

# Comparative analysis of the physical-mechanical properties of eucalyptus, tornillo and moena wood for structural use in houses in Cajamarca

Carrión Rabanal Katia Nataly, Ing<sup>1</sup>, Anticona Ruiz Denner Ademar <sup>2</sup>; and Castañeda Diaz Daniela Alexandra <sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, [katia.carrion@upn.edu.pe](mailto:katia.carrion@upn.edu.pe), [N00309931@upn.pe](mailto:N00309931@upn.pe)

<sup>2</sup>Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, [N00309873@upn.pe](mailto:N00309873@upn.pe)

**Abstract-** *The purpose of this research work is to compare the physical-mechanical properties of three species of wood, eucalyptus, moena and tornillo, for which tests were carried out with 4 test tubes for each type of specimen, with a total of 12 test tubes. they were made in the concrete laboratory of the private university of the north, at the Cajamarca headquarters. The tests that were carried out were the following: moisture content (E=2.199%, M=0.843%, T=2.153%), basic density (E=0.565 gr/cm<sup>3</sup>, M=0.576 gr/cm<sup>3</sup>, M= 0.546 gr /cm<sup>3</sup>), compressive strength parallel to the fibers (E= 202.3 kg/cm<sup>2</sup>, M=194.82 kg/cm<sup>2</sup>, T=194.51 kg/cm<sup>2</sup>), flexural strength (E=842.56 kg/cm<sup>2</sup>, M=671.08 kg/cm<sup>2</sup>, T=260.5kg/cm<sup>2</sup>). Being the eucalyptus and moena the most resistant and recommended for structural purposes.*

**Keywords:** *Wood, physical properties, mechanical properties.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de las maderas de eucalipto, tornillo y moena para uso estructural en viviendas de Cajamarca

Carrión Rabanal Katia Nataly, Ing<sup>1</sup>, Anticona Ruiz Denner Ademar<sup>2</sup>; and Castañeda Diaz Daniela Alexandra<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, [katia.carrion@upn.edu.pe](mailto:katia.carrion@upn.edu.pe), [N00309931@upn.pe](mailto:N00309931@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, [N00309873@upn.pe](mailto:N00309873@upn.pe)

**Resumen-** La finalidad del presente trabajo de investigación es comparar las propiedades físico-mecánicas de tres especies de madera, eucalipto, moena y tornillo, para lo cual se realizó ensayos con 4 probetas por cada tipo de espécimen, con un total de 12 probetas, los ensayos fueron realizados en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte que cuenta certificación de calidad y certificación de equipos calibrados periódicamente, en la sede de Cajamarca. Los ensayos que se realizaron fueron los siguientes: contenido de humedad ( $E=2.199\%$ ,  $M=0.843\%$ ,  $T=2.153\%$ ), densidad básica ( $E=0.565 \text{ gr/cm}^3$ ,  $M=0.576 \text{ gr/cm}^3$ ,  $M=0.546 \text{ gr/cm}^3$ ), resistencia a la compresión paralela a las fibras ( $E=202.3 \text{ kg/cm}^2$ ,  $M=194.83 \text{ kg/cm}^2$ ,  $T=194.52 \text{ kg/cm}^2$ ), resistencia a la flexión ( $E=842.56 \text{ kg/cm}^2$ ,  $M=671.08 \text{ kg/cm}^2$ ,  $T=574.22 \text{ kg/cm}^2$ ). Siendo el eucalipto y moena las más resistentes y recomendables para fines estructurales.

**Palabras clave:** Madera, propiedades físicas, propiedades mecánicas

## I. INTRODUCCIÓN

En la historia y la cultura peruana la madera ha tomado un desempeño significativo en la construcción, es un recurso abundante que el Perú ha sabido aprovechar las propiedades únicas de la madera para crear estructuras emblemáticas y promover la sostenibilidad en la industria de la construcción, es un material abundante y versátil que se puede encontrar en diferentes regiones del país, además es una de las principales materias primas más utilizadas en obras de construcción (viviendas, puentes, embarcaciones, edificios entre otros).

Presenta diversas propiedades físicas y mecánicas, las cuales hacen que sea un material importante para el uso en obras estructurales de viviendas. Actualmente en los procesos informales de construcción se desconocen sus propiedades y hace que utilicen maderas no aptas y/o desfavorables para obras civiles. Asimismo, se sabe que la madera es un material muy utilizado en construcciones de viviendas, tiene diferentes fines dependiendo en lo que se quiera utilizar, de acuerdo con su comportamiento mecánico de resistencia al soportar cargas estructurales.

La madera es un material adquirido de los troncos de los árboles. Su formación se debe a una capa llamada cámbium, ubicada entre el tronco y la corteza. Esta capa origina corteza hacia el exterior y madera hacia el interior; este fenómeno se produce de diferentes maneras en dos

estaciones del año. En primavera el cámbium genera células de paredes delgadas mientras que después del verano, las células son de paredes más gruesas [1].

El eucalipto tiene como nombre científico *Eucalyptus Globulus Labill* y es una madera de gran resistencia que llega a medir entre 45 y 75m como máximo, apta incluso para exteriores, pero difícil de trabajar. Aunque tiene uno de los mayores potenciales de explotación su mala fama hace que pase desapercibida como especie maderable [2].

El tornillo tiene como nombre científico *Cedrelinga cateniformis*. Es una especie de madera que se desarrolla en el Perú en los departamentos de Huánuco, Loreto, Madre de Dios, San Martín y Ucayali. La altura que llega alcanzar esta entre los 20 y 40m, con un diámetro que varía entre 0.15 y 1.2m [3].

La moena amarilla tiene como nombre científico *Aniba amazónica Meiz*. Es una especie de madera que llega medir 22m de altura. Es de dureza media y fácil de trabajar, utilizada en estructuras de viviendas [4].

En Cajamarca la madera ofrece una amplia gama de posibilidades, gracias a las diversas especies disponibles, algunos como el tornillo, moena y el eucalipto. Cada una de estas especies tienen características particulares que las hacen aptas para diferentes usos en la construcción, desde estructuras duraderas hasta la creación de elementos decorativos de gran valor artístico.

Además, presentan ventajas térmicas y ambientales. Es un material ligero y resistente que soporta cargas significativas, como por ejemplo el eucalipto que tiene una capacidad de aislamiento térmico y acústico que lo convierte en una lección inteligente para la construcción, es renovable y biodegradable reduciendo su huella de carbono y promueve la sostenibilidad en la industria de obras civiles.

Las propiedades físicas y mecánicas son características que se estudian en base de su estructura interna y externa. Existe diferentes propiedades como la densidad básica, contenido de humedad compresión, flexión, etc.

En el presente trabajo de investigación se realiza un análisis comparativo de propiedades físicas (densidad básica y contenido de humedad) y mecánicas (compresión paralela y flexión) de tres tipos de especies de madera como el tornillo, eucalipto y moena. Estos ensayos se realizan con el fin de

saber la especie de madera que se debe utilizar para obras estructurales en viviendas de Cajamarca. La madera es utilizada de diferentes formas como soleras, tablas, vigas, dinteles entre otras. De acuerdo con su comportamiento frente a la resistencia en flexión y compresión recomendar su respectivo uso como material estructural en obras de construcción de viviendas. El objetivo de esta investigación es realizar una comparación de propiedades físico-mecánicas del tornillo, eucalipto y moena para brindar alternativas del uso adecuado para la construcción de viviendas estructurales de Cajamarca.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de los ensayos de contenido de humedad, densidad básica y compresión, se utilizó 2 probetas de cada tipo de madera, las cuales tenían una medida de 2" x 2" x 6" cada una, sumando así un total de 6 probetas para los tres ensayos. Para el ensayo de resistencia a la flexión, se utilizó 2 probetas de cada especie con una medida de 2" x 2" x 30" cada una, teniendo un total de 6 probetas para dicho ensayo.

### A. Contenido de humedad (CH)

Representa la relación entre la masa del agua que contiene y la masa de la madera sin agua (seco) expresado en porcentaje. Para la realización de este ensayo se utilizó 2 probetas de madera de eucalipto, 2 de moena y 2 de tornillo con una medida de 2" x 2" x 6" cada probeta, también se utilizó una balanza y un horno.

$$CH(\%) = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

Ph: peso de la muestra natural.

Ps: peso de la muestra seca al horno.

### B. Densidad básica (DB)

Representa la relación entre el peso seco de la madera y el volumen natural. Para la realización de este ensayo se utilizó 2 probetas de madera de eucalipto, 2 de moena y 2 de tornillo cada probeta con una medida de 2" x 2" x 6", además utilizamos vernier, horno y una balanza.

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

Donde:

$\rho$ : Densidad básica (gr/cm<sup>3</sup>)

P: Peso de la muestra en estado anhidro (gr).

V: volumen de la muestra en estado natural (cm<sup>3</sup>).

### C. Compresión paralela

Una madera es sometida a un esfuerzo de compresión paralelo cuando el esfuerzo tiende a acortar las mismas en el sentido longitudinal. Para la realización de este ensayo se utilizó 2 probetas de eucalipto, 2 de moena y 2 de tornillo con una medida de 2" x 2" x 6" cada probeta, asimismo

utilizamos una máquina para compresión, deformímetro y un vernier.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)

F: Carga (kg)

A: Área transversal de la probeta (cm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma \quad (4)$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  : Esfuerzo admisible (kg/cm<sup>2</sup>)

F.C.: Coeficiente de reducción por calidad (defectos)

F.T.: Coeficiente de reducción por tamaño  $(50/h)^{\frac{1}{9}}$ , (h en mm).

F.S.: Coeficiente de Seguridad

F.D.C.: Coeficiente de duración de carga

### D. Flexión

Es la resistencia que ofrece la madera a la deformación, soporta un peso uniformemente repartido en su longitud en un solo o varios puntos. Los materiales que se usaron para realizar este ensayo son 2 probetas de maderas de eucalipto, 2 de moena y 2 de tornillo cada probeta con una medida de 2" x 2" x 30", además utilizamos una máquina de flexión, nivel de ingeniero, deformímetro y wincha.

$$R = \frac{F \times L}{b \times h^2} \quad (5)$$

Donde:

R: Resistencia a la Flexión

F: Carga ultima a flexión

L: Luz libre entre apoyos

b: Ancho de la probeta

h: Altura de la probeta

$$\sigma_{adm} = \frac{F.C.*F.T.}{F.S.*F.D.C.} * \sigma \quad (6)$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  : Esfuerzo admisible (kg/cm<sup>2</sup>)

F.C.: Coeficiente de reducción por calidad (defectos)

F.T.: Coeficiente de reducción por tamaño  $(50/h)^{\frac{1}{9}}$ , (h en mm).

F.S.: Coeficiente de Seguridad

F.D.C.: Coeficiente de duración de carga

Se recolectaron los datos de los ensayos de densidad básica, contenido de humedad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. Utilizamos protocolos establecidos por las Normas Técnicas Peruanas para maderas para obtener los datos deseados, los cuales los pasamos a hojas de cálculo de Excel para poder obtener los promedios de cada tipo de madera respecto a cada ensayo.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran las tablas y gráficos con los datos obtenidos de cada ensayo realizado.

Tabla 1. Contenido de humedad del eucalipto, tornillo y moena

Descripción	Eucalipto		Moena		Tornillo	
C.H de cada probeta	2.32	2.07	0.07	1.61	2.15	2.14
C. H.	7	2	0	7	8	9
Promedio (%)	2.199		0.843		2.153	
Desv. Est.	0.180		1.094		0.006	

Nota: Esta tabla muestra los valores de contenido de humedad de las maderas Eucalipto, Tornillo y Moena.

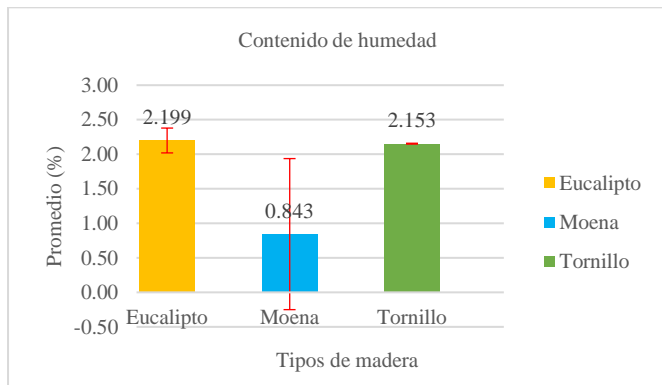


Fig. 1 Promedios de contenido de humedad de cada madera estudiada.

Los resultados muestran que el eucalipto tiene el mayor contenido de humedad respecto a la moena y tornillo. Asimismo, la moena presenta una mayor variabilidad en sus datos de “W%” a comparación del eucalipto y tornillo.

Tabla 2. Densidad básica del eucalipto, moena y tornillo

Descripción	Eucalipto		Moena		Tornillo	
D.B de cada probeta	0.56	0.56	0.57	0.57	0.60	0.48
D.B.	7	3	9	4	5	8
Promedio	0.565		0.576		0.546	
Desv. Est.	0.003		0.004		0.083	

Nota: En la presente tabla se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de densidad básica de las maderas Eucalipto, Tornillo y Moena.

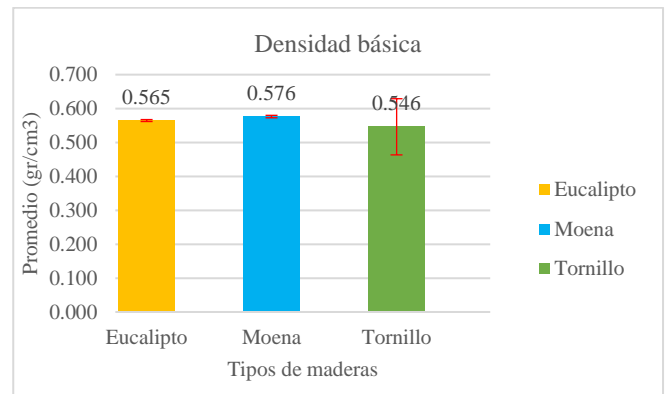


Fig. 2 Promedios de densidades de cada madera estudiada.

Los resultados muestran que la moena tiene una mayor densidad básica respecto al eucalipto y tornillo. Asimismo, el Tornillo presenta una mayor variabilidad en sus datos de “ρ” a comparación del eucalipto y moena.

Tabla 3. Resistencia a la compresión del eucalipto, moena y tornillo

	Resistencia a la Compresión		
	Eucalipto	Moena	Tornillo
Largo (cm)	5.1	5.05	4.95
Ancho (cm)	5.2	5.1	4.9
Área (cm²)	26.52	25.755	24.255
Última carga (kg)	12145	11367.5	10684
Esfuerzo (kg/cm²)	457.96	441.04	440.33
Esfuerzo admisible (kg/cm²)	202.3	194.83	194.52
Tiempo (s)	58	50	49.5
Velocidad de carga (kg/s)	211.84	238.47	215.89
Desv. Est.	13.711	20.620	9.894

Nota: En esta tabla se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de las maderas Eucalipto, Tornillo y Moena.

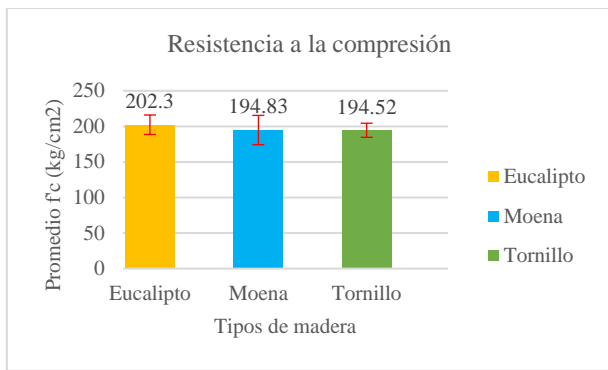


Fig. 3 Promedios de resistencia a la compresión de cada madera estudiada.

Los resultados muestran que el eucalipto tiene una mayor resistencia a la compresión respecto a la moena y tornillo. Asimismo, la moena presenta una mayor variabilidad en sus datos de “f”c a comparación del eucalipto y tornillo.

Tabla 4. Resistencia a la flexión del eucalipto, moena y tornillo

Resistencia a la Flexión			
	Eucalipto	Moena	Tornillo
Largo (cm)	5.1	5.05	4.95
Ancho (cm)	5.2	5.1	4.9
Área (cm <sup>2</sup> )	26.52	25.755	24.255
Última carga (kg)	1948	1492	1178.5
Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	842.56	671.08	574.22
Esfuerzo admisible (kg/cm <sup>2</sup> )	263.76	210.08	179.76
Tiempo (s)	289.50	258.50	260.50
Velocidad de carga (kg/s)	2.91	2.60	2.20
Desv. Est.	57.445	0.796	15.423

Nota: Esta tabla muestra los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión de las maderas Eucalipto, Tornillo y Moena.

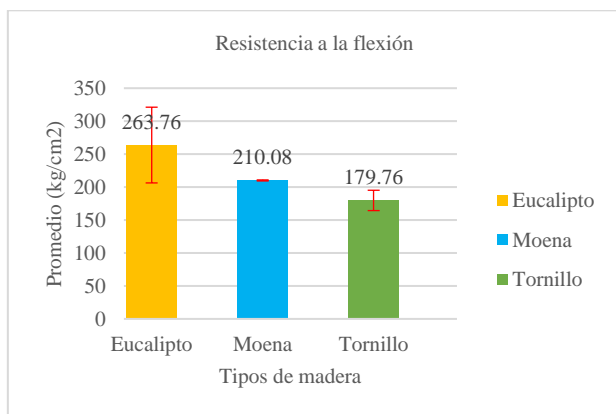


Fig. 4 Promedios de Resistencia a la flexión de cada madera estudiada.

Los resultados muestran que el eucalipto tiene una mayor resistencia a la flexión respecto a la moena y tornillo. Asimismo, el eucalipto presenta una mayor variabilidad en sus datos de “flexión” a comparación de la moena y tornillo.

Tabla 5. Agrupamiento de las maderas de eucalipto, moena y tornillo según la norma E 010 (RNE)

PROPIEDADES FÍSICAS-MECANICAS	Eucalipto	Tornillo	Moena
Densidad básica	B	C	B
Resistencia a la flexión	A	B	A
Resistencia a la compresión	A	A	A

Nota: Esta tabla muestra la clasificación de cada tipo de madera según la densidad básica, resistencia a la compresión y flexión establecido en la norma E 010.

Destaquemos que la Moena tiene mayor densidad básica con 0.576 g/cm<sup>3</sup>, el Tornillo tiene la menor densidad básica siendo de 0.546 g/cm<sup>3</sup> y el de Eucalipto siendo de 0.565 mostrados en la tabla 2. Los resultados de este ensayo para Valera y Alva (2019), obtuvieron que el eucalipto tiene una densidad básica de 0.851 g/cm<sup>2</sup> y el tornillo de 0.663 g/cm<sup>2</sup> [5]. Siendo así que ambos autores clasifican al eucalipto en el grupo A y el tornillo en el grupo B; en ambos estudios realizados cada una de las especies son aptas para la construcción de viviendas estructurales según la tabla específica en la norma E 010.

En el ensayo de resistencia a la compresión, el Eucalipto tiene mayor esfuerzo admisible siendo 202.3 kg/cm<sup>2</sup>, el Tornillo teniendo la menor resistencia siendo 194.51 kg/cm<sup>2</sup> y la Moena una resistencia de 194.82 kg/cm<sup>2</sup>. Después del ensayo de compresión se revisó el tipo de falla de cada madera y se verificó que todas las probetas tuvieron una falla de aplastamiento (plano de ruptura profundamente horizontal). Por tanto, las maderas ensayadas son estructurales según su agrupamiento de esfuerzos admisibles especificada en la norma E 010.

Para el ensayo de resistencia a la flexión se obtuvo que el Eucalipto tiene mayor resistencia siendo 842.56 kg/cm<sup>2</sup>, el Tornillo el de menor resistencia a la flexión siendo 574.22 kg/cm<sup>2</sup> y el de Moena siendo 671.06 kg/cm<sup>2</sup>. Siendo así que cada especie es apta para la construcción de viviendas.

#### IV. CONCLUSIONES

Se logró realizar una comparación de propiedades físico-mecánicas del tornillo, eucalipto y moena; recomendamos más el eucalipto y la moena para la construcción de viviendas estructurales en Cajamarca.

Las tres maderas son aptas para la construcción de viviendas según la norma E010. Y concluimos que el Eucalipto posee más resistencia a la compresión y resistencia a la flexión que las demás probetas de maderas analizadas en este estudio.

Las maderas de Eucalipto, Moena y Tornillo fueron agrupadas de acuerdo con la norma E010, la cual los agrupa

respecto a sus propiedades físicas y mecánicas. De acuerdo con los ensayos de compresión y flexión, el eucalipto y la moena se clasifican en el grupo A mientras que el tornillo en el grupo B. Y según su densidad básica, el Eucalipto y la Moena pertenecen al grupo B; por otro lado, el Tornillo pertenece al grupo C.

Una limitación durante la elaboración de este trabajo fue la no realización del ensayo de cortante, debido a que no se tenía disponible el acople de la prensa hidráulica, motivo por el cual se sugiere llevar a cabo el ensayo en futuras investigaciones que permitan ampliar el conocimiento con respecto a esta propiedad mecánica.

En el presente estudio se utilizó un tamaño pequeño de muestra, a conveniencia del investigador, sin embargo, se sugiere utilizar una muestra más grande para tener resultados más significativos con respecto a la variabilidad de los datos mostrados en las barras de error de cada ensayo.

#### REFERENCIAS

- [1] Urban, P. (2013). Construcción de estructuras de madera. San Vicente: Editorial Club Universitario. [https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=\\_In6DQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=madera+como+material+estructural+en+la+construcci%C3%B3n&ots=HXBow9U0GI&sig=LvpaYq0aU2Q3QucgoJ6VpUTA1o8#v=onepage&q=madera%20como%20material%20estructural%20en%20la%20construcci%C3%B3n&f=false](https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=_In6DQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=madera+como+material+estructural+en+la+construcci%C3%B3n&ots=HXBow9U0GI&sig=LvpaYq0aU2Q3QucgoJ6VpUTA1o8#v=onepage&q=madera%20como%20material%20estructural%20en%20la%20construcci%C3%B3n&f=false)
- [2] Vásquez, B. y Kley, A. (2021). Evaluación del comportamiento estructural de la madera tornillo dependiendo del contenido de humedad – Chiclayo. [Tesis para obtener el título profesional-Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58276/V%c3%a1squez\\_BAK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/58276/V%c3%a1squez_BAK-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [3] Yosa, L.; Baradit, E. & Acevedo, M. (2014). Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de especies, pino (*Pinus patula*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) provenientes del Perú utilizando técnicas no destructivas. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/758/726>
- [4] Veintemilla, L. (2015). Crecimiento inicial de plántulas de “moena amarilla”, “leche caspi” y “requia”, en dos tipos de siembra en bosques secundarios. Puerto Almendra, Iquitos, Perú. [Tesis para optar el título-Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5517/Liz\\_Tesis\\_Titulo\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5517/Liz_Tesis_Titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [5] Valera, C. & Alva, A. (2019). Comparación de Las Propiedades Físico-Mecánicas de Las Maderas Eucalipto, Tornillo y Copaiba para Encofrados en Obra, 2019. [https://www.laccei.org/LACCEI2021-VirtualEdition/full\\_papers/FP123.pdf](https://www.laccei.org/LACCEI2021-VirtualEdition/full_papers/FP123.pdf)