

Propiedades físico mecánicas de *Pinus radiata* y su aplicación en el diseño estructural de viviendas

Physical-mechanical properties of *Pinus radiata* and their application to the structural design of a house

Reyner Vásquez Becerra¹ *  José Luis Silva Tarrillo¹ 

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

* Autor de correspondencia [e-mail: reinervasquezb.25@gmail.com]

RESUMEN

El uso de madera como recurso constructivo ecológico y eco armónico se ha convertido en un insumo de gran importancia, en ese contexto el objetivo en este estudio fue determinar las propiedades físico mecánicas de la madera de *Pinus Radiata* en el C.P. Santa Clara, Chalamarca. Para ello se colectó una muestra de cinco árboles de pino con diámetro de tronco mayor a 12", para la elaboración de 40 probetas. La madera presentó densidad básica de 0.50 g/cm³ en promedio, el módulo de elasticidad (MOE) en las direcciones paralela y perpendicular superó los 90,000.0 kg/cm², pero en flexión estática el MOE fue de 55,000.0 kg/cm², y, los esfuerzos admisibles a flexión, compresión paralela, perpendicular, tracción paralela y corte paralelo fueron de 81.79 kg/cm², 90.25 kg/cm², 112.53 kg/cm², 143.63 kg/cm², y 8.10 kg/cm², respectivamente. La madera de *Pinus radiata* no se encuentra dentro del grupo C, porque, el esfuerzo admisible a flexión está por debajo de 100 kg/cm², sin embargo, se puede utilizar en la construcción de edificaciones como pilares, tijerales, correas y armaduras previo diseño y modelamiento estructural.

Palabras clave: pino, esfuerzo admisible, módulo de elasticidad, resistencia a flexión.

ABSTRACT

The use of wood as an ecological and eco-harmonic construction resource has become an input of great importance. In this context, the objective of this study was to determine the physical-mechanical properties of *Pinus Radiata* wood in Santa Clara, Chalamarca. For this purpose, a sample of five pine trees with a trunk diameter greater than 12" was collected for the elaboration of 40 test tubes. The wood had a basic density of 0.50 g/cm³ on average, the modulus of elasticity (MOE) in the parallel and perpendicular directions exceeded 90,000.0 kg/cm², but in static bending the MOE was 55,000.0 kg/cm², and the admissible stresses in bending, parallel and perpendicular compression, parallel traction and parallel shear were 81.79 kg/cm², 90.25 kg/cm², 112.53 kg/cm², 143.63 kg/cm², and 8.10 kg/cm², respectively. *Pinus radiata* wood is not included in group C, because the allowable bending

stress is below 100 kg/cm^2 , however, it can be used in the construction of buildings as pillars, scissors, purlins and trusses after structural design and modeling.

Keywords: pine, allowable stress, modulus of elasticity, flexural strength.

INTRODUCCIÓN

En el marco de la sostenibilidad en la construcción, ha cobrado gran importancia el uso de la madera como recurso constructivo ecológico y eco armónico (Gan et al., 2019). La madera es un material abundante, estéticamente agradable, que no genera un quiebre estético con el entorno natural, además, tiene menor espesor por lo que ahorra significativamente el espacio en la distribución de ambientes, siendo un material de fácil construcción (Zhu et al., 2020); sin embargo, la madera también tiene limitaciones, por ello, Hussein et al. (2020) argumentan que, para definir sus aplicaciones estructurales, es pertinente conocer sus propiedades físicas y mecánicas.

En el Perú, existe variedad de especies arbóreas, cuya madera es utilizada en la construcción de viviendas, según, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018) en el censo de 1993, 2007 y 2017, las viviendas construidas con madera fueron de 310,379, 617,742, y 727,778, respectivamente, con una tasa anual de incremento 1.7%.

Sin embargo, la norma E.010 indica los valores de propiedades físicas y mecánicas que la madera debe cumplir para ser agrupada o clasificada dentro del uso estructural A, B o C (MVCS, 2014), no obstante, en dicha norma solo se han analizado 25 de las 237 especies maderables con fines comerciales de acuerdo con SERFOR (2018).

El pino, es una especie exótica que, se desarrolla desde los 950 a

2,800.0 m.s.n.m.; el tronco puede alcanzar hasta 120 cm de diámetro, y llega hasta 45 m de altura, por lo que, es común su uso en la industria de la construcción (Alongi & Ulrich, 2021). SERFOR (2020) describió a *Pinus radiata* como una de las especies forestales de pino con mayor producción e importancia en el país, en el 2019 se ha producido $4,723.58 \text{ m}^3$ y 36.12 m^3 de madera rolliza y madera aserrada, respectivamente. En Cajamarca, según SERFOR (2017) en el año 2017, las áreas reforestadas fueron 350.50 ha, siendo, la producción de madera rolliza y aserrada de $20,434.47 \text{ m}^3$ y 724.21 m^3 , respectivamente.

Brunetti et al. (2020) refieren que, toda especie forestal para ser utilizada en construcción, requiere de una caracterización estructural; en ese sentido, Cotrina-Villanueva et al. (2014) determinaron que *Pinus radiata*, pertenece al grupo "B" según la norma E.010, en cambio, Yoza et al. (2015) lo clasificaron en el grupo "C". Esta variación se debe al efecto de la procedencia de la madera de pino, puesto que fueron cultivados en distintas comunidades de la región. Además, Cotrina-Villanueva et al. (2014) argumentan que, para definir el uso estructural de la madera se debe evaluar sus características físico mecánicas con la norma E.010 (MVCS, 2014).

En las comunidades del distrito de Chalamarca, Chota, Cajamarca, el uso de ladrillo y cemento, demanda mayor costo para el poblador, por el transporte, además, corren el riesgo de sufrir daños mecánicos durante el traslado. Por tal

motivo, los pobladores emplean en sus construcciones pilares, armaduras y vigas de madera local, entre tanto, se desconocen las propiedades físicas y mecánicas de muchas de las madereras, por lo que, no se puede definir su uso estructural según las recomendaciones de la norma E.010 (MVCS, 2014). En ese contexto, el objetivo en este trabajo fue determinar las propiedades físico mecánicas de la madera de *Pinus radiata* del en el C.P. Santa Clara, Chalamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó durante el año 2022

en el bosque de pino de 21,034 m² con aproximadamente 1,800 árboles (Figura 1). Está ubicado en el centro poblado Santa Clara, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, a 30 minutos de la ciudad de Chalamarca por carretera afirmada en condiciones regulares Chalamarca – Santa Clara, está localizado en las coordenadas UTM 17S 780184.81E y 9,278,232.83 S-WGS84 y a 2,635 m.s.n.m. El clima del lugar presenta inviernos muy fríos y veranos calurosos, con temperaturas que van de 10 °C a 25 °C, humedad relativa promedio de 56%, precipitaciones pluviales máximas de 115 mm/h (SENAMHI, 2023).

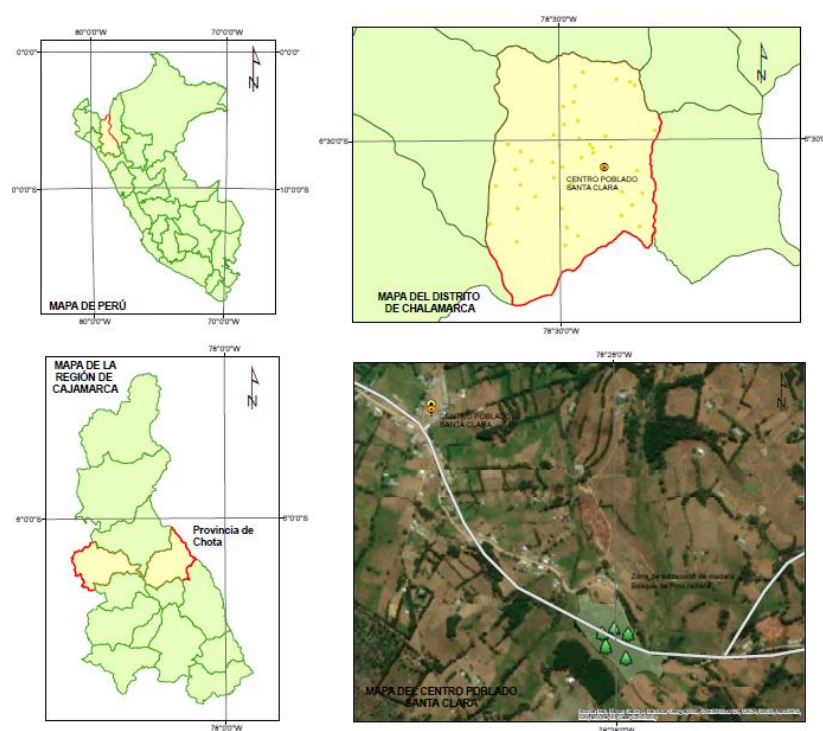


Figura 1. Ubicación del bosque *Pinus radiata* en Santa Clara, Chalamarca.

Colecta de datos

En el bosque, se talaron cinco árboles que fueron tomados al azar siguiendo las recomendaciones de la NTP 251.008 (2016), donde se menciona que, una vez situado en el centro del bosque, se toma un rumbo (N,S,E,O) al azar, utilizando un elemento

direccionador de acero similar a una ruleta; definida la dirección, se transita en el bosque hasta llegar al primer árbol en la trayectoria, en seguida, se registraron las coordenadas UTM y características de los árboles seleccionados, utilizando GPS Portátil Garmin 79S (Tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas UTM y características dasométricas de los árboles de pino seleccionados para su tala en el bosque de Santa Clara, Chalamarca, 2022.

| Árbol | DAP (cm) | AT (m) | AC (m) | Color de corteza | Coordenadas UTM | |
|-------|-------------|-----------|-----------|---------------------|-----------------|--------------|
| | | | | | Este | Norte |
| 1 | 35 | 16 | 14 | Café grisáceo | 780,206.09 | 9,278,249.38 |
| 2 | 34 | 17 | 14 | Café grisáceo | 780,200.18 | 9,278,191.00 |
| 3 | 34 | 17 | 15 | Café grisáceo | 780,172.30 | 9,278,262.73 |
| 4 | 32 | 15 | 12 | Café grisáceo | 780,151.23 | 9,278,220.18 |
| 5 | 34 | 18 | 16 | Café oscuro | 780,143.69 | 9,278,252.16 |

Nota: DAP= Diámetro a la altura del pecho, AT= Altura total, AC= Altura comercial.

Después de haber talado los árboles en trozas del diámetro del árbol y longitud de 400 cm, se obtuvieron viguetas de 20 cm de ancho y 400 cm de largo con herramientas manuales, tal como, la sierra eléctrica circular de mano 7-1/4" 1200W+Disco Skil. Estas viguetas se cortaron en un aserradero con especial cuidado para formar las probetas con

dimensiones variables (Figura 2) según el tipo de ensayo tal como, se describe en las normas técnicas peruanas (NTP). Las muestras se codificaron con esmalte color rojo y se trasladaron cubiertas con aserrín en una caja hermética para evitar su pérdida de humedad, por transporte vehicular hasta los respectivos laboratorios.

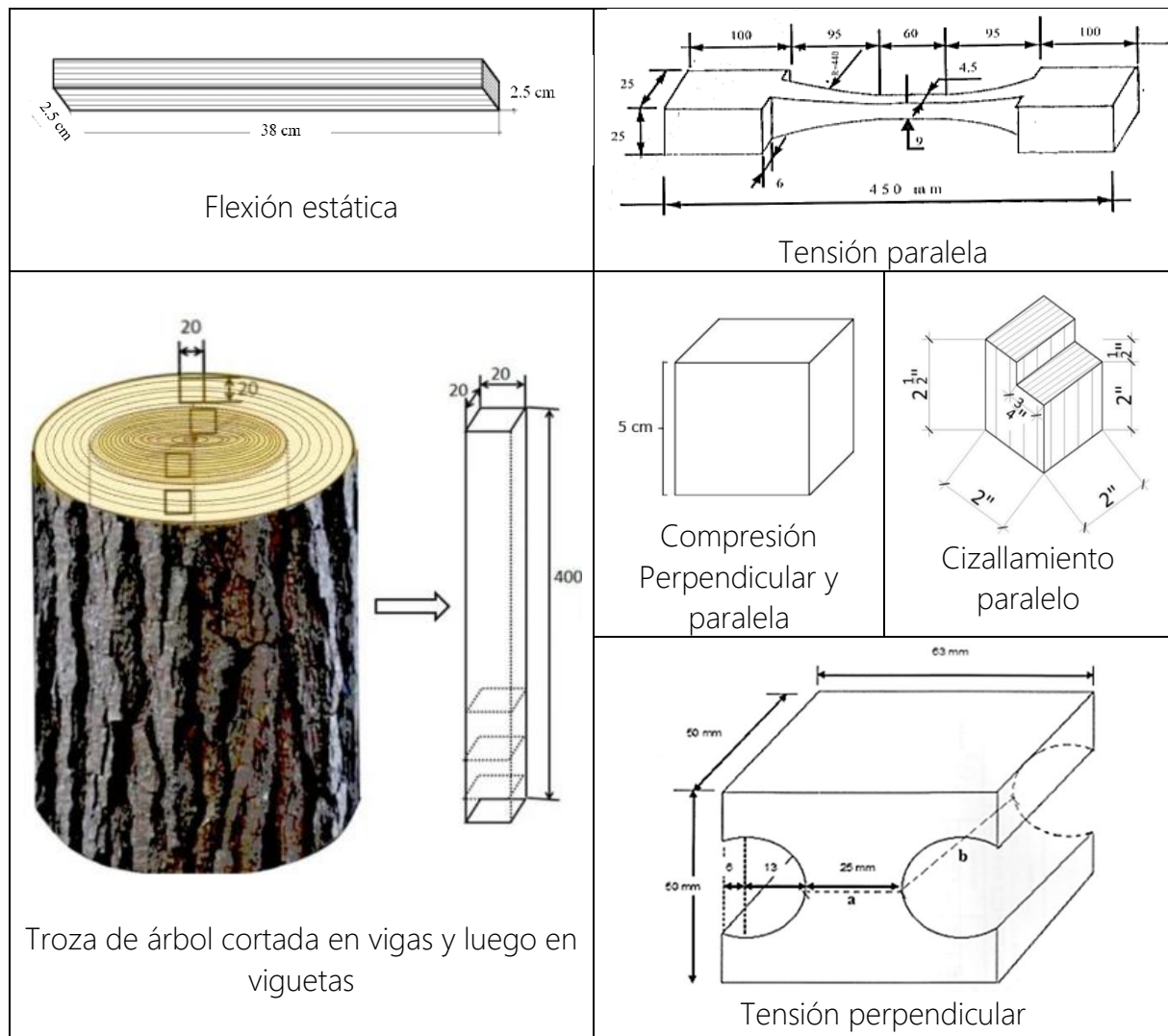


Figura 2. Dimensiones de las muestras de *Pinus radiata* para ensayos físico mecánicos.

En el laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), se realizaron los ensayos de tensión paralela (NTP 251.085, 2017), tensión perpendicular (NTP 251.086, 2015) y cizallamiento (NTP 251.013, 2015), y en el laboratorio "Servicios de Exploración Geotécnica, Asfalto y Ensayo de Materiales" (SEGEMA) de Chiclayo, Lambayeque, se realizaron los ensayos de densidad básica (NTP 251.011, 2019), compresión paralela al grano (251.014, 2020), compresión perpendicular (NTP 251.016, 2015), flexión estática (NTP 251.017, 2014) y contenido de humedad (NTP 251.010, 2020), para verificar que, las

probetas estén en estado húmedo (> 12%)..

Diseño experimental

Se trabajó con un muestreo probabilístico de población finita aleatorio simple. Del total de árboles el 99% poseen diámetro mayor a 12", por tanto, en la Ecuación 1 para el cálculo de la muestra se ha tomado a: $p = 0.99$ y $q = 0.01$, para un nivel de confianza del 95%, con $Z = 1.96$, y error $d = 10\%$, dando un total de cuatro árboles de pino, sin embargo, la norma NTP 251.008 (2016) indica que, la muestra debe ser como mínimo de cinco árboles cuando tienen un tronco superior a 12". Por tanto,

para este estudio se utilizaron cinco árboles de los cuales se obtuvieron 40 probetas con medidas diferentes según las respectivas normas técnicas peruanas (NTP).

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N-1) + Z^2 \times p \times q} = \frac{1800 \times 1.96^2 \times 0.99 \times 0.01}{0.10^2 \times (1800-1) + 1.96^2 \times 0.99 \times 0.01} = 4 \quad (1)$$

Donde:

N= muestra

Z= constante que depende del nivel de confianza 95%

p= proporción de la población que tiene el fenómeno de estudio.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: en propiedades físicas: contenido de

humedad (Ecuación 2) y densidad básica (Ecuación 3). En propiedades mecánicas: módulo de elasticidad a flexión (Ecuación 4), módulo de rotura a flexión (Ecuación 5), esfuerzo de la fibra al límite proporcional a flexión (Ecuación 6); módulo de elasticidad (Ecuación 7), módulo de rotura (Ecuación 8) y esfuerzo de la fibra al límite proporcional (Ecuación 9) de la resistencia a tracción paralela, compresión paralela, compresión perpendicular y corte paralelo. Obtenidos los esfuerzos básicos (Propiedades mecánicas) se transforman en esfuerzos admisibles, multiplicando estos por factores de corrección (Alvis-Gordo et al., 2017), tal como, en la ecuación 10. Los esfuerzos admisibles se utilizaron para el diseño estructural de una vivienda en el programa estructural SAP 2000.

$$\text{Contenido de humedad \%} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad (2)$$

$$\delta b = \frac{m_o}{V_v} \quad (3)$$

Donde, δb es la densidad básica, m_o masa anhidrida de la madera, V_v volumen verde de la madera.

$$\text{MOE} = \frac{P'L^2}{4ae^2Y} \quad (4)$$

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2ae^2} \quad (5)$$

$$\text{ELP} = \frac{3P'L}{2ae^2} \quad (6)$$

Donde: MOE módulo de elasticidad, MOR módulo de rotura, ELP esfuerzo de la fibra al límite proporcional, L luz de la probeta

cm, P carga, P' carga al límite proporcional kg, a ancho de la probeta cm, e espesor de la probeta cm, Y deflexión en el centro de la probeta al límite proporcional cm.

$$\text{MOE} = \frac{P'D}{AY} \quad (7)$$

$$\text{MOR} = \frac{P}{A} \quad (8)$$

$$\text{ELP} = \frac{P'}{A} \quad (9)$$

Donde: MOE módulo de elasticidad a compresión, tracción y corte paralelo, MOR módulo de rotura, ELP esfuerzo de la fibra al límite proporcional a compresión, tracción y corte paralelo, A superficie de la

sección transversal de la probeta, P carga máxima soportada por la probeta en kg, P' carga al límite proporcional, D distancia entre las abrazaderas, 15 cm, Y deformación al límite proporcional.

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{F.C. \times F.T.}{FS \times F.D.C.} \times \text{Esfuerzo Básico} \quad (10)$$

Donde:

FC= de reducción de masa (defecto),

FT= de reducción de tamaño;

FS= coeficiente de seguridad,

FDC= coeficiente de duración de carga.

Análisis estadístico

Los datos fueron tabulados en Microsoft Excel, en seguida, fueron sometidos a la prueba de normalidad de datos a través del método Anderson-Darling, posteriormente se realizó la prueba de T-Student a 5% de probabilidad con la finalidad de comparar la media recomendada por la norma técnica E.010

con los grupos estructurales (A,B y C). Todos los análisis se realizaron en el programa Minitab 22.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La madera *Pinus radiata* de Santa Clara, Chalamarca, tiene de 16 a 20 anillos, semejante a lo reportado por Li et al. (2021), en árboles entre 20 y 30 años de plantación. En este estudio la madera presentó densidad básica media de 0.496 g/cm³ (Tabla 2).

Tabla 2. Densidad básica de la madera pino del bosque Santa Clara.

| | N° de muestras | Promedio | Máximo | Mínimo | Dev. Estándar | C.V. (%) |
|-------------------------------|----------------|----------|--------|--------|---------------|----------|
| Densidad (g/cm ³) | 5 | 0.496 | 0.52 | 0.47 | 0.02 | 4.18 |

Por tanto, la clasificación preliminar corresponde al grupo C que es de 0.40 a 0.55 g/cm³ de acuerdo la norma E.010 (MVCS, 2014), tal como, el *Pinus radiata* estudiado por Cruz et al. (2018), *Pinus radiata* de China (Xu et al., 2021), el *Pinus radiata* de Nueva Zelanda y pino *Sylvestris de latvia* (Iejavs et al., 2021), pero, mayor que, el *pino oregón* (0.424 g/cm³),

estudiado por Catalán et al. (2019), y el *Pinus Elliottii* (0.403 g/cm³) analizado por Quagliotti et al. (2019).

Las propiedades mecánicas resistencia a compresión paralela y compresión perpendicular de la madera se determinaron en estado húmedo, con un contenido de humedad superior al 22% (Tabla 3).

Tabla 3. Humedad de las probetas sometidas a ensayos mecánicos de la madera *Pinus radiata* del bosque Santa Clara, Chalamarca

| Humedad (%) después del ensayo | Compresión paralela | Compresión perpendicular |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------|
| N° de muestras | 5 | 5 |
| Promedio | 28.76 | 20.11 |
| Máximo | 37.67 | 20.53 |
| Mínimo | 22.13 | 19.76 |
| Dev. Estándar | 5.66 | 0.35 |
| C.V. (%) | 19.67 | 1.76 |

En cambio, Cruz et al. (2018), Catalán et al. (2019), Xu et al. (2021) e Lejavs et al. (2021) analizaron las propiedades mecánicas de la madera en estado seco (humedad < 12%). La humedad media de la madera después del análisis a compresión paralela y perpendicular fue de 28.76% y 20.11%, respectivamente, en ambos casos supera la humedad de 22%, por tanto, los parámetros mecánicos de la madera *Pinus radiata* se han determinado en estado húmedo, siendo este el estado crítico que, sugiere la norma E.010 (MVCS, 2014). La madera tiene humedad alta, lo que significa que se encuentra en estado verde, con agua presente en su matriz, siendo este el estado ideal para los ensayos mecánicos según la norma E.010, debido a que, las propiedades mecánicas son menores en la madera húmeda que, en la madera seca.

En la tabla 4, la resistencia media a la compresión paralela y perpendicular de la madera de pino fue de 180.50 kg/cm² y 180.04 kg/cm², lo que, significa que, tiene capacidad para soportar cargas de aplastamiento, por tanto, se puede utilizar para la fabricación de pilares. La resistencia media a la tracción paralela y perpendicular fue de 574.51 kg/cm² y 18.53 kg/cm², respectivamente. Por tanto, la madera presenta firmeza al estiramiento, sobre todo si las fuerzas se aplican en sentido paralelo. Así mismo, la resistencia media a corte paralelo o cizallamiento fue de 32.42 kg/cm², en ese sentido, es firme frente a al punzonamiento. En cambio, la resistencia media a flexión es relativamente baja en contraste con otras maderas descritas en la norma E.010 (MVCS, 2014) (Catalán et al., 2019).

Tabla 4. Propiedades mecánicas de la madera *Pinus radiata* del bosque Santa Clara, Chalamarca

| Resistencia (kg/cm ²) | Flexión | Compresión paralela | Compresión perpendicular | Tracción paralela | Tracción perpendicular | Corte paralelo (Cizallamiento) |
|-----------------------------------|---------|---------------------|--------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------|
| N° de muestras | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Promedio | 261.18 | 180.50 | 180.04 | 574.51 | 18.53 | 32.42 |
| Máximo | 269.77 | 189.61 | 190.18 | 666.90 | 18.93 | 33.61 |
| Mínimo | 255.85 | 168.92 | 167.73 | 521.08 | 17.95 | 31.16 |
| Dev. Estándar | 5.64 | 8.86 | 8.34 | 56.67 | 0.40 | 0.97 |

El módulo de elasticidad (MOE) a compresión paralela, perpendicular, tracción y corte paralelo fue mayor a 90,000 kg/cm², lo que, significa que, la madera de pino presenta en promedio características elásticas superiores a los límites mínimos dados por la norma E.010 (MVCS, 2014) Resultados diferentes fueron determinados por Cruz et al. (2018) (173,000 kg/cm²) y Catalán et al., (2019) en pino *oregón* con MOE de 102,292 kg/cm². Sin embargo,

el módulo de elasticidad a flexión estática no supera el MOE promedio, pero si el MOE mínimo de 55,000 kg/cm² dado en la norma E.010 (MVCS, 2014), esto significa que, la madera presenta MOE's mucho menores a otros materiales, lo que, limita su aplicación en vigas de luces mayores a 4 m, tal como, la madera pino radiata de Cajamarca estudiada por Cotrina-Villanueva et al. (2014) cuyo MOE a compresión axial es 51,587 kg/cm² (Tabla 5).

Tabla 5. Módulo de elasticidad (MOE) de acuerdo al tipo de esfuerzo al que se ha sometido la madera *Pinus radiata* del bosque Santa Clara, Chalamarca.

| Estadístico | Módulo de elasticidad (MOE) de acuerdo al tipo de esfuerzo (kg/cm ²) | | | | | |
|-------------|--|---------------------|--------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------|
| | Flexión | Compresión paralela | Compresión perpendicular | Tracción paralela | Tracción perpendicular | Corte paralelo (Cizallamiento) |
| Promedio | 55,019.7 | 91,896.7 | 93,586.2 | 95,751.3 | 92,671.8 | 92,625.2 |
| Máximo | 56,855.6 | 96,087.8 | 101,263.0 | 111,149.0 | 94,629.6 | 96,028.1 |
| Mínimo | 53,819.9 | 87,014.1 | 89,343.3 | 86,845.8 | 89,735.0 | 89,035.8 |

Los esfuerzos admisibles promedio de la madera *Pinus radiata* de Santa Clara a compresión paralela superan el esfuerzo admisible mínimo de 80 kg/cm² para clasificarla en el grupo C (MVCS, 2014). El esfuerzo admisible a compresión perpendicular de la madera *Pinus radiata*

supera la firmeza esperada para la clasificación A (40 kg/cm²), lo que, demuestra, la gran capacidad mecánica para resistir cargas a compresión, por lo que, puede utilizarse en la conformación de pilares estructurales (Tabla 6)

Tabla 6. Esfuerzos admisibles de la madera *Pinus radiata* del bosque Santa Clara, Chalamarca.

| Esfuerzos admisibles (kg/cm ²) | Flexión | Compresión paralela | Compresión perpendicular | Tracción paralela | Corte paralelo (Cizallamiento) |
|--|---------|---------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Promedio | 81.76 | 90.25 | 112.53 | 143.63 | 8.10 |
| Máximo | 84.45 | 94.81 | 118.86 | 166.72 | 8.40 |
| Mínimo | 80.09 | 84.46 | 104.83 | 130.27 | 7.79 |

El esfuerzo admisible promedio a tracción paralela supera el mínimo requerido para el grupo C (75 kg/cm^2) y grupo B (105 kg/cm^2), pero no es suficiente para clasificarse dentro del grupo A (145 kg/cm^2), no obstante, se recalca que, presenta tracción paralela incluso mayor a su grupo preliminar de clasificación (C), y al *Pino radiata* analizado por Catalán et al. (2020). El esfuerzo a corte paralelo promedio de la madera de pino se clasifica dentro del grupo C (8 kg/cm^2). En cambio, el esfuerzo a flexión promedio de la madera de pino es 81.76 kg/cm^2 , por lo que, no alcanza la firmeza mínima para clasificarse dentro del grupo C (100 kg/cm^2), es decir la madera de pino no presenta la resistencia suficiente para ser utilizada de forma estructural en vigas y viguetas de una edificación, (Xu et al., 2021), no obstante, como ha presentado buenas características a compresión y tracción, puede utilizarse en pilares y en armaduras de madera para techo

La madera *Pinus radiata* del centro poblado Santa Clara, no se puede clasificar dentro del grupo C, debido a

que, si bien sus propiedades a compresión paralela, perpendicular, corte paralelo, y tracción paralela cumplen con la norma E.010 (MVCS, 2014), los esfuerzos admisibles a flexión no alcanzan ningún grupo de clasificación (A, B, o C). Saavedra et al. (2021) también determinaron que, la madera *Pinus radiata* de la comuna de Yumbel de Chile, presentaba buenas características mecánicas, pero no alcanzaba a cumplir con el marco normativo, en cambio, Cotrina-Villanueva et al. (2014) determinaron que, la madera *Pinus radiata* de Cajamarca se clasificaba en el grupo B. No obstante, aun cuando la madera *Pinus radiata* de Santa Clara no clasifica (Tabla 7) según la normatividad E.010 (MVCS, 2014), puede ser utilizada en la construcción previo diseño estructural, según se ha demostrado en el análisis estadístico t-student (tabla 7) donde se ha considerado como hipótesis alternativa (H1) que el esfuerzo admisible de la madera o MOE es superior al requisito mínimo especificado en la norma E.010 (MVCS, 2014), para clasificarse en el grupo B.

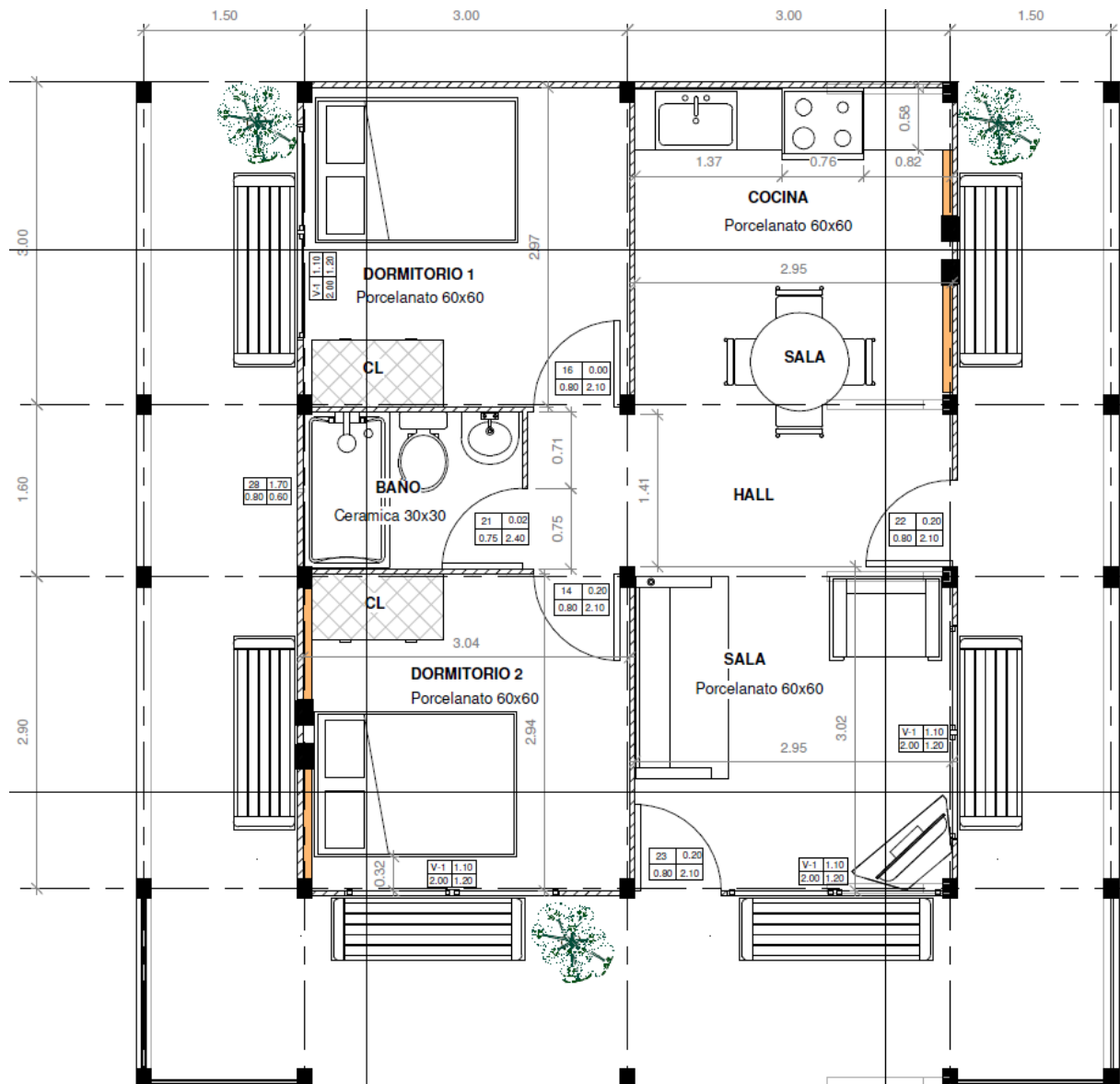
Tabla 7. Prueba t-student para verificar si la madera cumple con la norma E.010 (MVCS, 2014)

| Parámetro | Prueba de hipótesis (kg/cm ²) | Valor T | Valor p |
|-------------------------------------|--|---------|---------|
| MOE Flexión | H ₀ : $\mu < 55000$ H ₁ : $\mu > 55000$ | 0.04 | 0.0487 |
| MOE compresión paralela | H ₀ : $\mu < 90000$ H ₁ : $\mu > 90000$ | 1.16 | 0.0155 |
| MOE compresión perpendicular | H ₀ : $\mu < 90000$ H ₁ : $\mu > 90000$ | 1.78 | 0.0075 |
| MOE tracción paralela | H ₀ : $\mu < 90000$ H ₁ : $\mu > 90000$ | 1.36 | 0.0122 |
| MOE tracción perpendicular | H ₀ : $\mu < 90000$ H ₁ : $\mu > 90000$ | 3.01 | 0.020 |
| MOE corte paralelo | H ₀ : $\mu < 90000$ H ₁ : $\mu > 90000$ | 2.12 | 0.0051 |
| Esfuerzo a Flexión | H ₀ : $\mu < 100$ H ₁ : $\mu > 100$ | -23.08 | 1.000 |
| Esfuerzo a compresión paralela | H ₀ : $\mu < 80$ H ₁ : $\mu > 80$ | 5.17 | 0.003 |
| Esfuerzo a compresión perpendicular | H ₀ : $\mu < 15$ H ₁ : $\mu > 15$ | 41.85 | 0.000 |
| Esfuerzo a tracción paralela | H ₀ : $\mu < 75$ H ₁ : $\mu > 75$ | 10.83 | 0.000 |
| Esfuerzo a corte paralelo | H ₀ : $\mu < 8$ H ₁ : $\mu > 8$ | 0.97 | 0.0494 |

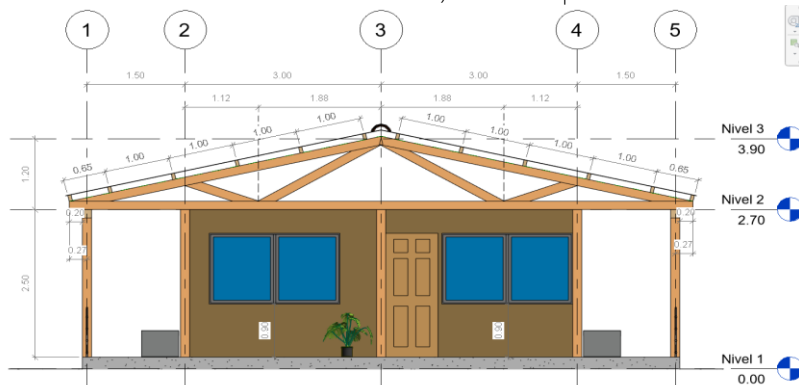
Nota: Si el valor $p \leq 0.05$ se rechaza H₀, y se acepta H₁.

En seguida, se realizó el diseño y modelamiento de una vivienda de madera, de un piso, con dimensiones de 6.50 m x 6.00, con pilares, viguetas, armadura, pisos y muros

de madera *Pinus radiata* del Santa Clara, Chalamarca (Figura 3).



a) Vista en planta de la edificación



b) Vista en elevación



c) Vista 3D de la estructura

Figura 3. a) Vistas en planta, b) Elevación y c) 3D de la edificación de 1 nivel de madera *Pinus radiata*

Para ello, se han utilizado los esfuerzos admisibles obtenidos a partir de los ensayos mecánicos en la madera, verificando que, la resistencia a flexión era menor a la solicitada por la norma E.010 (MVCS, 2014), por lo que, para el diseño se consideró la conformación de armadura de madera para la resistencia del techo, así mismo, se aumentó la sección de las vigas, a fin de tener una construcción sustentable como argumentan Felmer et al. (2021) y Pinto (2019).

Las armaduras deben resistir esfuerzos a corte, flexión y compresión paralela, tal verificación se ha realizado en el programa SAP 2000 vs. 20.2, determinando los momentos a fuerzas axiales y flectores, los cuales cumplen con los esfuerzos admisibles que, posee la madera. Las dimensiones estimadas para las barras superiores, inferiores e interiores fueron de 4"x6", 6"x6", 4"x6". Mientras que, las columnas de madera diseñadas para una longitud efectiva de 3.75 m a esfuerzos a flexión y compresión paralela fue de 6"x8" a sección transversal. Finalmente se verificó que, cumplan con las derivas (< 0.010) de la norma E.030 (MVCS, 2018).

CONCLUSIONES

La madera habilitada de *Pinus radiata* del centro poblado Santa Clara cumple los requisitos de densidad básica (0.50 g/cm^3) para su uso en construcción.

La madera de *Pinus radiata* tiene módulos de elasticidad dentro de los requisitos para su uso en construcción, a excepción del MOE a flexión ($55,020 \text{ kg/cm}^2$), lo que indica una menor capacidad para resistir cargas a flexión.

Los esfuerzos admisibles de la madera *Pinus radiata* a flexión, compresión paralela,

perpendicular, tracción paralela y corte paralelo son 81.79 kg/cm^2 , 90.25 kg/cm^2 , 112.53 kg/cm^2 , 143.63 kg/cm^2 , y 8.10 kg/cm^2 , respectivamente.

La madera es resistente a los esfuerzos en las diferentes direcciones, pero tiene menor capacidad de resistir esfuerzos de flexión, por lo que, no se puede clasificar estructuralmente (A, B, C), pero se puede utilizar para construcciones de viviendas edificaciones con luces menores a 6 m, como pilares, tijerales, correas y armaduras previo diseño y modelamiento estructural.

El modelo estructural de una vivienda de 1 nivel con pilares, correas y armadura de techo de madera *Pinus radiata* del centro poblado Santa Clara, cumple con los momentos, modos de vibración, derivas y desplazamientos (<0.01) sugeridos en la norma E.030 (MVCS, 2018).

REFERENCIAS

Alongi, F. & Ulrich, D. (2021). Conference Abstracts Differential Spring Budburst Phenology Across Western Five-Needled Pine Species. *Research and Management of High-Elevation Five-Needle Pines in Western North America*, 115.

https://digitalcommons.humboldt.edu/h5ii?utm_source=digitalcommons.humboldt.edu%2Fh5ii%2F3&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages

Alvis-Gordo, J., Cabas-Giraldo, L. D., & Valencia-Ramos, D. P. (2017). Propiedades físico-mecánicas de la madera de uraco (*ocotea brevipetiolata* van der werff), municipio de Sibundoy, Putumayo. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 66-75.

- [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)66-75](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)66-75)
- Brunetti, M., Nocetti, M., Pizzo, B., Aminti, G., Cremonini, C., Negro, F. Zanuttini, R., Romagnoli, M., y Scarascia, G. (2020). Structural products made of beech wood: quality assessment of the raw material. *Eur. J. Wood Prod.* 78(1), 961-970.
<https://doi.org/10.1007/s00107-020-01542-9>
- Catalán L., J., Vásquez V., L., Mardones Díaz, P., et al (2020). *Caracterización mecánica de muros fabricados con madera aserrada estructural de Pino oregón*. Informe técnico N° 234. INFOR.
<https://doi.org/10.52904/20.500.12220/30381>
- Catalán L., J., Vásquez V., L., Hernández C., G., et al (2019). *Tensiones admisibles de la madera aserrada estructural de Pino oregón (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco) clasificada visualmente*. Informe técnico N° 225. INFOR.
<https://doi.org/10.52904/20.500.12220/29196>
- Cotrina-Villanueva, W., Sangay-Cusquisiban, M. & Vermiglio, P. (2014). Estudio de la Resistencia Mecánica de la Madera de Pino Radiata en Cajamarca. *Revista de Formación en Investigación*, 2(2), 16-25.
- Cruz, N., Bustos, C. A., Aguayo, M. G., Cloutier, A. & Castillo, R. (2018). Impact of the chemical composition of *Pinus radiata* wood on its physical and mechanical properties following thermo-hygro-mechanical densification. *BioResources*, 13(2), 2268-2282.
https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_2_2268
<https://doi.org/10.1007/s00107-020-01542-9>
https://www.researchgate.net/profile/Gabriel-Felmer/publication/355596392_Construccion-del-Primer-Modulo-de-Vivienda-Carbono-Neutral-con-Madera-Masiva-de-Pino-Radiata-Nacional/links/6177faf53c987366c3eac94d/Construccion-del-Primer-Modulo-de-Vivienda-Carbono-Neutral-con-Madera-Masiva-de-Pino-Radiata-Nacional.pdf
- Felmer, G., Morales-Vera, R., Astroza, R., González, I., Palma, V. & Rivas, N. (2021). Construcción del Primer Módulo de Vivienda Carbono Neutral con Madera Masiva de Pino Radiata Nacional. In *Proceedings of the XXXIX Encuentro Arquisur/XXIV Congreso Arquisur*, Arquisur (pp. 2-6).
<https://doi.org/10.1007/s00107-020-01542-9>
- Gan, W., Chen, C., Wang, Z., Song, J., Kuang, Y., He, S., Mi, R., Sunderland, P.B. y Lu, L. (2019). Dense, Self-Formed Char Layer Enables a Fire-Retardant Wood Structural Material. *Advanced Functional Materials*, 29(14), pp. 14 – 28.
<https://doi.org/10.1002/adfm.201807444>
- Husein, A., Heyliger, P. y Mahmoud, H. (2020). Structural performance of a wood-sand-wood wall for blast protection. *Engineering Structures*, 219(15), 49 – 54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110954>
- lejavš, J., Podnieks, M., & Uzuls, A. (2021). Some physical and mechanical properties of wood of Fast-growing

- tree species eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *Agronomy Research*, 19(2), 434-443. <https://dspace.emu.ee/handle/10492/6434>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI. (2018, agosto). *Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares Acceso a servicios básicos. Censos nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.*
- Li, M. Y., Ren, H. Q., Wang, Y. R., Gong, Y. C., & Zhou, Y. D. (2021). Comparative studies on the mechanical properties and microstructures of outerwood and corewood in *Pinus radiata* D. Don. *Journal of Wood Science*, 67(1), 1-9. <https://link.springer.com/article/10.1186/s10086-021-01992-6>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, MVCS. (2014). Norma E.010. Madera. DS. 005-2014-VIVIENDA. MVCS. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_010.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, MVCS. (2018). Modifican La Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente Del Reglamento Nacional De Edificaciones. MVCS. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E_030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, MVCS. (2009). Norma Técnica E.020 Cargas. MVCS. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_020.pdf
- NTP 251.008. (2016). *Madera y carpintería para construcción. Selección y colección de muestras.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- NTP 251.009. (2016). *Madera y carpintería para construcción. Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos. 2ª Edición.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- NTP 251.010. (2020). *Madera. Métodos para determinar el contenido de humedad. 4ª Edición.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- NTP 251.011. (2019). *Madera. Método para determinar la densidad. 3ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- NTP 251.013. (2015). *Madera. Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- NTP 251.014. (2020). *Madera. Método para determinar la compresión axial o paralela al grano. 4ª Edición.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- NTP 251.016. (2015). *Madera. Método para determinar la compresión perpendicular al grano. 3ª Edición.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- NTP 251.017. (2014). *Madera. Método para determinar la flexión estática. 3ª Edición.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- NTP 251.085. (2017). *Maderas. Determinación de la tensión paralela a las fibras.* Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

- NTP 251.086. (2015). *Madera. Determinación de la tensión perpendicular a la fibra*. Instituto Nacional de Calidad – INACAL.
- Pinto, B. C. (2019). *Arquitectura y diseño flexible: una revisión para una construcción más sostenible*. [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya].
<http://hdl.handle.net/2117/176433>
- Quagliotti, S., Bruzzone, G., Cháben, A., Baño, V., & Moya, L. (2019). *Clasificación visual de madera de Pinus elliottii de uruguay y estimación del módulo de elasticidad mediante técnicas no destructivas visual grading of uruguayan Pinus elliottii and stiffness estimation by non destructive techniques*. 4º Congreso Latinoamericano de Estructuras de Maderas.
<https://www.clem2019.uy/admin/files/clem2019/upload/files/F1-4620205-CLEM 2019.pdf>
- Saavedra, H., García-Herrera, C., Vasco, D. A., & Salinas-Lira, C. (2021). Characterization of mechanical performance of *Pinus radiata* wood impregnated with octadecane as phase change material. *Journal of Building Engineering*, 34, 101913.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.10.1913>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2018). *Resolución de dirección ejecutiva N° 143-2016-SERFOR, Lista Oficial de Especies Forestales Maderables Aprovechables con Fines Comerciales*. SERFOR.
<https://www.serfor.gob.pe/faq/lista-oficial-de-especies-forestales>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2017). *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2017*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego MIDAGRI
<https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/265/1/Anuario-Forestal-y-de-Fauna-Silvestre-2017.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2020). *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2019*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego MIDAGRI.
<http://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/894>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2023). Pronóstico del tiempo para CHOTA (Cajamarca). SENAMI.
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=06&localidad=0033#:~:text=22%C2%B0C%20%2F%2011%C2%B0,a%20lluvia%20por%20la%20tarde>
- Xu, J., Li, X., Long, L., & Liu, R. (2021). Enhancement of the physical and mechanical properties of wood using a novel organo-montmorillonite/hyperbranched polyacrylate emulsion. *Holzforschung*, 75(6), 545-554. <https://doi.org/10.1515/hf-2020-0042>
- Yoza, L., Baradit, E., & Acevedo, M. (2015). Caracterización de las propiedades físico mecánicas de especies, Pino (*Pinus patula*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) provenientes del Perú utilizando técnicas no destructivas. *nales científicos*, 76(1), 12–16.
<https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.758>

Vásquez y Silva (2023). Propiedades físico mecánicas...

Zhu, Z., Fu, S., Lavoine, N. y Lucia, L. (2020).
Structural reconstruction strategies
for the design of cellulose
nanomaterials and aligned wood
cellulose-based functional materials

– A review. *Carbohydrate Polymers*,
247(1), 11 – 26. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116722>

Recibido: 26-09-2023 Aceptado: 20-11-2023 Publicado:31-12-2023