

Variación de las propiedades físico mecánicas de elementos de madera *Pinus radiata* D. Don con presencia de pudrición castaña en la ciudad de Cuenca

*Variation of the physical-mechanical properties of *Pinus radiata* D. Don wood elements with the presence of chestnut rot in the city of Cuenca*

- ¹ David Israel Chica Urgiles  <https://orcid.org/0000-0003-3619-8488>
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
dichicau02@est.ucacue.edu.ec
- ² Juan Sebastián Maldonado Noboa  <https://orcid.org/0000-0001-5329-2201>
Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
jmaldonadon@ucacue.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 25/07/2023

Revisado: 17/08/2023

Aceptado: 06/09/2023

Publicado: 13/10/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i4.1.2727>

Cítese:

Chica Urgiles, D. I., & Maldonado Noboa, J. S. (2023). Variación de las propiedades físico mecánicas de elementos de madera *Pinus radiata* D. Don con presencia de pudrición castaña en la ciudad de Cuenca. *ConcienciaDigital*, 6(4.1), 26-48.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i4.1.2727>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinaria, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Palabras**claves:**

Madera,
Compresión,
Flexión
Estática, Pinus
radiata,
Propiedades
Mecánicas,
Pudrición
Castaña.

Resumen

Introducción: Uno de los principales problemas en estructuras de madera, es que con el transcurrir del tiempo y bajo diversas condiciones climáticas, son atacadas por insectos y hongos provocando daños estructurales relevantes. El daño provocado por hongos de pudrición castaña puede ocasionar fallas estructurales significativas en poco tiempo. **Objetivo:** Evaluar la variación de las propiedades físico mecánicas en elementos de madera de Pinus radiata D. Don con presencia de pudrición castaña. **Metodología:** Se toman tres muestras con presencia de pudrición castaña y tres muestras de control (sin deterioro visible), de las mismas, se confeccionan probetas y se realizan ensayos para compresión paralela a la fibra, compresión normal y flexión estática de acuerdo a la norma ASTM D143. **Resultados:** Las muestras con presencia de pudrición evidenciaron reducciones notables de módulo de elasticidad aparente y módulo de ruptura para los tres ensayos realizados. También, se pudo observar pérdidas de densidad hasta del 39 % en contraste con el promedio de las muestras de control. **Conclusión:** El deterioro visible en elementos con presencia de pudrición castaña se puede relacionar con pérdidas importantes en las propiedades mecánicas mencionadas en el presente documento. Además, debe considerarse una señal de alerta para la salud de la estructura. **Área de estudio general:** Ingeniería civil. **Área de estudio específica:** Estructuras.

Keywords:

Wood,
Compression,
Static Bending,
Pinus radiata,
Mechanical
Properties,
Chestnut Rot.

Abstract

Introduction: One of the main problems in wooden structures is that over time and under various climatic conditions, they are attacked by insects and fungi, causing relevant structural damage. Damage caused by chestnut rot fungi can lead to significant structural failure in a short time. **Objective:** To evaluate the variation of physical-mechanical properties in wood elements of Pinus radiata D. Don with the presence of chestnut rot. **Methodology:** Three samples with the presence of chestnut rot and three control samples (without visible deterioration) are taken, specimens are made from them and tests are carried out for compression parallel to the fiber, normal compression and static bending according to the standard. ASTM D143. **Results:** The samples with the presence of rot showed notable reductions in

apparent elasticity modulus and rupture modulus for the three tests carried out. Also, density losses of up to 39% could be observed in contrast to the average of the control samples. **Conclusion:** The visible deterioration in elements with the presence of chestnut rot can be related to important losses in the mechanical properties mentioned in this document. Additionally, it should be considered a warning sign for the health of the structure. **General study area:** Civil engineering. **Specific study area:** Structures.

Introducción

Desde la antigüedad el uso de la madera en la construcción ha sido continuo, debido a que es el recurso natural más antiguo y, además posee excelentes características estructurales. Sin embargo, en la actualidad la madera es considerada un material poco analizado y estudiado (Enriquez, 2014).

En la ciudad de Cuenca, provincia de Azuay, se pueden encontrar varias edificaciones con elementos estructurales de madera, desde edificaciones patrimoniales con alto valor histórico, así como residencias en zonas urbanas y rurales. Gran parte de dichos elementos son de madera de la especie *Pinus radiata* D. Don.

Debido a la exposición de la madera a diversas condiciones climáticas y con el paso del tiempo; los elementos estructurales de madera están sujetos a ataques de insectos y hongos de pudrición, por lo que presentan deterioro de tipo estético y estructural.

Una de las patologías que comúnmente se presentan en elementos estructurales de madera de Pino radiata son los hongos xilófagos de pudrición castaña o parda. Estos hongos descomponen los elementos de la pared celular y se alimentan de la celulosa dejando de lado la lignina que forma residuos de color marrón (Reyes & Zaruma, 2017).

Los cambios en la composición química de la madera provocados por hongos de pudrición castaña, causan una reducción considerable en la resistencia mecánica de la misma, antes de una evidente pérdida de peso o deterioro visible del material (Wilcox, 1978) (Clausen & Kartal, 2003).

La descomposición causada por hongos de pudrición castaña es el tipo más frecuente y destructivo y puede ocasionar fallas estructurales rápidas en los elementos de madera (Clausen y Kartal, 2003). Esta descomposición se manifiesta por medio de una coloración castaña o café con fracturas paralelas y perpendiculares a la fibra características del tipo de pudrición. Además, reduce gradualmente la consistencia de la madera al punto de que se resume a polvo con solo presionarla con los dedos (Murace et al., 2010).

De acuerdo con lo descrito, el presente tiene como objetivo evaluar la variación de las propiedades físico mecánicas en elementos estructurales de madera *Pinus radiata* D. Don ocasionada por hongos de pudrición castaña en la ciudad de Cuenca, mediante la obtención de muestras, caracterización de la infección por pudrición castaña y estudio de parámetros de densidad, contenido de humedad, resistencia a compresión normal, resistencia a compresión paralela y resistencia a flexión estática.

Metodología

Obtención de muestras

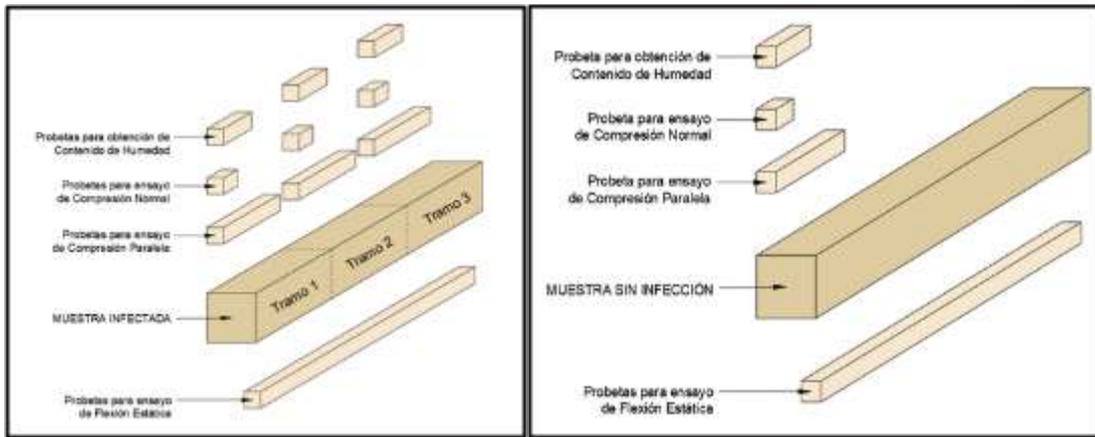
Se trabajó con madera de Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) proveniente de elementos estructurales expuestos a condiciones de humedad y con presencia de pudrición. Se seleccionaron tres muestras infectadas con hongos de pudrición castaña con el fin de obtener probetas para obtener parámetros de contenido de humedad, densidad y realizar los ensayos de compresión paralela, compresión normal y flexión estática.

De la misma manera se obtuvieron tres muestras de madera de Pino radiata, sin presencia de contaminación por hongos de pudrición castaña, con el fin de realizar los mismos ensayos y así contrastar la información obtenida de las muestras de madera infectada.

Preparación de muestras

A partir de las muestras obtenidas, se confeccionaron las probetas para cada uno de los ensayos a realizar de acuerdo con la norma ASTM (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2014).

Figura 1
Confección de probetas



Para los ensayos de compresión paralela a la fibra mediante trabajos de carpintería se confeccionaron tres probetas de 5cm x 5cm x 20cm de diferentes tramos de cada una de las tres muestras infectadas y una probeta de cada una de las muestras sin presencia de contaminación, ver Figura 1.

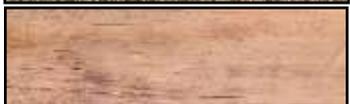
De la misma manera para los ensayos de compresión normal se obtuvieron tres probetas de 5cm x 5cm x 5cm de diferentes tramos de cada una de las 3 muestras infectadas y una probeta de cada una de las tres muestras sin presencia de contaminación.

En la Tabla 1 se presentan los tramos definidos en la obtención de probetas y el deterioro visible en cada uno de estos.

Para los ensayos de flexión estática se confeccionaron una probeta de 5cm x 5cm x 76cm de cada una de las muestras. Además, se obtuvo una probeta de 5cm x 5cm x 10 cm para cada uno de los tramos ya mencionados con el fin de determinar el contenido de humedad de las mismas.

Tabla 1
Deterioro visible en tramos definidos para obtención de probetas

Muestra	Tramo
I - 1	1 

	2	
	3	
	1	
I - 2	2	
	3	
	1	
I - 3	2	
	3	
S - 1	-	-
S - 2	-	-
S - 3	-	-

Caracterización de pudrición

La caracterización de la pudrición de cada una de las muestras se realiza mediante observación y captura fotográfica. Para esto se revisa la parte interna de las muestras, con la finalidad de identificar el biodeterioro de la madera por los efectos de la pudrición castaña en cada muestra.

El equipo utilizado para la observación y digitalización de las imágenes fue un microscopio digital inalámbrico.

Contenido de humedad

El contenido de humedad de cada probeta se calculó con la expresión indicada a continuación:

$$CH (\%) = \frac{P_i - P_o}{P_o} \times 100$$

Donde:

$CH (\%)$ – Contenido de humedad, en porcentaje.

P_i – Peso inicial, en gramos.

P_o – Peso anhidro, en gramos.

Para obtener el peso anhidro se colocaron las probetas en un horno eléctrico a 102°C hasta obtener un peso constante (Díaz, 2005).

Densidad

La densidad en la madera determina la cantidad de material por unidad de volumen que hay en cada pieza de madera (Montero, 2010). El cálculo de la densidad se realizó para cada una de las probetas utilizadas en los ensayos de compresión paralela, compresión normal y flexión estática. Para lo cual se empleó la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ – Densidad, en gr/cm^3 .

m – Masa de la probeta, en gramos.

V – Volumen de la probeta, en cm^3 .

Ensayo de compresión paralela a fibra

Se realizaron ensayos de compresión paralela a fibra según la norma ASTM D143 (2014) en las 9 probetas de muestras infectadas y 3 probetas de muestras no infectadas; los ensayos se llevaron a cabo en prensa mecánica digital de 5000kgf. El ensayo se lleva a cabo tomando las cargas y deformaciones que se van dando en la probeta hasta llegar a la ruptura, con lo cual se traza la curva de carga vs deformación con el fin de obtener para cada probeta parámetros de módulo de elasticidad aparente (MOE) y módulo de ruptura (MOR) (Suirezs & Berguer, 2010).

Para determinar el módulo de elasticidad aparente (MOE) se aplicó la siguiente expresión:

$$MOE = \frac{P'L}{Sf}$$

Donde:

MOE – Módulo de elasticidad aparente, en kg/cm².

P' – Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

L – Longitud de la probeta, en centímetros.

S – Sección de la probeta, en cm².

f – Deformación, en centímetros.

Se determinó el módulo de ruptura a la compresión (MOR) mediante la siguiente expresión:

$$MOR = \frac{P}{S}$$

Donde:

MOR – Módulo de elasticidad aparente, en kg/cm².

P – Carga de ruptura, en kg.

S – Sección de la probeta, en cm².

Ensayo de compresión normal

Los ensayos de compresión normal se efectuaron según lo establecido en la norma ASTM D143 (2014) en las 9 probetas de muestras infectadas y 3 probetas de muestras no infectadas mediante el uso de una prensa mecánica digital para ensayos de compresión de 5000 kgf.

Los parámetros determinados para cada muestra fueron el módulo de elasticidad aparente (MOE) y el módulo de ruptura (MOR), de manera similar a lo realizado para las probetas de compresión paralela a la fibra.

Ensayo de flexión estática

Los ensayos de flexión estática se realizaron según la norma ASTM D143 (2014) en tres probetas de muestras infectadas y tres probetas de muestras no infectadas; para realizar

los ensayos de flexión estática se utilizó una prensa mecánica digital para ensayos de compresión de 5000kgf, a la cual se le colocaron cilindros que sirvieron como apoyos y dispositivos correspondientes a este tipo de ensayo.

Se determinó el módulo de elasticidad aparente (MOE) mediante la siguiente expresión.

$$MOE = \frac{L^3 P'}{4 b h^3 f}$$

Donde:

MOE – Módulo de elasticidad aparente, en kg/cm².

P' – Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

L – Luz de ensayo, en centímetros.

b – Ancho de la probeta, en centímetros.

h – Altura de la probeta, en centímetros.

f – Deformación, en centímetros.

Se obtuvo el módulo de ruptura (MOR) acorde a la expresión que se indica a continuación.

$$MOR = \frac{1,5 L P}{b h^2}$$

Donde:

MOR – Módulo de ruptura, en kg/cm².

L – Luz de ensayo, en centímetros.

P – Carga de ruptura, en kg.

b – Ancho de la probeta, en centímetros.

h – Altura de la probeta, en centímetros.

Resultados

Pudrición

La pudrición castaña o café se produce por hongos que se encargan de despolimerizar la cristalinidad de la celulosa presente en la pared celular de los elementos de madera, esto provoca pérdida de rigidez en su estructura (Ortiz et al., 2011).

Se observaron e identificaron en cada una de las muestras, rasgos que vayan de acuerdo con las características propias de pudrición castaña. En la Figura 2 (a) se puede apreciar la degradación celular particular de esta patología. Además, se puede apreciar de cerca la pigmentación representativa de la pudrición castaña.

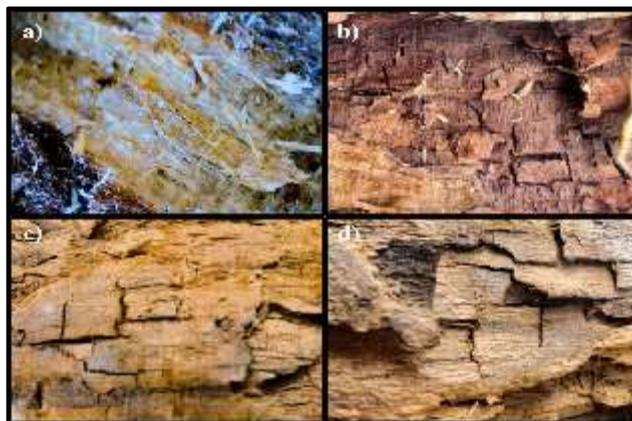
La muestra I-1 presenta manchas de color marrón y grietas en el sentido paralelo y perpendicular a la fibra que forman un patrón cúbico característico del tipo de pudrición en estudio. Estos rasgos se pueden apreciar en la Figura 2 (b) y se manifiestan de manera similar en los tramos 1, 2 y 3 de la muestra.

La muestra I-2 presenta rasgos similares a los mencionados en el inciso anterior en el tramo 1, ver Figura 2 (c). Los tramos 2 y 3 no evidencian rasgos típicos de pudrición castaña, sin embargo, se realizan los mismos ensayos en estos tramos.

La muestra I-3 presenta rasgos similares a los antes señalados en todos los tramos, con la particularidad de tener una consistencia más frágil al contacto, al punto de romperse al desempeñar presión con los dedos de la mano, ver Figura 2 (d).

Figura 2

Presencia de pudrición en muestras contaminadas

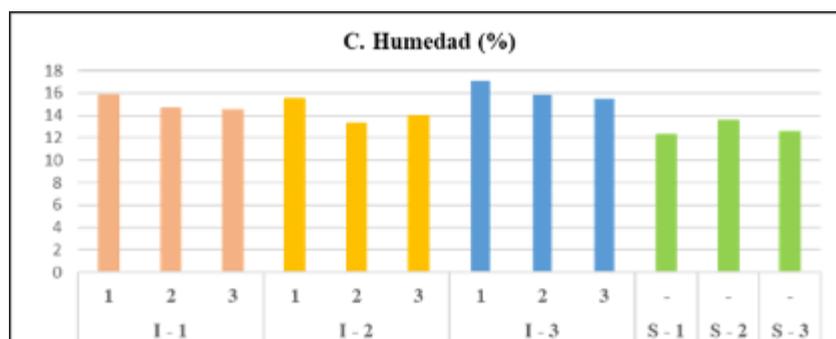


- a) Degradación y Pigmentación en la pared celular de la madera.
- b) Pudrición en el tramo 2 de la muestra I-1.
- c) Pudrición en el tramo 1 de la muestra I-2.
- d) Pudrición en el tramo 2 de la muestra I-3.

Contenido de humedad

Se evidenció que el contenido de humedad es mayor en las muestras con presencia de pudrición. Mientras que, el contenido de humedad promedio en las muestras sin presencia de pudrición S-1, S-2 y S-3 es de 12,78%; los tramos de las muestras I-1, I-2 e I-3 presentan contenido de humedad de 14,96%, 14,25% y 16,15% respectivamente como se muestra en la Figura 3.

Figura 3
Contenido de humedad por muestra y tramos



Densidad

La Figura 4 presenta los valores de densidad para los diferentes tramos y muestras, se observa una disminución de material leñoso en las muestras con presencia de pudrición castaña, el promedio de las densidades obtenidas en gr/cm^3 es de 0,28 para I-1, 0,32 para I-2, 0,27 para I-3 y 0,41 para S-1, S-2 y S-3. Además, en la Tabla 2 se observan los pesos que se obtuvieron para el cálculo de humedad y densidad de cada tramo.

Tabla 2

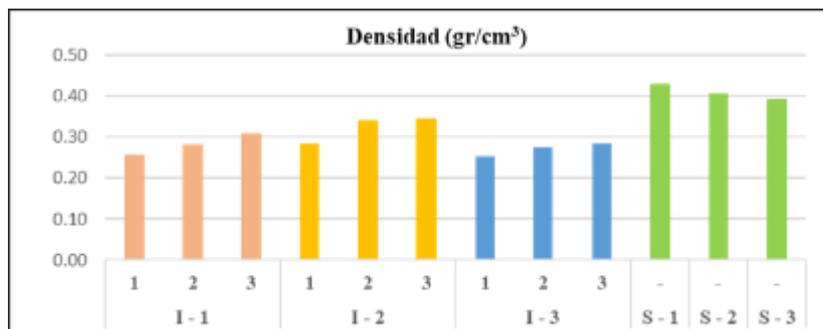
Valores de contenido de humedad y densidad en cada muestra y tramo

Muestra	Tramo	Peso kg	Peso seco kg	C. Humedad %	Densidad gr/cm^3
I - 1	1	0.076	0.064	15.79	0.26
	2	0.082	0.070	14.63	0.28
	3	0.090	0.077	14.44	0.31
I - 2	1	0.084	0.071	15.48	0.28
	2	0.098	0.085	13.27	0.34
	3	0.100	0.086	14.00	0.34
I - 3	1	0.076	0.063	17.11	0.25
	2	0.082	0.069	15.85	0.28

	3	0.084	0.071	15.48	0.28
S - 1	1	0.122	0.107	12.30	0.43
S - 2	1	0.118	0.102	13.56	0.41
S - 3	1	0.112	0.098	12.50	0.39

Figura 4

Densidad por muestra y tramos



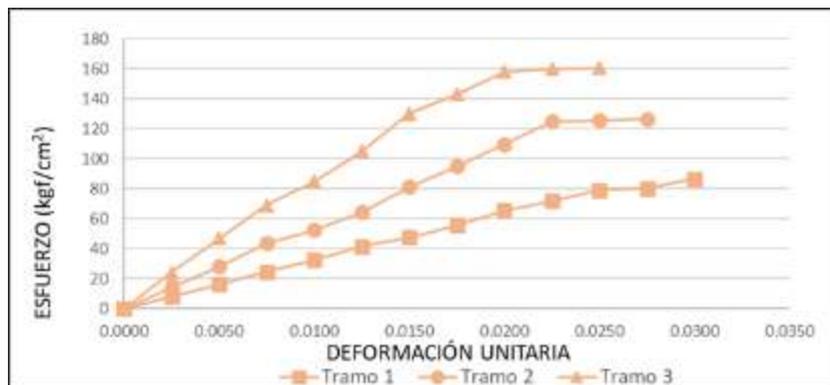
Compresión paralela a fibra

Las Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8 presentan los gráficos de esfuerzo vs deformación unitaria resultantes de los ensayos de compresión paralela a la fibra.

El gráfico esfuerzo deformación de la muestra I-1 refleja valores de esfuerzo en el límite de proporcionalidad en kgf/cm² de 79,21 para el tramo 1, 125,20 para el tramo 2 y 143,21 para el tramo 3, con valores de deformación unitaria de 0,25, 0,23 y 0,18 respectivamente.

Figura 5

Curvas esfuerzo - deformación unitaria, muestra I-2 en compresión paralela



Para la muestra I-2, los tramos 1, 2 y 3 se obtuvieron esfuerzos en el límite proporcional en kgf/cm² de 93,37, 180,20 y 163,26 respectivamente, con valores de deformación unitaria de 0,23, 0,18 y 0,20.

Figura 6

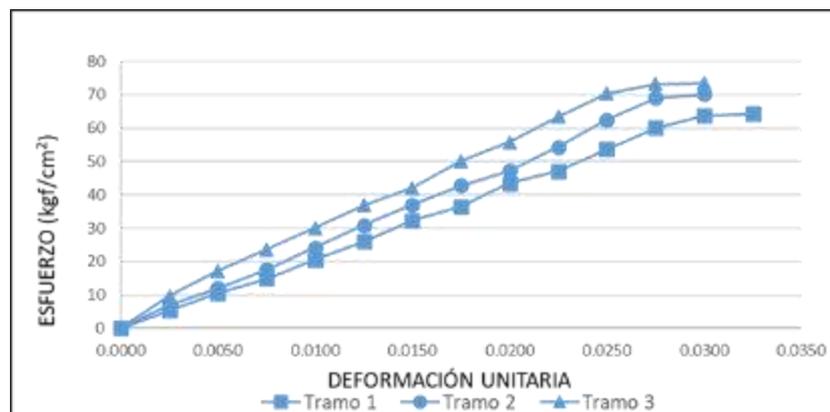
Curvas esfuerzo - deformación unitaria, muestra I-2 en compresión paralela



En los tramos 1, 2 y 3 de la muestra I-3 se observan esfuerzos en el límite proporcional de 60,18, 62,45 y 73,27 kgf/cm² respectivamente, deformación unitaria de 0,25 para el tramo 2 y de 0,28 para los tramos 1 y 3.

Figura 7

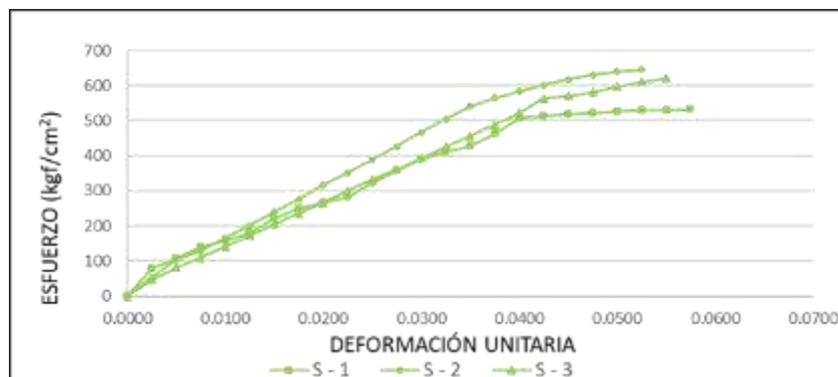
Curvas esfuerzo - deformación unitaria, muestra I-3 en compresión paralela



En el gráfico resultante de los ensayos para tramos únicos de cada muestra de control se evidencian esfuerzos en el límite proporcional aparente en kgf/cm² de 507,61, 564,49 y 570,19 con deformaciones unitarias de 0,040, 0,038 y 0,045 respectivamente.

Figura 8

Curvas esfuerzo - deformación unitaria, muestras S-1, S-2 y S-3 en compresión paralela



En la Tabla 3 se muestran los valores de módulo de elasticidad aparente y módulo de ruptura resultantes del ensayo de compresión paralela y procesamiento de datos para cada una de las muestras y tramos.

Tabla 3

Valores de MOE y MOR de ensayos de compresión paralela

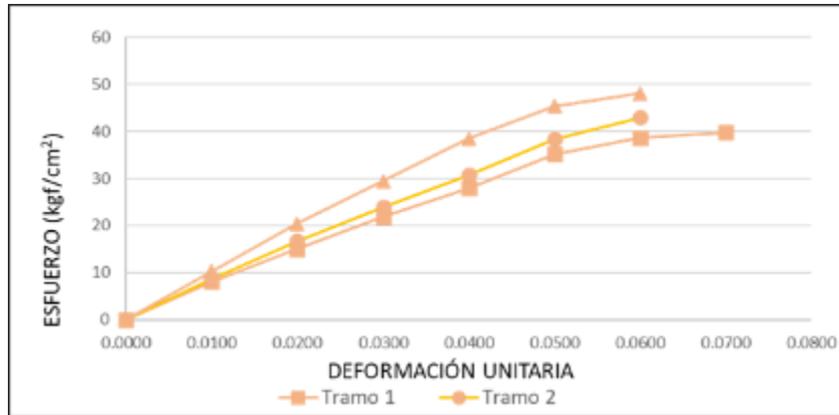
Muestra	Tramo	M. Elasticidad Aparente (Moe)	Módulo Ruptura (Mor)
		kgf/cm ²	kgf/cm ²
I - 1	1	3168.32	86.76
	2	5564.49	126.71
	3	8183.54	160.79
I - 2	1	4149.64	98.62
	2	10297.09	183.42
	3	8162.75	168.82
I - 3	1	2188.25	64.32
	2	2498.08	70.17
	3	2664.18	73.52
S - 1	-	12690.31	532.40
S - 2	-	15052.94	645.91
S - 3	-	12682.00	621.85

Compresión Normal

Las Figuras Figura 9, Figura 10, Figura 11 y Figura 12 muestran las curvas esfuerzo - deformación unitaria de los ensayos de compresión normal. Para los tramos 1, 2 y 3 de la muestra I-1 se obtuvieron esfuerzos en el límite proporcional aparente en kgf/cm² de 38, 63, 42, 91 y 45, 43 y esfuerzos máximos resistentes en kgf/cm² de 39, 96, 46, 14 y 48, 04.

Figura 9

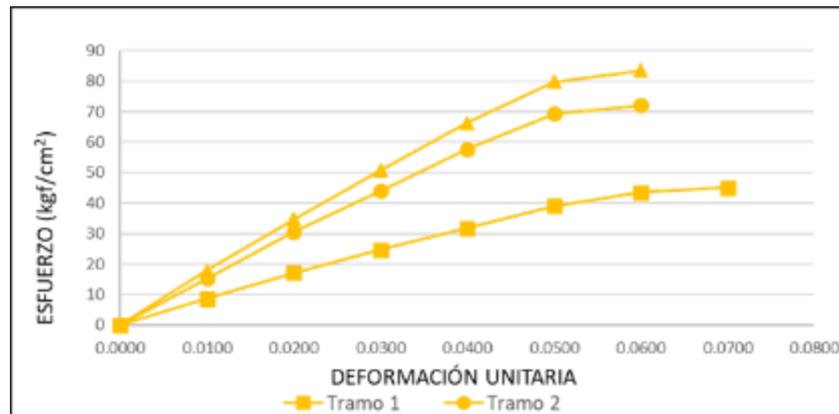
Curvas esfuerzo - deformación unitaria, muestra I-1 en compresión normal



En las curvas para la muestra I-2 se pueden apreciar esfuerzos en límite proporcional de 43,58, 69,27 y 79,85 kgf/cm² y esfuerzos máximos resistentes de 45,03, 72,14 y 83,54 kgf/cm², para los tramos 1, 2 y 3.

Figura 10

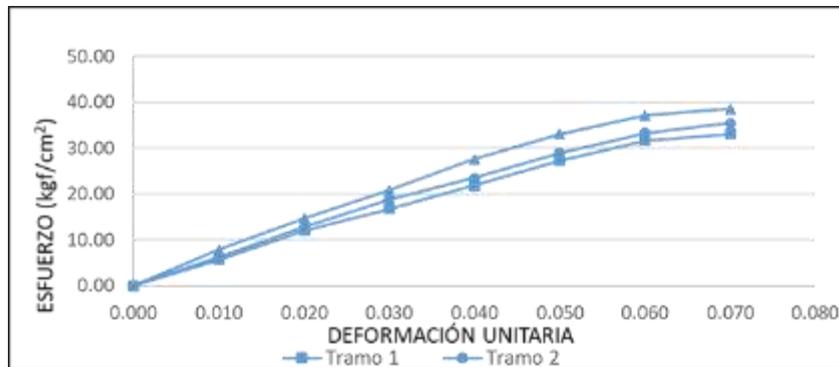
Curvas esfuerzo - deformación unitaria, muestra I-2 en compresión normal



En los tramos 1, 2 y 3 de la muestra I-3 se observan esfuerzos en el límite proporcional aparente en kgf/cm² de 31,59, 33,31 y 37,05 y esfuerzos máximos resistentes en kgf/cm² de 33,08, 35,48 y 38,54 respectivamente.

Figura 11

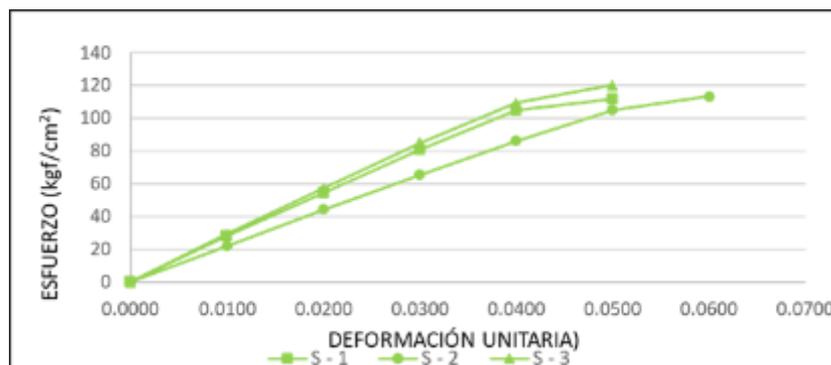
Curvas esfuerzo - deformación unitaria muestra I-3 en compresión normal



En la curva esfuerzo deformación de las muestras S-I, S-2 y S-3 se aprecian esfuerzos en el límite proporcional aparente de 104,64, 105,13 y 109,43 y esfuerzos máximos de 111,85 113,34 120,05 en unidades de kgf/cm².

Figura 12

Curvas esfuerzo - deformación unitaria, muestras S-1, S-2 y S-3 en compresión normal



En la Tabla 4 se presentan los módulos de elasticidad aparente y módulos de ruptura en compresión normal para todas las muestras y tramos estudiados.

Tabla 4

Valores de MOE y MOR de ensayos de compresión normal

Muestra	Tramo	M. Elasticidad Aparente (Moe)	Módulo Ruptura (Mor)
		kgf/cm2	kgf/cm2
I - 1	1	643.89	39.6948
	2	715.13	46.1376
	3	906.98	48.0448

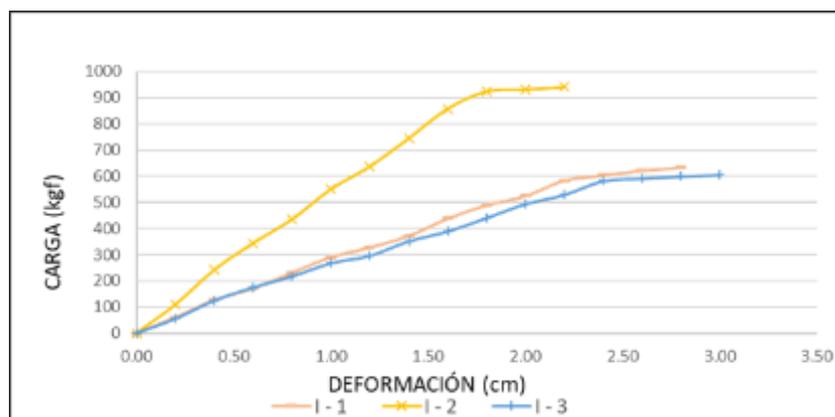
	1	726.25	45.026
I - 2	2	1385.42	72.1368
	3	1597.06	83.5384
	1	526.58	33.0844
I - 3	2	555.14	35.4788
	3	617.43	38.5396
S - 1	-	2615.99	111.8456
S - 2	-	2628.33	113.3392
S - 3	-	3001.24	120.0496

Ensayo de flexión estática

Del ensayo de flexión estática para las muestras I-1, I-2 e I-3, se obtiene el gráfico carga – deformación, mismo que muestra valores de carga en el límite proporcional de 603,51, 924,36 y 591,17 kgf y cargas máximas de 633,14, 941,79 y 604,36 kgf, ver Figura 13.

Figura 13

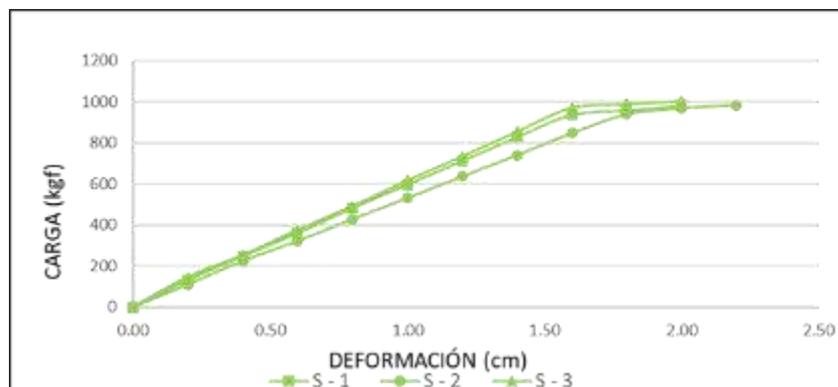
Curvas carga - deformación, muestras I-1, I-2 y I-3 en flexión estática



En las curvas carga vs deformación para las muestras de control S-1, S-2 y S-3 (Figura 14), se observan cargas en el límite proporcional aparente de 937,64, 939,02 y 971,81 kgf, a su vez cargas máximas resistente de 981,52 983,77 1004,53 kgf.

Figura 14

Curvas carga - deformación, muestras S-1, S-2 y S-3 en flexión estática



De los ensayos antes mencionados se obtienen valores de módulo de elasticidad aparente y módulo de ruptura en flexión estática, mismos que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Valores de MOE y MOR para flexión estática

Muestra	M. Elasticidad Aparente (Moe) kgf/cm ²	Módulo Ruptura (Mor) kgf/cm ²
I - 1	37543.15	547.03
I - 2	76670.12	813.71
I - 3	33946.62	522.17
S - 1	87493.06	848.03
S - 2	77886.07	849.98
S - 3	90681.53	867.91

Variación de propiedades

La Tabla 6 muestra la variación en porcentaje del módulo de elasticidad aparente y el módulo de ruptura para compresión paralela a la fibra entre cada uno de los tramos de las tres muestras con presencia de pudrición castaña y el valor promedio de dichas propiedades para las muestras de control.

Tabla 6

Variación en porcentaje de MOE y MOR para compresión paralela

Muestra	Tramo	M. Elasticidad Aparente (Moe) %	Módulo Ruptura (Mor) %	M. Elasticidad Aparente (Moe) % Promedio	Módulo Ruptura (Mor) % Promedio
I - 1	1	76.49%	85.54%	58.15%	79.21%
	2	58.71%	78.88%		
	3	39.27%	73.20%		
I - 2	1	69.21%	83.57%	44.07%	74.95%
	2	23.58%	69.43%		

	3	39.42%	71.87%		
I - 3	1	83.76%	89.28%		
	2	81.46%	88.31%	81.82%	88.45%
	3	80.23%	87.75%		

De igual manera en la Tabla 7 se presenta la variación en porcentaje de MOE y MOR para compresión paralela a la fibra entre los diferentes tramos de las muestras con presencia de pudrición castaña y el valor promedio para las muestras de control.

Además de la variación de la propiedad antes mencionada entre los valores promedio de cada una de las muestras de pudrición y el valor promedio de las muestras de control.

Tabla 7

Variación en porcentaje de MOE y MOR para compresión normal

Muestra	Tramo	M. Elasticidad Aparente (Moe)	Módulo Ruptura (Mor)	M. Elasticidad Aparente (Moe)	Módulo Ruptura (Mor)
		%	%	% Promedio	% Promedio
I - 1	1	76,57%	65,51%		
	2	73,98%	59,91%	72,52%	61,22%
	3	67,00%	58,25%		
I - 2	1	73,58%	60,87%		
	2	49,59%	37,31%	55,02%	41,87%
	3	41,89%	27,41%		
I - 3	1	80,84%	71,25%		
	2	79,80%	69,17%	79,39%	68,98%
	3	77,54%	66,51%		

A continuación, en la Tabla 8 se expone la variación del módulo de elasticidad aparente y el módulo de ruptura en flexión estática entre las muestras I-1, I-2 e I-3 y el promedio de las muestras S-1, S-2 y S-3.

Tabla 8

Variación en porcentaje de MOE y MOR para flexión estática

Muestra	M. Elasticidad Aparente (Moe)	Módulo Ruptura (Mor)
	%	%
I - 1	56,01%	36,04%
I - 2	10,17%	4,86%
I - 3	60,23%	38,95%

Conclusiones

Los tres tramos de la muestra I-1, el primer tramo de la muestra I-2 y los tres tramos de la muestra I-3 presentan deterioro visible en su superficie externa, mientras que en los tramos 2 y 3 de la muestra I-2 no se evidencia deterioro o alguna clase de mancha característica de pudrición en su superficie externa.

En referencia al módulo de elasticidad aparente en compresión paralela, los tramos que mayor reducción presentan en comparación con el promedio de las muestras de control son los tramos 1 y 2 de la muestra I-1, el tramo 1 de la muestra I-2 y la muestra I-3 en todos sus tramos con reducción de más del 80%. A su vez el módulo de ruptura en compresión paralela refleja una reducción de entre el 69,43% y el 89,38%.

Se evidencia una notable reducción en el módulo de elasticidad aparente y el módulo de ruptura para compresión paralela entre las muestras con presencia de pudrición y las muestras de control. De sobremanera en las muestras I-1, I-3 y en el tramo 1 de la muestra I-2 que muestran reducción de más del 65% para el módulo de elasticidad aparente y de más del 50% en módulo de ruptura.

En flexión estática se aprecian reducciones en las muestras I-1 e I-2 de más del 50% para el módulo de elasticidad aparente y de más del 35% en resistencia máxima, a diferencia de la muestra I-2 que presenta una reducción de solamente el 10,17% del módulo de elasticidad y de 4,86% en el módulo de ruptura.

De acuerdo con lo descrito se puede inferir que los elementos con deterioro visible en cualquiera de sus tramos presentan importantes reducciones en densidad, módulo de elasticidad y resistencia máxima en compresión paralela, módulo de elasticidad y resistencia máxima en compresión normal y módulo de elasticidad y resistencia máxima en flexión estática.

En consecuencia, se puede relacionar el deterioro visible por pudrición castaña en elementos estructurales de madera *Pinus radiata* D. don con reducción de las propiedades mecánicas mencionadas y estudiadas en el presente documento.

Además de considerarse al deterioro visible por pudrición castaña como una condición estética; en elementos de madera *Pinus radiata* D. Don debería considerarse una señal de alerta desde la percepción estructural.

Se recomienda para futuras investigaciones buscar formas efectivas de prevención para esta patología y a su vez propuestas de reforzamiento de elementos estructurales con deterioro o infección por pudrición castaña visible.

Conflicto de intereses

Los autores afirman no tener conflicto de intereses con el artículo presentado.

Referencias Bibliográficas

- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2014). American Society for Testing and Materials - D143. <https://www.astm.org/d0143-14.html>
- Clausen, C., & Kartal, S. (2003). Accelerated detection of brown-rot decay: Comparison of soil block test, chemical analysis, mechanical properties, and immunodetection. *Forest Product Journal*, 90-94. <https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2003/claus03b.pdf>
- Díaz, P. (2005). Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Universidad de Talca, Talca. http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/2305/1/diaz_mendez.pdf
- Enriquez, D. (2014). Reforzamiento estructural para forjados de madera en edificaciones patrimoniales y contemporáneas. Universidad de Cuenca, Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20241/1/Tesis.pdf>
- Montero, D. (2010). Resistencia a la flexión estática de madera de *pinus radiata* D. Don impregnada con cobre alcalino cuaternario (ACQ-D). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151545/Resistencia-a-la-flexion-estatica-de-madera-de-Pinus-radiata-D-Don-impregnada-con-cobre-alcalino-cuaternario-%28ACQ-D%29.pdf?sequence=1>
- Murace, M., Spavento, E., Keil, G., & Saparrat, M. (2010). Pudrición castaña: efectos sobre las propiedades de resistencia mecánica de la madera. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 37-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48118695004>
- Ortiz, R., Moreno, L., Ramirez, R., & Olivero, P. (2011). Determinación de los modelos de biodeterioro en elementos de madera producidos por hongos de pudrición en

edificaciones de la zona de conservación histórica de Valparaíso, Chile. Revista de la Construcción, 88-89. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/11478>

Reyes, J., & Zaruma, L. (2017). Patologías de la madera: Identificación y solución de las principales patologías presentes en estructuras de madera de edificaciones patrimoniales, localizadas en el Centro Histórico de Cuenca - Ecuador. Universidad de Cuenca, Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28646>

Suirezs, T., & Berguer, G. (2010). Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Posadas: Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf

Wilcox, W. (1978). Review of literature on the effects of early stages on wood strength. Wood and fibers, 252-257. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/248/248>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

