.70\text{ kg/cm}^2$ ), Esfuerzos en el Limite de Proporcionalidad de Compresión Perpendicular al Grano ( $E=70.06\text{ kg/cm}^2$ ,  $T=60.16\text{ kg/cm}^2$ ,  $C=52.42\text{ kg/cm}^2$ ) y Módulo de Elasticidad de la Flexión Estática ( $E=329473.63\text{ kg/cm}^2$ ,  $T=261823.27\text{ kg/cm}^2$ ,  $C=120437.22\text{ kg/cm}^2$ ). Siendo el Tornillo y Eucalipto, las maderas más recomendables para su utilización como encofrados en obra.

**Palabras clave:** Madera, propiedad física, propiedad mecánica, módulo de elasticidad y encofrados.

**Abstract**— The objective of this work is to compare the physical-mechanical properties of Eucalipto (Celendín – Cajamarca), Tornillo and Copaiba (Rodríguez de Mendoza – Amazonas), for this, 120 specimens were tested for each type of Wood, being a total of 360 specimens, which were tested in the concrete laboratory of the Universidad Privada del Norte, Cajamarca headquarters. The tests that were carried out were Moisture Content ( $E=14.97\%$ ,  $T=11.16\%$ ,  $C=18.92\%$ ), Basic Density ( $E=0.851\text{ gr/cm}^3$ ,  $T=0.663\text{ gr/cm}^3$ ,  $C=0.888\text{ gr/cm}^3$ ), Modulus of Elasticity of Compression Parallel to Grain ( $E=1928.78\text{ kg/cm}^2$ ,  $T=2730.09\text{ kg/cm}^2$ ,  $C=2699.70\text{ kg/cm}^2$ ), Stresses at the Limit of Proportionality of Compression Perpendicular to the Grain ( $E=70.06\text{ kg/cm}^2$ ,  $T=60.16\text{ kg/cm}^2$ ,  $C=52.42\text{ kg/cm}^2$ ), Modulus of Elasticity of Static Flexion ( $E=329473.63\text{ kg/cm}^2$ ,  $T=261823.27\text{ kg/cm}^2$ ,  $C=120437.22\text{ kg/cm}^2$ ). Being the Tornillo and Eucalipto, the most recommended woods for use as on-site formwork.

**Keywords:** Wood, physical property, mechanical property, modulus of elasticity and formwork.

### I. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la utilización de los encofrados, se generalizó el empleo de la madera como la materia prima principal en la fabricación de encofrados. (Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre, 2016).

La madera es un material anisótropo, con distintas propiedades según las tres direcciones principales: axial, radial y tangencial; y donde el módulo de elasticidad a tracción difiere del de compresión. (Argüelles Bustillo, Regueira, Guaita, & Baño, 2012).

Con base a lo anterior descrito, sabemos que la madera es el material más utilizado para la elaboración de encofrados en obras civiles y su comportamiento mecánico varía de acuerdo a la aplicación de fuerzas que se realicen sobre ellas (por la constitución de sus fibras internas).

En el Perú, existen diferentes especies de madera tropical de nuestra amazonia, que se ofertan en el mercado, entre ellas las siguientes: “Tornillo, Cachimbo, Mohena amarilla, Capirona, Copaiba, Catahua, Cumala, Estoraque, Higuera, Huayruro, Huimba, Lagarto, Moena, Quinilla, Shihuahuaco, Pumaquiro, Congona, Diablo fuerte y Marupa”. Como puede apreciarse, existen muchas especies que se ofertan en el mercado y son pocas las utilizadas en encofrados. (Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre, 2016).

El encofrado es una actividad crítica en la ejecución de obras de construcción. Son moldes de acero o madera que tienen como función soportar elementos estructurales de concreto armado durante el proceso de vaciado y fraguado. (Gordillo Moreno & Lázaro Franco, 2014).

Además, existen algunas investigaciones internacionales, nacionales y locales que guardan relación con la determinación de propiedades físicas-mecánicas de diferentes especies de madera, tales como:

Díaz Méndez (2005), en su investigación denominada “Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de Nothofagus Glauca (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes”, tuvo como objetivo evaluar las propiedades físico-mecánicas en madera de Nothofagus Glauca (Hualo) provenientes de la zona de Cauquenes, realizó estudios de

propiedades físicas tales como densidad, contenido de humedad, contracción radial y contracción tangencial, y de propiedades mecánicas flexión estática, compresión paralela y compresión perpendicular; para las propiedades físicas se ensayaron 100 probetas obtenidas de 40 árboles de cuatro diámetros diferentes 15, 25, 35 y 45 cm, y para las propiedades mecánicas 40 probetas para cada ensayo obtenidas de los 40 árboles, por lo que en total se utilizaron 120 probetas, todos estos ensayos fueron comparados con el Roble, *Nothofagus Obligua*, madera usada en construcciones civiles; encontrando como resultados que las propiedades físico mecánicas de *Nothofagus Glauca* (Hualo) son similares a las del roble y según su densidad normal, se clasifica como una madera semi-pesada. Los ensayos físicos - mecánicos demuestran que el Hualo es una especie apta para la construcción pesada, tales como, vigas, pilares, entre otros.

Bazán Verástegui & Méndez Arréstegui (2014), en su investigación denominada "Propiedades Físico Mecánicas Del *Eucalyptus Glóbulus* Y *Pinus Radiata*", tuvo como objetivo determinar la eficiencia en función de la cantidad de madera de *Eucalyptus Glóbulus* y *Pinus Radiata* para elaborar armaduras ligeras, realizó ensayos de flexión estática, compresión y corte, además de los ensayos de contenido de humedad y densidad; encontrando como resultados que el *Eucalyptus Glóbulus* es más eficiente en función de la cantidad de madera que el *Pinus Radiata* debido a sus propiedades físico mecánicas.

El presente trabajo de investigación realiza un análisis comparativo de las propiedades físicas (contenido de humedad y densidad básica) y mecánicas (compresión perpendicular al grano, compresión paralela al grano y flexión estática) de las tres especies en estudio (eucalipto, tornillo y copaiba), siendo la madera tornillo la base de comparación, ya que esta es la más recomendada para encofrados. La finalidad es brindar más alternativas de uso de especies de madera para el rubro de encofrados en obras civiles, lo cual constituye un aporte importante para la ingeniería.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

**Propiedades físicas de la madera.** Son aquellas propiedades que determinan su comportamiento ante los distintos factores que intervienen en el medio ambiente normal, sin producir ninguna modificación química en su estructura. (López Fierro, 2006).

**Contenido de humedad (CH).** Es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra. (COPANT, 1972).

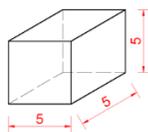


Fig. 1 Probeta para ensayo de contenido de humedad, en centímetros.

### Cálculo de resultados

$$CH = \frac{(P1-P2)}{P2} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

- ✓ P1: Peso de la muestra en estado natural.
- ✓ P2: Peso de la muestra seca al horno.

**Densidad.** La densidad básica (DB) es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV). La probeta a ser ensayada es un prisma rectangular de 5cm x 5cm de sección transversal y 10cm de longitud. (COPANT, 1972).

### Cálculo de resultados

$$\rho = P/V \quad (2)$$

Dónde:

- ✓  $\rho$  : Densidad básica (gr/cm<sup>3</sup>).
- ✓ P : peso de la probeta, en estado anhidro (gr).
- ✓ V: volumen de la probeta en estado verde (cm<sup>3</sup>).

**Propiedades mecánicas de la madera.** Según Rivera & Lenton (1999) las propiedades mecánicas caracterizan el comportamiento de la madera bajo la aplicación de fuerzas.

**Compresión perpendicular al grano.** La rotura de la madera a compresión no resulta clara ya que lo que se produce en la práctica es un aplastamiento de las fibras, pudiendo el material seguir aguantando solicitaciones. (Pérez Ortega, 2014).

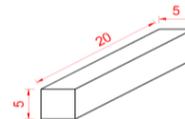


Fig. 2 Probeta para ensayo de compresión perpendicular al grano, en centímetros.

### Cálculo de los resultados

La resistencia unitaria máxima se debe calcular mediante la siguiente fórmula:

$$RUM = \frac{Pm}{A} \quad (3)$$

Dónde:

- ✓ RUM: Resistencia unitaria máxima en kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ Pm: Carga máxima soportada por la probeta en kg.
- ✓ A: Superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión en cm<sup>2</sup>.

La resistencia unitaria en el límite de proporcionalidad se calcula de la forma siguiente:

$$RLP = \frac{P2}{A} \quad (4)$$

Dónde:

- ✓ RLP: Resistencia al límite de proporcionalidad en kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ P2: Carga en el límite de proporcionalidad en kg.
- ✓ A: Superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión, en cm<sup>2</sup>.

**Compresión paralela al grano.** Los fallos por compresión paralela sí pueden llegar a ser catastróficos por la pérdida de

verticalidad que conllevan, sobre todo en el caso de columnas. (Pérez Ortega, 2014).

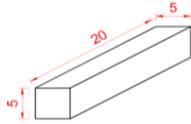


Fig. 3 Probeta para ensayo de compresión paralela al grano, en centímetros.

**Cálculo de los resultados**

La resistencia unitaria máxima se debe calcular mediante la siguiente fórmula:

$$RUM = \frac{P_m}{A} \quad (5)$$

Dónde:

- ✓ RUM: Resistencia unitaria máxima en kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ P<sub>m</sub>: Carga máxima soportada por la probeta en kg.
- ✓ A: Sección transversal de la probeta, en cm<sup>2</sup>.

El módulo de elasticidad se calcula de la madera siguiente:

$$MOE = \frac{P_2 \cdot l}{A \cdot d} \quad (6)$$

Dónde:

- ✓ MOE: Módulo de elasticidad, en Kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ P<sub>2</sub>: Carga en el límite de proporcionalidad en kg.
- ✓ l: Distancia entre las abrazaderas del deflectómetro en cm.
- ✓ A: Área de la sección transversal de la probeta en cm<sup>2</sup>.
- ✓ d: Deformación de la probeta sufrida bajo la carga P<sub>2</sub>, en cm.

La resistencia unitaria en el límite de proporcionalidad se calcula de la forma siguiente:

$$RLP = \frac{P_2}{A} \quad (7)$$

Dónde:

- ✓ RLP: Resistencia unitaria máxima en el límite de proporcionalidad en kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ P<sub>2</sub>: Carga en el límite de proporcionalidad en kg.
- ✓ A: Sección transversal de la probeta, en cm<sup>2</sup>.

**Flexión estática.** Es el trabajo impuesto a una pieza de madera, la cual descansando sobre dos apoyos, soporta un peso uniformemente repartido en su longitud o situado solo en un punto, o sobre varios puntos. (INATEC, 2004).



Fig. 4 Probeta para ensayo de flexión estática, en milímetros.

**Cálculos de los resultados**

El esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad se calcula de la siguiente fórmula:

$$ELP_f = \frac{3P_2 \cdot L}{2b \cdot h^2} \quad (8)$$

Donde:

- ✓ ELP<sub>f</sub>: Esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad en Kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ P<sub>2</sub>: Carga en el límite de proporcionalidad en Kg.
- ✓ L: Luz de la probeta, es decir separación entre apoyos en cm.
- ✓ b: Ancho de la probeta en cm.

- ✓ h: Altura de la probeta en cm.

El esfuerzo unitario máximo se calcula con la fórmula siguiente.

$$EM_f = \frac{3P_m \cdot L}{2b \cdot h^2} \quad (9)$$

Dónde:

- ✓ EM<sub>f</sub>: Esfuerzo unitario máximo, en el límite de proporcionalidad Kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ P<sub>m</sub>: Carga máxima obtenida en Kg.
- ✓ L: Luz de la probeta, es decir separación entre apoyos en cm.
- ✓ b: Ancho de la probeta en cm.
- ✓ h: Altura de la probeta en cm.

El módulo de elasticidad se calcula de la siguiente fórmula.

$$MOE_f = \frac{P_2 \cdot L^3}{4d_1 \cdot b \cdot h^3} \quad (10)$$

Dónde:

- ✓ MOE<sub>f</sub>: Módulo de elasticidad, en el límite de proporcionalidad Kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ P<sub>2</sub>: Carga en el límite de proporcionalidad en Kg.
- ✓ d<sub>1</sub>: Deformación en el límite de proporcionalidad en cm.
- ✓ L: Luz de la probeta, es decir separación entre apoyos en cm.
- ✓ b: Ancho de la probeta en cm.
- ✓ h: Altura de la probeta en cm.

**Agrupamiento.** Según Norma Técnica de Edificación E010 (2006), el agrupamiento está basado en los valores de la densidad básica y de la resistencia mecánica:

➤ Densidad básica

TABLA 1  
AGRUPAMIENTO DE LAS MADERAS SEGÚN SU DENSIDAD BÁSICA

GRUPO	Densidad Básica g/cm <sup>3</sup>
A	≥ 0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55

Esta tabla muestra el agrupamiento de las maderas para uso estructural, según su densidad básica (Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre, 2016).

➤ Módulo de elasticidad

TABLA 2  
AGRUPAMIENTO DE LAS MADERAS SEGÚN SU MÓDULO DE ELASTICIDAD

GRUPO	Módulo de Elasticidad (E) MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	
	E mínimo	E promedio
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

Esta tabla muestra el agrupamiento de las maderas para uso estructural, según su módulo de elasticidad. (Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre, 2016).

➤ Esfuerzos admisibles

TABLA 3  
AGRUPAMIENTO DE LAS MADERAS SEGÚN SUS ESFUERZOS ADMISIBLES

GRUPO	Esfuerzos admisibles MPa (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Flexión	Compresión paralela	Compresión perpendicular
A	20,6 (210)	14,2 (145)	3,9 (40)
B	14,7 (150)	10,8 (110)	2,7 (28)
C	9,8 (100)	7,8 (80)	1,5 (15)

Esta tabla muestra el agrupamiento de las maderas para uso estructural, según sus esfuerzos admisibles. (Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre, 2016).

**Encofrado de losa aligerada.** Para armar el encofrado será necesario contar con soleras corridas soportadas por pies derechos (puntales) espaciados más o menos a 90 cm. Luego, se procede a colocar los tabloncillos sobre las soleras en sentido contrario, fijándolos por medio de clavos de 3” aproximadamente. Para delimitar el vaciado de la losa, se colocarán frisos en los bordes. (Cardona Escobar, Moreno García, & Salinas Naranjo, 2015).

**Encofrado de columna.** Las columnas son aquellos elementos verticales que soportan fuerzas de compresión y flexión, encargados de transmitir todas las cargas de la estructura a la cimentación; es decir, son uno de los elementos más importantes para el soporte de la estructura, por lo que su construcción requiere especial cuidado. (Silva, 2018).

**Requisitos de la madera para encofrados.** Según Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre (2016), la madera a usarse para la elaboración de encofrados debe cumplir los siguientes requisitos.

- ✓ Debe ser liviana, y suficientemente resistente, con módulos de elasticidad que asegure la menor deformación posible.
- ✓ Debe evitarse usar madera húmeda, ya que al secarse en obra, puede deformarse, además ofrecer menor resistencia.
- ✓ Debe evitarse usar madera muy seca, ya que puede absorber parte de la humedad del concreto e hincharse. Se recomienda usar madera seca al aire, a un contenido de humedad de 15% a 18%.

**Población y muestra.** En la investigación la población y la muestra son la misma, además fueron elegidas por conveniencia del investigador bajo los requerimientos de la Norma Técnica de Edificación E010 (2006) la cual dice “para que los resultados sean confiables se requiere que las muestras sean representativas de las características de la especie.

Considerando un coeficiente de variación de 0,22, se deben ensayar 30 probetas por especie (para cada ensayo realizado), provenientes de 05 árboles, para conseguir un intervalo de confianza del valor medio de  $\pm 10\%$  con una seguridad estadística del 95%”.

TABLA 4  
NÚMERO DE PROBETAS A REALIZAR EN LA INVESTIGACIÓN

Ensayo	Eucalipto	Tornillo	Copaiba
Densidad Básica	30	30	30
Compresión Paralela al Grano	30	30	30
Compresión Perpendicular al Grano	30	30	30
Flexión Estática	30	30	30
Total	120	120	120

Esta tabla muestra la cantidad de probetas realizadas, por lo tanto es el número de muestras, según norma E.010.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. CONTENIDO DE HUMEDAD

TABLA 5  
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ENSAYOS REALIZADOS, MADERA EUCALIPTO

Nº PROBETA	CH (%) - CP	CH (%) - CPP	CH (%) - FE	CH (%) - DB
PROMEDIO	14.17	17.31	12.82	15.57
MEDIANA	13.61	17.13	12.59	15.24
RANGO	17.31	29.46	18.75	13.93
S	3.97	6.24	3.38	4.59
S <sup>2</sup>	15.74	38.91	11.41	21.06
CV (%)	28.00	36.03	26.34	29.47

En esta tabla se muestra los resultados de contenido de humedad de la madera Eucalipto, después de ser ensayadas por compresión paralela (CP), compresión perpendicular (CPP), flexión estática (FE) y densidad básica (DB).

TABLA 6  
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ENSAYOS REALIZADOS, MADERA TORNILLO

Nº PROBETA	CH (%) - CP	CH (%) - CPP	CH (%) - FE	CH (%) - DB
PROMEDIO	5.84	9.57	14.68	14.55
MEDIANA	5.91	9.14	14.58	14.64
RANGO	11.34	9.96	10.21	14.82
S	2.38	2.80	1.90	3.48
S <sup>2</sup>	5.66	7.83	3.62	12.10
CV (%)	40.75	29.25	12.96	23.90

La tabla anterior muestra los resultados de contenido de humedad de la madera Tornillo, después de ser ensayadas por compresión paralela (CP), compresión perpendicular (CPP), flexión estática (FE) y densidad básica (DB).

TABLA 7  
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ENSAYOS REALIZADOS,  
MADERA COPAIBA

N° PROBETA	CH (%) - CP	CH (%) - CPP	CH (%) - FE	CH (%) - DB
PROMEDIO	21.04	15.41	19.69	19.54
MEDIANA	20.89	16.19	19.38	18.51
RANGO	19.35	12.40	18.26	15.07
S	4.05	2.44	4.96	4.30
S <sup>2</sup>	16.37	5.93	24.56	18.52
CV (%)	15.81	25.17	22.03	19.23

La tabla anterior muestra los resultados de contenido de humedad de la madera Copaiba, después de ser ensayadas por compresión paralela (CP), compresión perpendicular (CPP), flexión estática (FE) y densidad básica (DB).

TABLA 8  
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS EUCALIPTO, TORNILLO Y COPAIBA

Descripción	Eucalipto	Tornillo	Copaiba
Promedio CH%	14.97	11.16	18.92

La tabla anterior muestra los resultados promedio del contenido de humedad de las maderas ensayadas en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

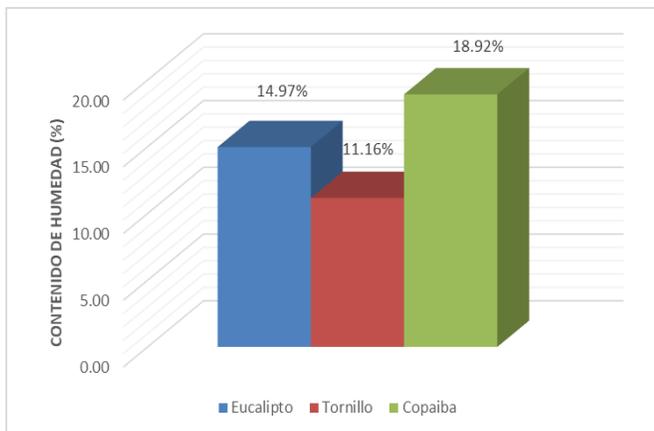


Fig. 5 Contenido de humedad promedio de ensayos realizados a las maderas Eucalipto, Tornillo y Copaiba

## B. DENSIDAD BÁSICA

TABLA 9  
DENSIDAD BÁSICA DEL EUCALIPTO, TORNILLO Y COPAIBA

N° PROBETA	EUCALIPTO	TORNILLO	COPAIBA
PROMEDIO	0.851	0.663	0.888
MEDIANA	0.836	0.669	0.898
RANGO	0.373	0.328	0.292
S	0.087	0.068	0.061
S <sup>2</sup>	0.008	0.005	0.004
CV (%)	10.241	10.289	6.876

La tabla anterior muestra los resultados promedio de la densidad básica de las maderas ensayadas en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

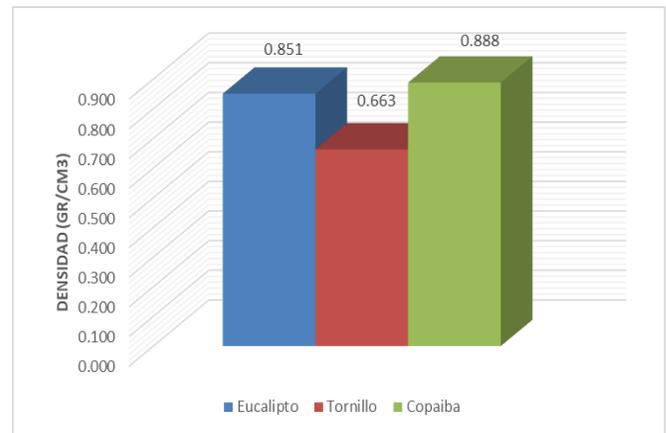


Fig. 6 Promedio de densidad básica de las maderas Eucalipto, Tornillo y Copaiba

La densidad básica promedio de las maderas Eucalipto, Tornillo y Copaiba, siendo los resultados de 0.851 gr/cm<sup>3</sup>, 0.663 gr/cm<sup>3</sup> y 0.888 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente.

## C. COMPRESIÓN PARALELA AL GRANO

TABLA 10  
RESISTENCIA UNITARIA MÁXIMA (RUM), RESISTENCIA UNITARIA EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (RLP) Y MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) DEL EUCALIPTO

N° PROBETA	RUM (kg/cm <sup>2</sup> )	RLP (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	313.59	258.80	1928.78
MEDIANA	313.56	249.99	1745.30
RANGO	168.60	162.29	2537.73
S	45.82	38.73	600.56
S <sup>2</sup>	2099.03	1500.19	360672.57
CV (%)	14.61	14.97	31.14

Esta tabla muestra los resultados del RUM, RLP Y MOE de la madera Eucalipto ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

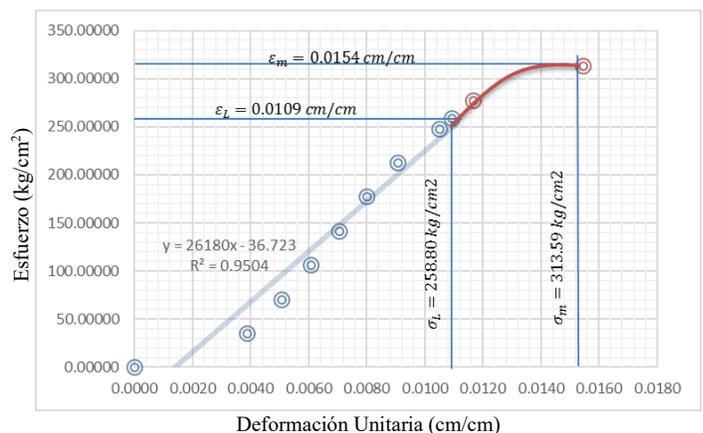


Fig. 7 Esfuerzo vs Deformación Unitaria - Compresión paralela al grano de Eucalipto.

El límite de proporcionalidad (esfuerzo = 258.80 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0109 cm/cm) y el punto de ruptura (esfuerzo = 313.59 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0154 cm/cm).

TABLA 11  
RESISTENCIA UNITARIA MÁXIMA (RUM), RESISTENCIA UNITARIA EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (RLP) Y MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) DEL TORNILLO

N° PROBETA	RUM (kg/cm <sup>2</sup> )	RLP (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	306.15	235.61	2730.09
MEDIANA	284.56	233.20	2588.72
RANGO	291.62	236.65	3446.76
S	77.32	62.50	863.32
S <sup>2</sup>	5978.67	3906.76	745326.12
CV (%)	25.26	26.53	31.62

Esta tabla muestra los resultados del RUM, RLP Y MOE de la madera Tornillo ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

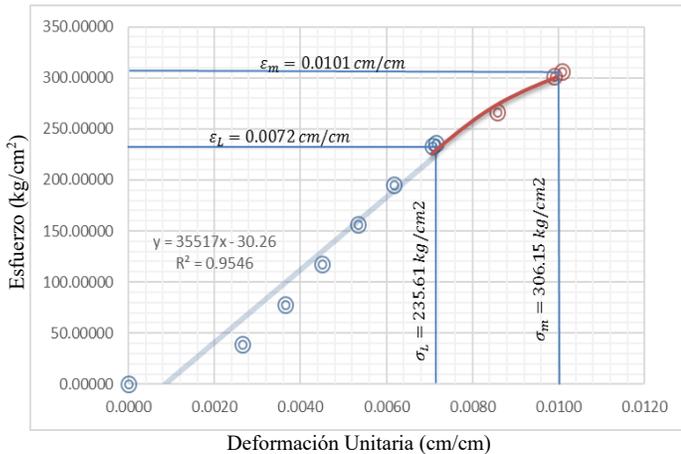


Fig. 8 Esfuerzo vs Deformación Unitaria - Compresión paralela al grano del Tornillo.

El límite de proporcionalidad (esfuerzo = 235.61 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0072 cm/cm) y el punto de ruptura (esfuerzo = 306.15 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0101 cm/cm).

TABLA 12  
RESISTENCIA UNITARIA MÁXIMA (RUM), RESISTENCIA UNITARIA EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (RLP) Y MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) DEL COPAIBA

N° PROBETA	RUM (kg/cm <sup>2</sup> )	RLP (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	320.74	257.19	2699.70
MEDIANA	319.60	244.14	2701.07
RANGO	196.09	187.57	2306.00
S	47.40	50.43	620.21
S <sup>2</sup>	2247.10	2543.43	384666.51
CV (%)	14.78	19.61	22.97

La tabla anterior muestra los resultados del RUM, RLP Y MOE de la madera Copaiba ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

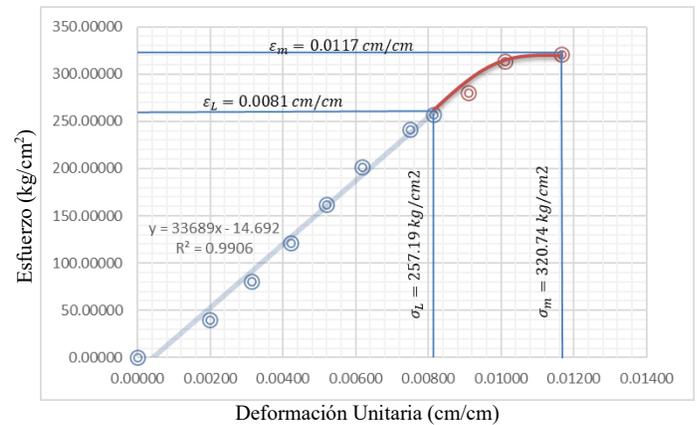


Fig. 9 Esfuerzo vs Deformación Unitaria - Compresión paralela al grano de Copaiba.

El límite de proporcionalidad (esfuerzo = 257.19 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0081 cm/cm) y el punto de ruptura (esfuerzo = 320.74 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0117 cm/cm).

#### D. COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO

TABLA 13  
RESISTENCIA UNITARIA MÁXIMA (RUM) Y RESISTENCIA UNITARIA EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (RLP) DEL EUCALIPTO

N° PROBETA	RUM (kg/cm <sup>2</sup> )	RLP (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	137.79	70.06
MEDIANA	135.94	64.24
RANGO	73.61	53.61
S	15.88	11.56
S <sup>2</sup>	252.26	133.53
CV (%)	11.53	16.49

Esta tabla muestra los resultados del RUM Y RLP de la madera Eucalipto, ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

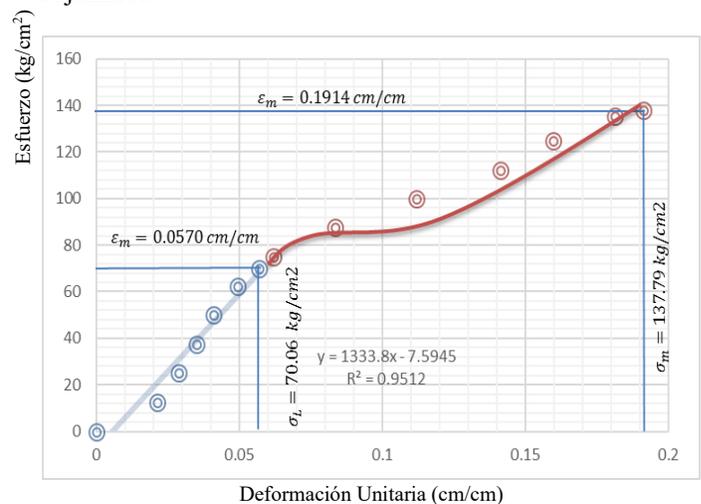


Fig. 10 Esfuerzo vs Deformación Unitaria - Compresión perpendicular al grano del Eucalipto.

El límite de proporcionalidad (esfuerzo = 70.06 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0570 cm/cm) y el punto de ruptura (esfuerzo = 137.79 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.1914 cm/cm).

(esfuerzo = 137.79 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.1914 cm/cm).

TABLA 14  
RESISTENCIA UNITARIA MÁXIMA (RUM) Y RESISTENCIA UNITARIA EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (RLP) DEL TORNILLO

N° PROBETA	RUM (kg/cm <sup>2</sup> )	RLP (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	100.53	60.16
MEDIANA	93.67	52.20
RANGO	134.94	64.95
S	34.23	19.94
S <sup>2</sup>	1171.42	397.67
CV (%)	34.05	33.15

Esta tabla muestra los resultados del RUM Y RLP de la madera Tornillo, ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

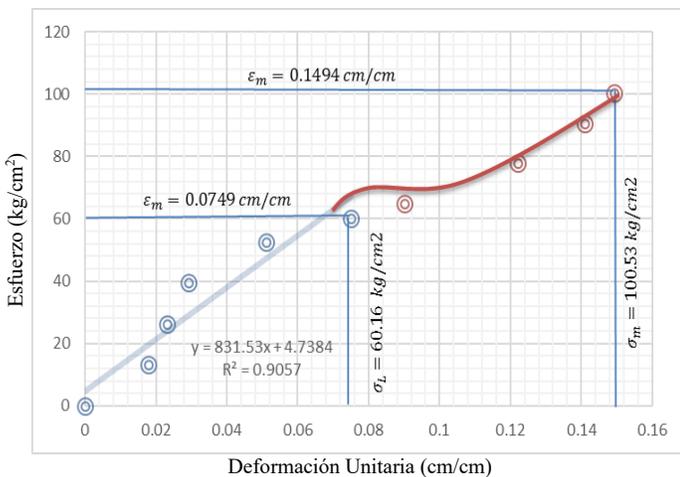


Fig. 11 Esfuerzo vs Deformación Unitaria - Compresión perpendicular al grano del Tomillo.

Nota: El límite de proporcionalidad (esfuerzo = 60.16 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0749 cm/cm) y el punto de ruptura (esfuerzo = 100.53 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.1494 cm/cm).

TABLA 15  
RESISTENCIA UNITARIA MÁXIMA (RUM) Y RESISTENCIA UNITARIA EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (RLP) DEL COPAIBA

N° PROBETA	RUM (kg/cm <sup>2</sup> )	RLP (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	132.04	52.42
MEDIANA	122.34	53.99
RANGO	150.61	52.79
S	37.20	14.71
S <sup>2</sup>	1383.77	216.34
CV (%)	28.17	28.06

Esta tabla muestra los resultados del RUM Y RLP de la madera Copaiba, ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

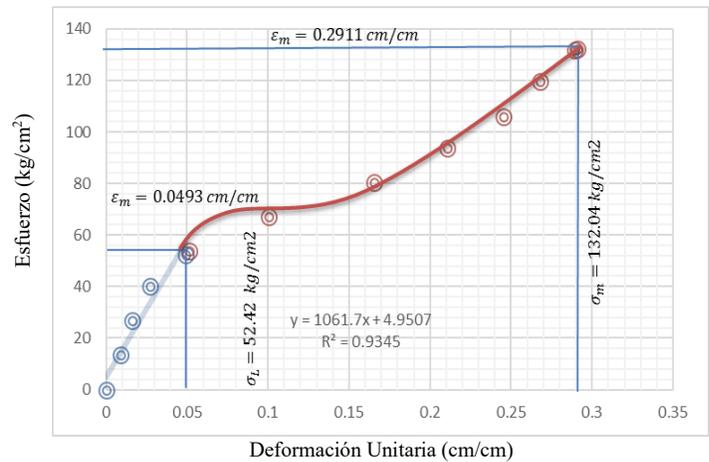


Fig. 12 Esfuerzo vs Deformación Unitaria - Compresión perpendicular al grano del Copaiba.

El límite de proporcionalidad (esfuerzo = 52.42 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.0493 cm/cm) y el punto de ruptura (esfuerzo = 132.04 kg/cm<sup>2</sup>, deformación unitaria = 0.2911 cm/cm).

#### E. FLEXIÓN ESTÁTICA

TABLA 16  
ESFUERZO UNITARIO EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (ELPF), ESFUERZO UNITARIO MÁXIMO (EMF) Y MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) DEL EUCALIPTO

N° PROBETA	EM <sub>f</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	ELP <sub>f</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	1718.64	550.38	329473.63
MEDIANA	1621.23	519.78	318521.73
RANGO	1229.10	627.63	395474.48
S	286.99	167.88	86459.07
S <sup>2</sup>	82360.82	28183.01	7475170166.98
CV (%)	16.70	30.50	26.24

Esta tabla muestra los resultados de esfuerzos calculados en base a la norma COPANT de madera, ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

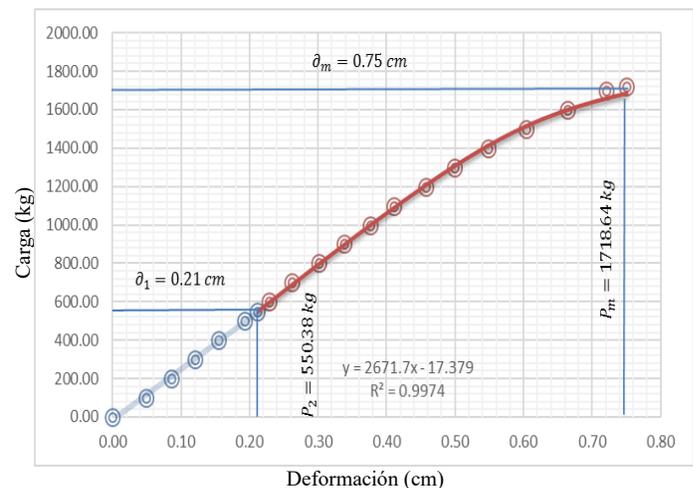


Fig. 13 Carga vs Deformación Unitaria - Flexión estática del Eucalipto

El límite de proporcionalidad (carga = 550.38 kg, deformación = 0.21cm) y el punto de ruptura (carga = 1718.64 kg, deformación = 0.75 cm).

TABLA 17  
ESFUERZO UNITARIO EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (ELPF), ESFUERZO UNITARIO MÁXIMO (EMF) Y MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) DEL TORNILLO

N° PROBETA	EM <sub>f</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	ELP <sub>f</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	1276.97	766.40	261823.27
MEDIANA	1329.81	809.71	255500.90
RANGO	1703.43	1054.45	229214.37
S	355.21	213.39	49674.22
S <sup>2</sup>	126176.31	45533.19	2467528548.36
CV (%)	27.82	27.84	18.97

La tabla anterior muestra los resultados de esfuerzos calculados en base a la norma COPANT de madera, ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

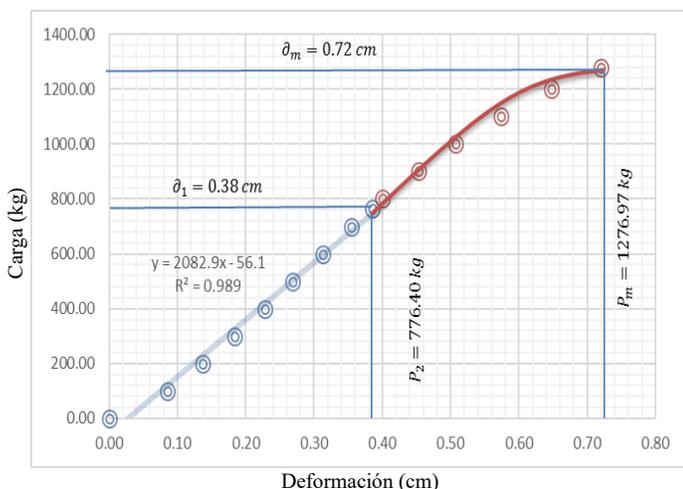


Fig. 14 Carga vs Deformación Unitaria – Flexión estática del Tornillo

Nota: El límite de proporcionalidad (carga = 776.40 kg, deformación = 0.38 cm) y el punto de ruptura (carga = 1276.97 kg, deformación = 0.72 cm).

TABLA 18  
ESFUERZO UNITARIO EN EL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (ELPF), ESFUERZO UNITARIO MÁXIMO (EMF) Y MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) DE LA COPAIBA

N° PROBETA	EM <sub>f</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	ELP <sub>f</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )
PROMEDIO	828.15	386.71	120437.22
MEDIANA	865.74	387.78	118289.02
RANGO	654.78	489.06	116791.83
S	161.44	106.45	29391.25
S <sup>2</sup>	26061.77	11332.57	863845351.32
CV (%)	19.49	27.53	24.40

Esta tabla muestra los resultados de esfuerzos calculados en base a la norma COPANT de madera, ensayada en el laboratorio de concreto de UPN sede Cajamarca.

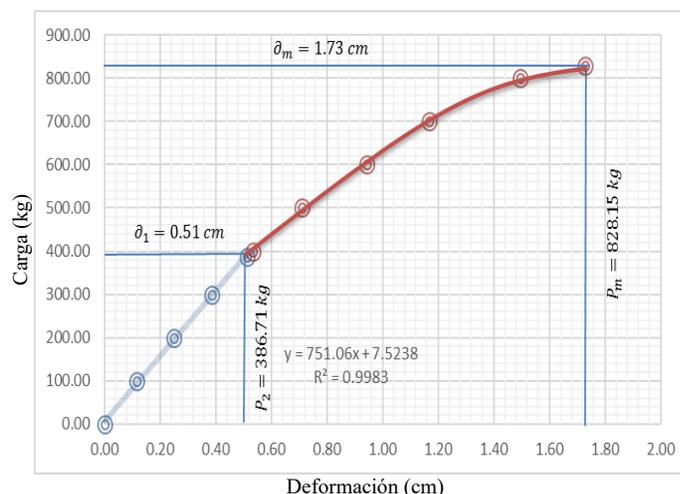


Fig. 15 Carga vs Deformación Unitaria – Flexión estática de la Copaiba

Nota: El límite de proporcionalidad (carga = 386.71 kg, deformación = 0.51 cm) y el punto de ruptura (carga = 828.15 kg, deformación = 1.73 cm).

## F. ESTUDIO DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA (ANOVA Y TUKEY).

### ✓ Módulo de Elasticidad – Paralela al Grano

TABLA 19  
ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - RESUMEN

MADERA	N° MUESTRA	SUMA	PROMEDIO	VARIANZA
EUCALIPTO	30	57863.36	1928.78	360673.30
TORNILLO	30	81902.74	2730.09	745325.32
COPAIBA	30	80991.09	2699.70	384667.22

Esta tabla muestra el resumen de resultados del análisis de varianza de un factor, obtenidos del programa Excel, para el módulo de elasticidad de la propiedad mecánica paralela al grano de los tres tipos de madera.

TABLA 20  
ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA "F"
ENTRE GRUPOS	1.24E+07	2	6.19E+06	12.45	1.76E-05	3.10
DENTRO DE LOS GRUPOS	4.32E+07	87	4.97E+05			
TOTAL	5.56E+07	89				

Esta tabla muestra resultados del análisis de varianza, obtenidos del programa Excel, para el módulo de elasticidad paralela al grano de los tres tipos de madera.

- HSD= 432.42 (diferencia honestamente significativa).
- Multiplicador= 3.36 (α de prueba de Tukey).
- Mse= 496888.62 (cuadrado de error medio).

- $n=30$  (número de muestras).

TABLA 21  
DIFERENCIA DE GRUPOS POR PAREJA

	EUCALIPTO	TORNILLO	COPAIBA
EUCALIPTO		-801.31	-770.92
TORNILLO			30.39
COPAIBA			

Esta tabla muestra la comparación del módulo de elasticidad paralela al grano de cada tipo de especie de madera, de acuerdo a la diferencia honestamente significativa, generada en el programa Excel.

- Existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio del módulo de elasticidad de la flexión estática entre los tres tipos de madera.

**VALOR DE PRUEBA “F”= 12.45.**

**VALOR “P”=1.76E-05.**

**SÍ/NO= “SÍ”.**

✓ **Módulo de Elasticidad – Perpendicular al grano**

TABLA 22  
ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - RESUMEN

MADERA	Nº MUESTRA	SUMA	PROMEDIO	VARIANZA
EUCALIPTO	30	2101.91	70.06	133.55
TORNILLO	30	1804.80	60.16	397.67
COPAIBA	30	1572.55	52.42	216.32

Esta tabla muestra el resumen de resultados del análisis de varianza de un factor, obtenidos del programa Excel, para el esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad de la propiedad mecánica perpendicular al grano de los tres tipos de madera.

TABLA 23  
ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA “F”
ENTRE GRUPOS	4.69E+03	2	2346.87	9.42	1.98E-04	3.10
DENTRO DE LOS GRUPOS	2.17E+04	87	249.18			
TOTAL	2.64E+04	89				

Esta tabla muestra resultados del análisis de varianza, obtenidos del programa Excel, para el esfuerzo unitario en el límite de proporcionalidad perpendicular al grano de los tres tipos de madera.

- HSD= 9.68 (diferencia honestamente significativa).
- Multiplicador= 3.36 ( $\alpha$  de prueba de Tukey).
- Mse= 249.18 (cuadrado de error medio).

- $n=30$  (número de muestras).

TABLA 24  
DIFERENCIA DE GRUPOS POR PAREJA

	EUCALIPTO	TORNILLO	COPAIBA
EUCALIPTO		9.90	17.65
TORNILLO			7.74
COPAIBA			

Esta tabla muestra la comparación de los esfuerzos unitarios en el límite de proporcionalidad perpendicular al grano de cada tipo de especie de madera, de acuerdo a la diferencia honestamente significativa, generada en el programa Excel.

- Existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio del módulo de elasticidad de la flexión estática entre los tres tipos de madera.

**VALOR DE PRUEBA “F”= 9.42.**

**VALOR “P”=1.98E-04.**

**SÍ/NO= “SÍ”.**

✓ **Módulo de Elasticidad – Flexión Estática**

TABLA 25  
ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR - RESUMEN

MADERA	Nº MUESTRA	SUMA	PROMEDIO	VARIANZA
EUCALIPTO	30	9884208.85	329473.63	7475170217.37
TORNILLO	30	7854698.11	261823.27	2467528565.68
COPAIBA	30	3613116.76	120437.23	863845405.07

Esta tabla muestra el resumen de resultados del análisis de varianza de un factor, obtenidos del programa Excel, para el módulo de elasticidad de la propiedad mecánica flexión estática de los tres tipos de madera.

TABLA 26  
ANÁLISIS DE VARIANZA

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	PROMEDIO DE LOS CUADRADOS	F	PROBABILIDAD	VALOR CRÍTICO PARA “F”
ENTRE GRUPOS	6.83E+11	2	3.41E+11	94.75	1.43E-22	3.10
DENTRO DE LOS GRUPOS	3.13E+11	87	3.60E+09			
TOTAL	30	89				

Esta tabla muestra resultados del análisis de varianza, obtenidos del programa Excel, para el módulo de elasticidad de flexión estática de los tres tipos de madera.

- HSD= 36818.11 (diferencia honestamente significativa).
- Multiplicador= 3.36 ( $\alpha$  de prueba de Tukey).
- Mse= 3602181396.04 (cuadrado de error medio).
- $n=30$  (número de muestras).

TABLA 27  
DIFERENCIA DE GRUPOS POR PAREJA

	EUCALIPTO	TORNILLO	COPAIBA
EUCALIPTO		67650.36	209036.40
TORNILLO			141386.05
COPAIBA			

Esta tabla muestra la comparación del módulo de elasticidad de flexión estática de cada tipo de especie de madera, de acuerdo a la diferencia honestamente significativa, generada en el programa Excel.

- Existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio del módulo de elasticidad de la flexión estática entre los tres tipos de madera.

**VALOR DE PRUEBA “F”= 94.75.**

**VALOR “P”=1.43E-22.**

**SÍ/NO= “SÍ”.**

TABLA 28  
VERIFICACIÓN DE MADERAS PARA SER UTILIZADAS COMO ENCOFRADOS, DE ACUERDO A LAS PROPIEDADES ENCONTRADAS

CARACTERÍSTICAS DE MADERA PARA Ser Usada COMO ENCOFRADO	EUCALIPTO	TORNILLO	COPAIBA
Debe ser liviana	X	✓	X
Módulo de elasticidad que asegure menor deformación	✓	✓	X
NO HÚMEDA (15%-18%)	✓	X	X

La tabla anterior muestra las características según Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO).

TABLA 29  
DISTRIBUCIÓN Y SELECCIÓN DE LAS MADERAS EUCALIPTO Y TORNILLO, PARA SER UTILIZADAS EN PARTES ESPECÍFICAS DE UN ENCOFRADO TRADICIONAL

PARTES DE UN ENCOFRADO TRADICIONAL (LOSA, VIGA Y COLUMNA)	EUCALIPTO	TORNILLO
Tablones (flexión estática)	✓	✓
Frisos (flexión estática)	✓	✓
Soleras (flexión estática)	✓	✓
Pies derechos (compresión paralela al grano)	X	✓
Cuñas (compresión perpendicular al grano)	✓	✓
BARROTES (FLEXIÓN ESTÁTICA)	✓	✓

TABLA 30  
AGRUPAMIENTO DE LAS MADERAS EUCALIPTO, TORNILLO Y COPAIBA

PROPIEDADES FÍSICAS - MECÁNICAS	EUCALIPTO	TORNILLO	COPAIBA
Densidad básica	A	B	A
Módulo de elasticidad	A	A	A
Flexión estática	A	A	A
Compresión paralela al grano	A	A	A
Compresión perpendicular al grano	A	A	A

En la tabla anterior se agrupo a los tres tipos de madera en estudio según la Norma E.010.

- De acuerdo a la tabla 4, se tiene una muestra distribuida para cada tipo de madera, 30 para densidad básica, 30 para compresión paralela al grano, 30 para compresión perpendicular al grano y 30 para flexión estática, lo que significa que el número de ensayos realizados son de 360 probetas (120 de cada tipo de madera), de ésta manera se realizó una muestra significativa de acuerdo a lo que demanda la norma E. 010.

- El contenido de humedad del Eucalipto es de 14.97%, superior al resultado obtenido del Tornillo que es de 11.16%, e inferior con respecto a la Copaiba que es de 18.92 %; lo cual según Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre (2016), indican que debe evitarse usar madera húmeda para encofrados, ya que al secarse en obra, puede deformarse, además de ofrecer menor resistencia; por eso recomiendan que el contenido de humedad de la madera utilizada para encofrados debe estar entre los rangos de 15% a 18%. Por lo tanto, según su contenido de humedad, las maderas más óptimas para ser utilizadas como encofrados en obra son el Eucalipto y ligeramente la Copaiba (ver figura 5).

- Los resultados de densidad básica de las tres especies en investigación fueron los siguientes: El Eucalipto obtuvo una densidad de 0.851 gr/cm<sup>3</sup>, el Tornillo una densidad menor con respecto a la primera de 0.663 gr/cm<sup>3</sup> y por último la Copaiba que fue superior a las anteriores con 0.888 gr/cm<sup>3</sup>. Según Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre (2016), recomienda que la madera utilizada para encofrados debe ser liviana (no debe ser muy pesada). Por lo tanto, según su densidad básica, las madera más óptima para ser utilizada como encofrado en obra es el Tornillo (ver figura 6).

- Del ensayo a compresión paralela al grano, se puede observar los módulos de elasticidad, los cuales fueron 1928.78 kg/cm<sup>2</sup> (Eucalipto), 2730.09 kg/cm<sup>2</sup> (Tornillo) y 2699.70 kg/cm<sup>2</sup> (Copaiba). Además de acuerdo a la prueba de significancia existe una diferencia superior notable de las maderas Tornillo y Copaiba con respecto al Eucalipto (entre Tornillo y Copaiba existe una similitud, ver tabla 21). Según Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre (2016), recomienda que la madera utilizada para encofrados debe ser lo suficientemente resistente y con módulos de elasticidad que asegure la menor deformación posible. Por lo tanto, según los resultados de la compresión paralela al grano, las maderas más óptimas para ser utilizadas como encofrado en obra es el Tornillo y la Copaiba, ya que sus módulos de elasticidad son altos (ver figuras 7, 8 y 9, tablas 10, 11 y 12).

- Del ensayo a compresión perpendicular al grano, se puede observar el esfuerzo en el límite proporcional y su deformación unitaria del Eucalipto (70.06 kg/cm<sup>2</sup>, 0.0570 cm/cm), al igual que del Tornillo (60.16 kg/cm<sup>2</sup>, 0.0749 cm/cm) y de la Copaiba (52.42 kg/cm<sup>2</sup>, 0.0493 cm/cm). Además de acuerdo a la prueba de significancia existe una diferencia superior

notable de las maderas Tornillo y Copaiba con respecto al Eucalipto (entre Tornillo y Copaiba existe una similitud, ver tabla 24). Según Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre (2016), recomienda que la madera utilizada para encofrados debe ser lo suficientemente resistente y asegure la menor deformación posible. Por lo tanto, según los resultados de la compresión perpendicular al grano, la madera más óptima para ser utilizada como encofrado en obra es el Eucalipto, ya que ofrecen mayor resistencia a los esfuerzos y menor deformación (ver figuras 10, 11 y 12).

➤ En el ensayo de flexión estática, se puede observar los módulos de elasticidad, los cuales fueron 329473.63 kg/cm<sup>2</sup> (Eucalipto), 261823.27 kg/cm<sup>2</sup> (Tornillo) y 120437.22 kg/cm<sup>2</sup> (Copaiba). Además de acuerdo a la prueba de significancia existe una diferencia superior notable de la madera Eucalipto con respecto a las de Tornillo y Copaiba (ver tabla 27). Según Jiménez Yábar, Ascencio Sanabria, & Barreto La Torre (2016), recomienda que la madera utilizada para encofrados debe ser lo suficientemente resistente y con módulos de elasticidad que asegure la menor deformación posible. Por lo tanto, según los resultados de la flexión estática, las maderas más óptimas para ser utilizadas como encofrado en obra es el Eucalipto y Tornillo, ya que ofrecen mayor resistencia a los esfuerzos y menor deformación, además que cuentan con módulos de elasticidad mayores (ver figuras 13, 14 y 15, tablas 16, 17 y 18).

➤ En la tabla 29, se aprecia que las maderas deben cumplir con ciertas características para ser utilizados como encofrados en obra, por lo que la madera Eucalipto y Tornillo son las más recomendables para ser utilizadas en este rubro, siendo la madera Copaiba descartada (a excepción de ser utilizada como pies derechos).

#### IV. CONCLUSIONES

- Se elaboraron 360 probetas en total, obtenidas de 15 troncos diferentes (05 de cada especie), cuya distribución fue de 120 de Eucalipto, 120 de Tornillo y 120 de Copaiba.
- Se logró determinar las propiedades física-mecánicas de las tres especies en estudio (Eucalipto, Tornillo y Copaiba).
- Se determinó que la madera eucalipto y tornillo, son maderas que pueden ser usadas en el rubro de encofrados como tablonés, frisos, soleras, pies derechos (solo el tornillo), cuñas y barrotes; además se descartó la madera Copaiba para uso como encofrado (a excepción de su uso en pies derechos).
- Las maderas en estudio (Eucalipto, Tornillo y Copaiba) fueron agrupadas de acuerdo a la norma E.010, la cual separa según sus propiedades físicas y mecánicas; para la densidad básica el Eucalipto y Copaiba están en el grupo A y el Tornillo en el grupo B, según su módulo de elasticidad, flexión estática, compresión paralela y compresión perpendicular al grano, todas pertenecen al grupo A.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Privada del Norte (UPN), sede Cajamarca, en el marco del Proyecto de Investigación AGL-2008-05603-C02-01/AGR del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (MICINN).

#### REFERENCIAS

- [1] Argüelles Bustillo, R., Regueira, R., Guaita, M., & Baño, V. (2012). Determinación de la curva tensión-deformación en madera de 'Pinus silvestris' L. para la simulación numérica de vigas de madera libre de defectos. *Materiales de construcción*, 270.
- [2] Bazán Verástegui, W. A., & Méndez Arréstegui, S. K. (2014). *Propiedades Físico Mecánicas Del Eucalyptus Glóbulus Y Pinus Radiata*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- [3] Cardona Escobar, J. C., Moreno García, J. F., & Salinas Naranjo, J. (2015). Análisis técnico de las variables que se deben controlar. Medellín: UNIVERSIDAD DE MEDELLIN.
- [4] COPANT. (1972). *Maderas. América: Comisión Panamericana de Normas Técnicas*.
- [5] Díazdía Méndez, P. P. (2005). Evaluación de Propiedades Físico-Mecánicas de Madera de Nothofagus Glauca (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Talca-Chile: Universidad de Talca.
- [6] Gordillo Moreno, C. E., & Lázaro Franco, R. J. (2014). Comparación entre el sistema convencional de encofrado y las plataformas intermedias de trabajo; caso: Estación Presbítero Maestro. Lima: Universidad de San Martín de Porres.
- [7] INATEC. (2004). *Manual para el participante tecnología de la madera y materiales*. Nicaragua: Programa de Apoyo a la Mejora del Clima de Negocios e Inversiones en Nicaragua.
- [8] Jiménez Yábar, H. M., Ascencio Sanabria, R. H., & Barreto La Torre, L. V. (2016). *Uso de madera en encofrados para la construcción en el Perú*. Lima: Gerencia De Investigación Y Normatividad De SENCICO.
- [9] López Fierro, J. E. (2006). *Propiedades físico-mecánicas del Aliso, Alnus acuminata HBK, proveniente de Chalaco-Piura*. Lima - Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.
- [10] Norma Técnica de Edificación E010. (2006). *Agrupamiento De Maderas Para Uso Estructural*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- [11] Pérez Ortega, Á. (2014). *Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- [12] Rivera, S., & Lenton, M. (1999). *La xilología y las propiedades mecánicas de cinco maderas*. La Plata - Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de la Plata.
- [13] Silva, O. J. (2018). *CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS DE CONCRETO*. Colombia: ARGOS 360 EN CONCRETO.