

DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE LARIX (*Larix decidua* Mill)



**INSTITUTO FORESTAL
2023**



Las fotografías e imágenes incorporadas en tapas o texto de la presente publicación provienen de archivo institucional o fueron obtenidas o elaboradas durante el desarrollo de las actividades del trabajo que origina esta publicación.

DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE LARIX
(*Larix decidua* Mill)

Patricio Elgueta Muñoz¹, Gonzalo Hernández Careaga,
Raúl Campos Pous e Irma Arriagada Navarrete

INSTITUTO FORESTAL
2023

¹ Investigadores, Instituto Forestal, Sede Bio Bio. patricio.elgueta@infor.cl



INFOR

INSTITUTO FORESTAL

Sucre 3397, Ñuñoa, Santiago

Chile

F. 56 2 223667115

www.infor.cl

ISBN 978-956-318-258-3

Rregistro Propiedad Intelectual 2023-A-9360

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

Elgueta Muñoz, Patricio; Hernández Careaga, Gonzalo; Campos Pous, Raúl y Arriagada Navarrete, Irma (2023). Durabilidad Natural de la Madera de Larix (*Larix decidua* Mill). Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 262. P. 18.

PRÓLOGO

La Industria Secundaria de la Madera (ISM) considera a todas aquellas empresas de diferentes tamaños que emplean la madera aserrada como materia prima para generar productos de valor agregado, para distintos usos, entre los que se cuentan los destinados a la construcción de viviendas y otras obras. Entre estos productos se encuentran la madera dimensionada y cepillada, las molduras de diferentes tipos y elementos más elaborados, tales como puertas, ventanas, pisos y otros, además de productos de ingeniería en maderas, como muros, cerchas, vigas laminadas y otros.

Distintas iniciativas de carácter nacional apuntan a aumentar el uso de la madera en la construcción, considerando las ventajas económicas, sociales y ambientales que presenta respecto de otros materiales.

Prácticamente la totalidad de la madera aserrada que se genera en el país proviene de las plantaciones de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don.). Sin embargo, se identifican otras especies madereras alternativas, introducidas a Chile por el programa de introducción de especies efectuado por Instituto Forestal (INFOR) a partir del año 1962, entre las que se encuentra el alerce europeo (*Larix decidua* Mill.), especie disponible en la Reserva Nacional Coyhaique, región de Aysén.

A pesar de contar con solo aproximadamente 300 hectáreas en la región de Aysén, la especie ha demostrado ser una alternativa para la industria maderera de la región, dada su favorable adaptación a las condiciones de clima y suelo.

Para habilitar especies madereras como material de construcción, inicialmente se deben determinar su durabilidad natural y sus propiedades físicas y mecánicas, y posteriormente incorporar los resultados en normas técnicas chilenas. La norma chilena NCh 789/1 no identifica la durabilidad natural de la madera de esta especie, motivo por el cual este estudio permitirá generar información para su posterior incorporación en dicha norma.

El objetivo de este trabajo es determinar la durabilidad natural de la madera de duramen de *Larix decidua* Mill., sometida a la acción de hongos xilófagos de pudrición blanca y café, además de verificar si el duramen más cercano a la albura presenta diferencias en la durabilidad natural respecto a aquel presente más cercano a la médula.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. MATERIALES Y MÉTODO.....	2
3.1 Hongos de Pudrición.....	2
3.2 Preparación del Material de Ensayo	3
3.2.1 Obtención de las probetas para los ensayos de durabilidad natural, control y contenido de humedad	3
3.2.2 Secado de las probetas control	4
3.2.3 Preparación de las probetas de humedad y de ensayo	4
3.2.4 Preparación del medio de cultivo	5
3.2.5 Inoculación de las cepas	6
3.3 Montaje del Ensayo	7
3.4 Determinación de la Pérdida de Masa	8
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS	9
4.1 Desarrollo del Ensayo y Categoría de Durabilidad Natural.....	9
4.2 Análisis de Resultados.....	12
4.2.1 Relación entre el hongo de pudrición y la pérdida de masa	12
4.2.2 Relación entre la ubicación del duramen y la pérdida de masa.....	15
5 CONCLUSIONES	16
6 REFERENCIAS	17

1. INTRODUCCIÓN

La especie *Larix decidua* Mill., comúnmente denominada como larix o alerce europeo, es originario de las montañas del centro y este de Europa. Corresponde a una conífera de hoja caduca que alcanza los 45 metros de altura y entre 600 a 800 años de edad en condiciones óptimas (Da Ronch, *et al*, 2016). Llegó a Chile desde Europa a través del programa de introducción de especies que el Instituto Forestal comenzó a desarrollar el año 1962, en más de 100 lugares ubicados entre las regiones de Coquimbo y Aysén (Loewe y Murillo, 2001). En particular, se establecieron ensayos en Valdivia y Aysén, siendo en este último lugar donde mejores resultados obtuvo. En la región de Aysén, su objetivo fue mitigar los graves procesos erosivos que afectaban a la región y poder seleccionar especies forestales que se adaptaran a las condiciones de clima y suelos imperantes en esta, zona donde se encuentra desde 1978, conformando pequeños rodales de forma pura y mixta, distribuidos desde la localidad de Mañihuales hasta la comuna de Cochran (INFOR, 2020). Situación similar se observa en la Patagonia Argentina, donde hace 50 años se establecieron pequeños rodales con larix y otras especies para evitar las consecuencias ecológicas y sanitarias del monocultivo (Godoy *et al.*, 2007). En Chile el recurso es escaso, con aproximadamente 300 hectáreas de plantaciones, principalmente concentradas en la región de Aysén, específicamente en la Reserva Nacional Coyhaique (Loewe, 2023).

La madera de larix es de color café con tonalidades rosadas, con albura claramente demarcada y de fibra recta, y de fácil aserrío y secado. Sus principales usos consideran la construcción de viviendas y la fabricación de madera laminada encolada, pisos y muebles, y también la obtención de chapas. En cuanto a sus propiedades mecánicas, ensayos ejecutados a madera aserrada procedente de plantaciones en Europa indican que esta especie posee un módulo de elasticidad promedio de 11.800 MPa (CIRAD, 2011), siendo un 32% y un 49% superior a los valores informados del pino radiata en la norma NCh 1198:2014 (INN, 2014), para el grado visual G2 y el mecánico C16, respectivamente.

El uso de la madera en la construcción en Chile demanda conocer las propiedades físico-mecánicas y la durabilidad natural de las maderas, aspectos que deben estar incorporados en las normas chilenas respectivas, NCh 1198 y NCh 789/1 (INN, 1987). La durabilidad natural de la madera se define como la capacidad que posee la madera para resistir el ataque de los diferentes agentes biológicos de destrucción, una vez que se pone en servicio sin ningún tratamiento preservador (NCh 789/1) (INN, 1987). Respecto de la durabilidad natural de la madera, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) (MINVU, 1992), cuerpo normativo que regula la construcción en el país (D.S. N°47, 1992), señala que las maderas clasificadas como “No Durables” por la norma NCh 789/1 deben ser preservadas para ser utilizadas con fines estructurales.

Existen dos alternativas para determinar la durabilidad natural de la madera; una de campo y otra de laboratorio. La primera consiste en instalar una serie de estacas (probetas) en contacto con el suelo, al aire libre, por un mínimo de 5 años. La segunda considera un método acelerado, que emplea probetas de madera sometidas a la acción de hongos y/o insectos xilófagos. Se identifican 2 metodologías de laboratorio para determinar la durabilidad natural de las maderas. Ellas corresponden a la norma americana AWP A E10 (AWPA, 2016) y la norma europea EN-350 (AEONOR, 2016). En este estudio se considera la metodología descrita en la norma EN-350, bajo las directrices del CEN-TS 15083/1 (CEN, 2005) para determinar la

durabilidad natural de la madera de duramen de larix, sometida a la acción de dos hongos de pudrición blanca.

2. OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivo determinar la durabilidad natural de la madera de duramen de larix sometida a la acción de dos hongos xilófagos de pudrición, café y blanca, de acuerdo a las categorías establecidas por Findlay (Findlay, 1962) y por la norma EN-350, las cuales se adecuan a las mencionadas en la norma NCh 789/1 (Maderas. Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural).

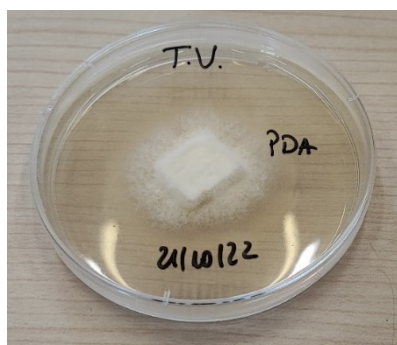
3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Hongos de Pudrición

El ensayo se ejecutó en el Laboratorio de Madera Estructural del Instituto Forestal (LME-INFOR), Sede Bio Bio. Su implementación se realizó según indicaciones de la norma UNE-EN350 y CEN-TS 15083/1, utilizando los hongos de pudrición descritos en el Cuadro N° 1. Los hongos fueron cultivados utilizando un medio de crecimiento en base a PDA (Potato Dextrosa Agar), en ambiente a 24°C, por 7 días (Figura N° 1).

Cuadro N° 1
HONGOS DE PUDRICIÓN

Tipo de hongo	Nombre científico	Nombre abreviado
Pudrición blanca	<i>Trametes versicolor</i> (L. ex Fr.) Pilát	T.V.
Pudrición café	<i>Gloeophyllum trabeum</i> (Pers. ex Fr.)	G.T.



Trametes versicolor (L. ex Fr.) Pilát.



Gloeophyllum trabeum (Pers. ex Fr.)

Figura N° 1
CULTIVO DE HONGOS PUDRICIÓN BLANCA Y CAFÉ

3.2 Preparación del Material de Ensayo

Se consideraron las siguientes actividades: a) Obtención de probetas para los ensayos de durabilidad natural con duramen de larix, control con duramen de pino radiata y para la determinación del contenido de humedad de las probetas con duramen de larix. b) Secado de las probetas control del ensayo. c) Preparación de las probetas con duramen de larix para determinar su contenido de humedad y durabilidad natural. d) Preparación del medio de cultivo. e) Incubación de las cepas.

3.2.1 Obtención de las probetas para los ensayos de durabilidad natural, control y contenido de humedad

Para el estudio se utilizaron probetas de duramen de larix, con dimensiones $(50 \pm 0,5) \times (25 \pm 0,5) \times (15 \pm 0,5)$ mm, libres de defectos, tales como grietas, pudrición, manchas o daño por insectos; las que fueron obtenidas desde la zona del duramen interior (D.I.) y exterior (D.E.). Las probetas del D.I. (color amarillo) fueron obtenidas a partir del tercer anillo de crecimiento mientras que las de D.E. (color verde) fueron obtenidas desde el penúltimo anillo de crecimiento hacia el interior, próximo a la zona de transición entre albura-duramen, tal como se ilustra la Figura N° 2.



Figura N° 2
OBTENCIÓN DE PROBETAS DESDE DURAMEN INTERIOR Y EXTERIOR

Paralelamente, se obtuvieron probetas para el control del ensayo (duramen de pino radiata) y la determinación del contenido de humedad de las probetas con duramen de larix, considerando las mismas dimensiones mencionadas. La cantidad de probetas se detalla en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2
CANTIDAD DE PROBETAS

Probeta	Ubicación en el duramen	Cantidad
Ensayo con <i>Trametes versicolor</i> (L. ex Fr.) Pilát	D.I.	10
	D.E.	20
Ensayo con <i>Gloeophyllum trabeum</i> (Pers. ex Fr.)	D.I.	10
	D.E.	20
Control <i>Trametes versicolor</i> (L. ex Fr.) Pilát	-	4
Control <i>Gloeophyllum trabeum</i> (Pers. ex Fr.)	-	4
Contenido de humedad	-	25

3.2.2 Secado de las probetas control

Las probetas control tienen por finalidad validar el ensayo al exponer a la acción de los hongos de pudrición una especie maderera con una durabilidad natural conocida. Para ello, se utilizó duramen de pino radiata para el hongo de pudrición café y duramen de álamo para el hongo de pudrición blanca, especies catalogadas como “No durables”, según el Anexo N°1 de la norma NCh 789/1. De acuerdo con la metodología descrita en la norma de ensayo, las probetas control fueron dispuestas en un horno de secado entre 18 y 24 horas, para posteriormente pasar a un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente, las probetas fueron pesadas en una balanza con una precisión de 0,01 g para determinar su masa inicial seca (m_0) y dispuestas al interior de la cámara climática para ser acondicionadas al 12% de contenido de humedad ($20\pm 2^\circ\text{C}$ y $65\pm 5\%$ H.R.) (Figura N° 3).

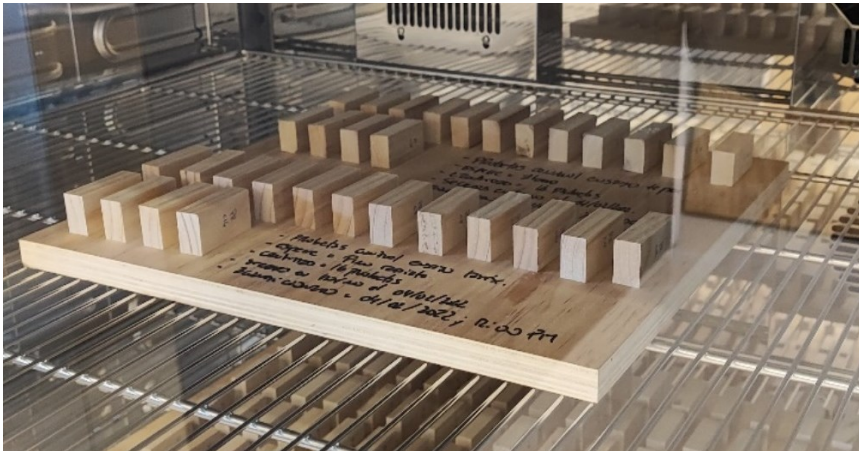


Figura N° 3
ACONDICIONADO DE LAS PROBETAS CONTROL Y DE ENSAYO

3.2.3 Preparación de las probetas de humedad y de ensayo

Las 25 probetas de larix para determinar su contenido de humedad y las 60 probetas de larix para el ensayo de durabilidad natural fueron dispuestas en una cámara de acondicionado (Figura N° 4), configurada a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $65\pm 5\%$ de humedad relativa, hasta que la variación de la masa fuera de $\pm 0,01$ g, medida en intervalos de 24 horas. Una vez alcanzada la masa constante, las probetas fueron pesadas registrando las masas iniciales acondicionadas (m_1).

Posteriormente, las probetas de larix para determinar su contenido de humedad fueron secadas en un horno de secado entre 18 y 24 horas. Cumplido el tiempo de secado, se introdujeron en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente, para después pesarlas en una balanza, con 0,01 g de precisión, para determinar la masa seca (m_0).

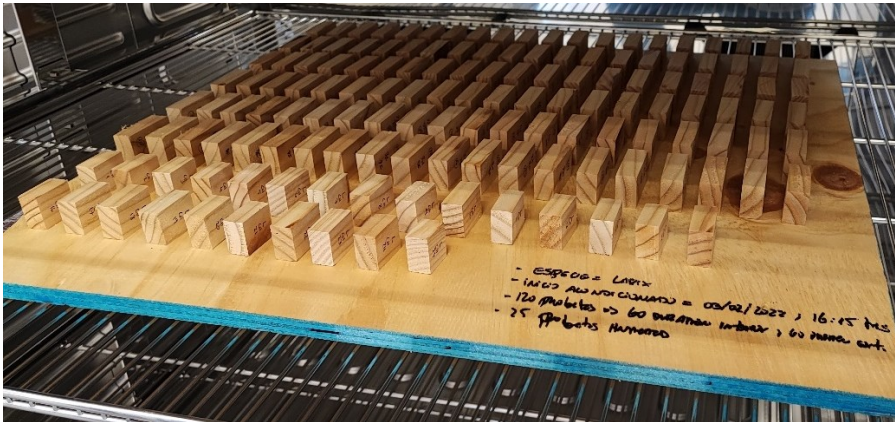


Figura N° 4
PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Con la m_1 y m_0 de las probetas de humedad, se procedió a calcular el contenido de humedad de cada una de ellas, al expresar la masa de agua ($m_1 - m_0$) como un porcentaje de la masa seca (m_0).

Finalmente, se calculó el contenido de humedad promedio de las probetas de humedad para determinar la masa inicial seca de cada probeta de ensayo de larix, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$m_i = m_1 * \frac{100}{100 + MC}$$

Donde:

m_i : Masa inicial seca de cada probeta de ensayo (g).
 m_1 : Masa acondicionada inicial de cada probeta (g).
 MC : Contenido de humedad promedio (%).

3.2.4 Preparación del medio de cultivo

Como medio de cultivo se utilizó PDA (Potato Dextrosa Agar) preparado en una proporción de 39 g de PDA por cada litro de agua destilada utilizando matraces de Erlenmeyer (Figura N° 5). Una vez disuelto el preparado, se procedió a esterilizar el medio de cultivo en autoclave bajo un programa a 121°C por 20 minutos (Figura N° 6). De forma paralela se esterilizaron los frascos de vidrio. Una vez esterilizado todo el material, se trasvasijaron 75 ml de medio de cultivo a cada frasco de vidrio, dejando la tapa cerrada, sin apretar en exceso.

Finalizado el proceso de trasvasiado del medio PDA, los frascos de vidrio fueron dispuestos de forma horizontal al interior de la cabina de flujo laminar, donde se enfrió el medio de cultivo (Figura N° 7).



Figura N° 5
PREPARACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO



Figura N° 6
ESTERILIZACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO

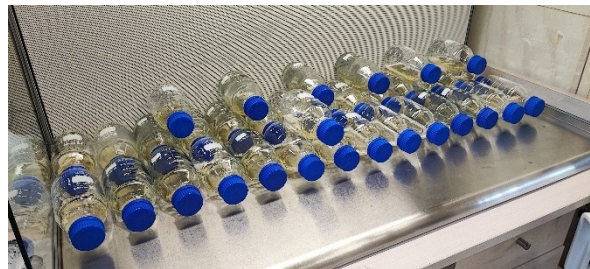


Figura N° 7
ENFRIADO DEL MEDIO DE CULTIVO

3.2.5 Inoculación de las cepas

Al interior de una cabina de flujo laminar y con la ayuda de un sacabocado de acero inoxidable, se cortaron secciones circulares de 5 mm de diámetro desde las placas Petri que contenían los hongos de pudrición. Con un asa estéril se inocularon 4 secciones circulares de hongos de pudrición en cada frasco de vidrio, una por esquina (Figura N° 8). Los frascos se cerraron utilizando sus respectivas tapas y fueron rotulados con el tipo de hongo y la fecha de inoculación. Posteriormente, los frascos de vidrio fueron introducidos en la cámara climática configurada a $22 \pm 2^\circ\text{C}$ y $70 \pm 5\%$ de humedad relativa, hasta que el medio de cultivo fue cubierto en su totalidad por micelio.



Figura N° 8
INOCULACIÓN DE HONGOS EN MEDIO DE CULTIVO

3.3 Montaje del Ensayo

Previo al montaje del ensayo, las probetas de ensayo de larix y control de pino radiata fueron esterilizadas en autoclave aplicando dos ciclos de trabajo distanciados por 24 horas. El primero consideró 20 minutos a 121°C, mientras que el segundo fue de 10 minutos a 121°C. Una vez que el micelio cubrió el medio de cultivo, los frascos de vidrio fueron retirados de la cámara climática, desinfectados en su exterior con alcohol al 73% y dispuestos al interior de la cabina de flujo laminar (Figura N° 9).



Desinfección superficial de los frascos de vidrio



Frascos de vidrio y probetas en cabina de flujo laminar

Figura N° 9
PREPARACIÓN PARA EL MONTAJE DEL ENSAYO

En cada frasco de vidrio se introdujo una lámina plástica estéril, de manera que las probetas no quedaran en contacto directo con el medio de cultivo. Sobre ella se montaron 2 probetas en serie hacia la boquilla (Figura N° 10). Los frascos de vidrio fueron cerrados con sus respectivas tapas y rotulados con el número de las probetas en su interior y la fecha del montaje (Figura N° 11). Finalmente, los frascos de vidrio fueron dispuestos al interior de la cámara climática configurada a $22 \pm 2^\circ\text{C}$ y $70 \pm 5\%$ de humedad relativa por 8 y 16 semanas, según el tipo de hongo (Figura N° 12).



Figura N° 10
MONTAJE DE LAS PROBETAS



Figura N° 11
ROTULADO DE LOS FRASCOS DE VIDRIO



Figura N° 12
ENSAYO EN CÁMARA DE CLIMA

3.4 Determinación de la Pérdida de Masa

Cumplido el tiempo de exposición, las probetas de larix fueron retiradas de los frascos, se eliminó el micelio superficial y se pesaron (m_2). Posteriormente, se secaron en una estufa configurada a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, hasta alcanzar masa constante, para determinar la masa seca final (m_3).

La pérdida de masa de cada probeta de ensayo y control fue calculada al expresar la pérdida de masa ($m_i - m_3$) como un porcentaje de la masa inicial seca (m_i), de acuerdo a la siguiente expresión.

$$PM = \frac{m_i - m_3}{m_i} * 100$$

Donde:

- PM: Corresponde a la pérdida de masa en %.
- m_i : Corresponde a la masa seca inicial de cada probeta (g).
- m_3 : Corresponde a la masa seca final de cada probeta (g).

Con el porcentaje de pérdida de masa se asignó una categoría de durabilidad natural para el duramen, en base a las escalas de Findlay y EN-350:2016 (Cuadro N° 3).

Cabe consignar que ambas escalas consideran las mismas 5 categorías que señala la norma chilena NCh 789-1 Of.1987.

**Cuadro N° 3
ESCALAS DE DURABILIDAD NATURAL**

Categoría	Pérdida de Masa (%)	
	Findlay	EN-350
Muy Durable	0 - ≤ 1	≤ 5
Durable	1 - ≤ 5	5 - ≤ 10
Moderadamente Durable	5 - ≤ 10	10 - ≤ 15
Poco Durable	10 - ≤ 30	15 - ≤ 30
No Durable	>30	>30

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Desarrollo del Ensayo y Categoría de Durabilidad Natural

Al cabo de 3 semanas las probetas de duramen de larix que estuvieron en contacto con el hongo G.T. estaban cubiertas con un micelio abundante y voluminoso. Las probetas en contacto con el hongo T.V., en tanto, lograron la misma condición aproximadamente a las 8 semanas. Las Figuras N° 13 y N° 14 ilustran el ataque de los hongos de pudrición café y blanca en las probetas de duramen de larix, respectivamente. En las imágenes de la izquierda se observan las probetas cubiertas con micelio una vez finalizado el tiempo de exposición, mientras que en las imágenes de la derecha se observa la probeta sin la cubierta de micelio. En las probetas sin micelio se observó agrietamiento en la madera de primavera y una notoria variación en el peso.



**Figura N° 13
ATAQUE HONGO G.T. MADERA DE DURAMEN**



Figura N° 14
ATAQUE HONGO T.V. MADERA DE DURAMEN

En la Figura N° 15 se ilustran las pérdidas de masa de las probetas en función del tipo de hongo.

De los resultados se desprende que la acción del hongo de pudrición café G.T. fue más agresiva que la del hongo de pudrición blanca T.V. La degradación generada por los hongos G.T. y T.V. alcanzó un 12,27% y 5,84%, respectivamente. Lo anterior se debe al comportamiento natural de cada hongo.

Los que generan pudrición café digieren la celulosa y las hemicelulosas de la pared celular de la madera, dejando casi intacta la lignina, la que permanece como un residuo polimérico (Green and Highley, 1997; Arantes and Goodell, 2014). Como consecuencia de este ataque, la madera se oscurece, contrae y se agrieta generando una configuración semejante a ladrillos, lo que conlleva rápidamente a fallas estructurales (Gierlinger *et al.*, 2003).

Los hongos que generan pudrición blanca son capaces de metabolizar completamente la lignina, removiéndola de la madera causando perdidas moderadas de hemicelulosas, dejando la celulosa prácticamente intacta o con bajos índices de degradación (Peralta *et al.*, 2017).

La madera atacada por pudrición blanca presenta generalmente una apariencia blanquecina la que puede ocurrir ya sea de forma uniforme, dejando la madera como una masa esponjosa o fibrosa, o puede aparecer como pudrición selectiva o como bolsillos de pudrición (Goodell *et al.*, 2008).

Ensayos realizados en maderas europeas confirman este comportamiento, donde el hongo *Trametes versicolor* generó mayores pérdidas de masa en maderas latifoliadas en comparación con los hongos de pudrición café *C. puteana* y *R. placenta*; estos últimos generaron mayores pérdidas de masa en especies coníferas (Brischke *et al.*, 2023).

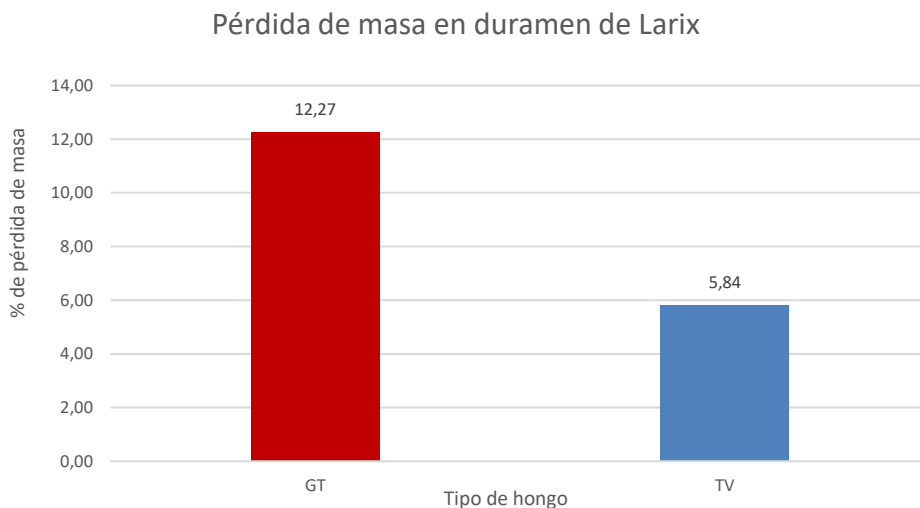


Figura N° 15
PÉRDIDA DE MASA PROMEDIO POR TIPO DE HONGO

En el Cuadro N° 4 se indican las categorías de durabilidad natural según las escalas de Findlay y EN-350. La madera de duramen de larix califica como "Poco Durable" frente a la acción de la pudrición café, con pérdidas de masa entre el 10% y 30%, y como "Moderadamente Durable" frente a la acción de la pudrición blanca, con pérdidas de peso entre el 5% y 10%.

Las probetas control expuestas a los hongos de pudrición café y blanca registraron pérdidas de peso promedio de un 40,0% y un 37,9%, respectivamente, clasificando en la escala "No durable", lo que valida los resultados obtenidos.

Cuadro N° 4
CLASIFICACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL

Tipo Hongo	Madera	Nombre Abreviado Hongo	Pérdida Masa* (%)	Findlay		EN-350	
				Rango (%)	Categoría	Rango (%)	Categoría
Café	Duramen	G.T.	12,27	10 - ≤30	Poco Durable	10 - ≤15	Mod Durable**
	Control		37,9	>30	No Durable	>30	No Durable
Blanca	Duramen	T.V.	5,84	5 - ≤10	Mod Durable**	5 - ≤10	Durable
	Control		40,0	>30	No Durable	>30	No Durable

* Corresponde al promedio de las repeticiones; ** Moderadamente Durable.

La escala de Findlay y la señalada en la norma EN-350 presentan las mismas 5 categorías de durabilidad natural que señala la norma chilena NCh 789/1, lo que permite homologar los resultados a la realidad nacional (Cuadro N° 5).

Para asignar la durabilidad natural de la madera de duramen de larix se debe considerar la escala más rigurosa, que en este caso corresponde a la propuesta por Findlay. Bajo esta condición, se aprecia que la madera de duramen de larix califica como “Poco Durable” a la acción de hongos xilófagos de pudrición café.

Los resultados son similares a los obtenidos para el caso del larix europeo de Suecia, donde la pérdida de masa causada por el hongo *Trametes versicolor* fue de aproximadamente un 3%, mientras que el daño causado por el hongo *Gloeophyllum trabeum* fue cercano al 14%, clasificándola como una especie “Poco durable” (Jebrane *et al.*, 2014).

Cuadro N° 5
CLASIFICACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL

Tipo Hongo	Madera	Nombre Abreviado Hongo	NCh 789/1 (1987)
Pudrición Café	Duramen	G.T.	Poco Durable

4.2 Análisis de Resultados

4.2.1 Relación entre el hongo de pudrición y la pérdida de masa

La relación entre la pérdida de masa y el tipo de hongo de pudrición fue analizada estadísticamente utilizando el software R.

En la Figura N° 16 no se observa un traslape de los datos, lo que podría indicar que efectivamente existen diferencias significativas entre ambos hongos de pudrición.

Misma situación ocurre en la Figura N° 17, donde también se observa que no hay traslape de los datos. Sin embargo, se verificará con una prueba T de Student si las medias de pérdida de masa son estadísticamente diferentes.

Previo al análisis estadístico de las muestras, se verificó la normalidad de los datos, la ausencia de valores atípicos y la homogeneidad de las varianzas.

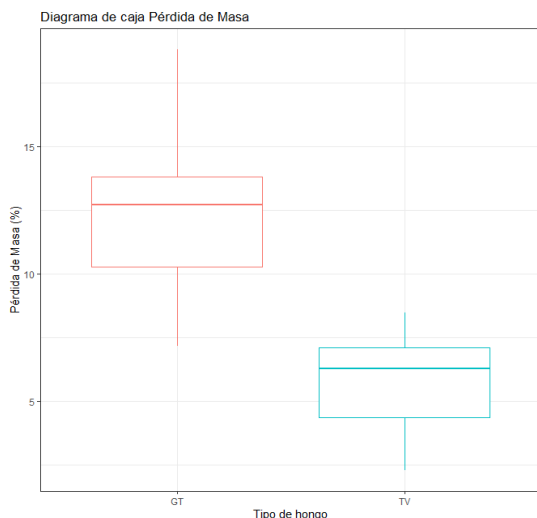


Figura N° 16
GRÁFICO DE CAJA DE LA PÉRDIDA DE MASA EN
DURAMEN

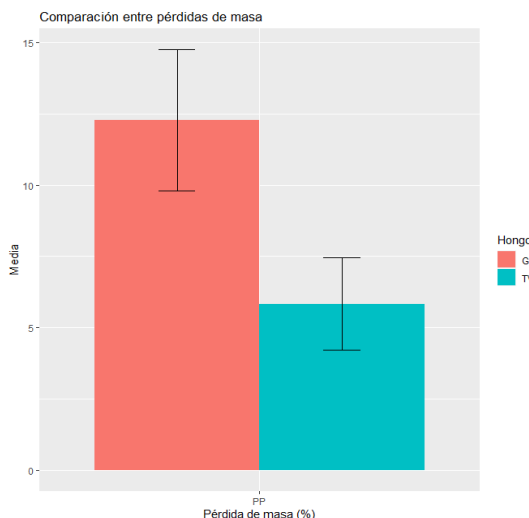


Figura N° 17
COMPARACIÓN ENTRE PÉRDIDAS DE MASA EN
DURAMEN

El supuesto de normalidad de los datos se representó gráficamente (Figura N° 18). Se observa que para ambos hongos los datos se mueven en torno a la recta y dentro de la zona de normalidad.

Gráficamente se puede concluir que los datos siguen una distribución normal, sin embargo, aplicando una prueba estadística formal se verificará este supuesto. Se aplicó el método de Shapiro-Wilk (Cuadro N° 6) para verificar la normalidad de los datos asociados a las muestras (G.T. y T.V.), dado que cada una de ellas posee menos de 50 datos.

Se plantea como hipótesis nula (H_0) que las pérdidas de masa de las muestras se distribuyen normalmente, y como hipótesis alternativa (H_1) que las pérdidas de masa de las muestras no se distribuyen de forma normal.

Según los resultados, se observa que las muestras siguen una distribución normal, dado que los valores P son mayores al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$). El análisis de puntos atípicos y extremos resultó ser negativo para ambas muestras estudiadas.

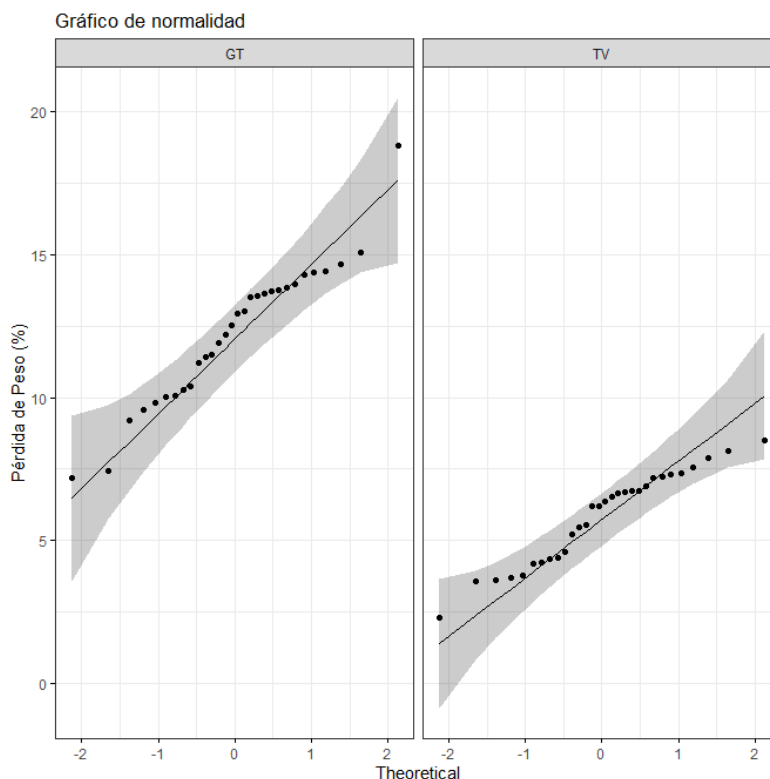


Figura N° 18
GRÁFICOS DE NORMALIDAD DE LA PÉRDIDA DE PESO EN DURAMEN

Cuadro N° 6
PRUEBA DE NORMALIDAD DE SHAPIRO-WILK

Variable	Estadístico de prueba	Valor P
G.T.	0,958	0,277
T.V.	0,949	0,160

El supuesto de homogeneidad de varianzas se verificó mediante el test de Levene. Se planteó como hipótesis nula (H_0) que las varianzas de las pérdidas de masa de las muestras son homogéneas y como hipótesis alternativa (H_1) que las varianzas de las pérdidas de masa de las muestras no son homogéneas. La prueba estadística (Cuadro N° 7) indicó que las pérdidas de masa asociadas a cada hongo de pudrición presentan igualdad de varianzas, dado que el valor P obtenido en la prueba es mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$). A modo de corroboración, se ejecutó el test de Flinger-Killeen, obteniendo un valor P de 0,0899.

Cuadro N° 7

PRUEBA DE LEVENE PARA HOMOCEDASTICIDAD

Variable	Prueba estadística	Grados de libertad	Valor F	Valor P
Pérdida de peso	Levene	1	3,41	0,0699
	Flinger-Killeen	1	2,87	0,0899

Con los supuestos verificados, se procedió a ejecutar una prueba T de Student para comparar ambas muestras. Se planteó como hipótesis nula (H_0) que las medias de las pérdidas de masa de las muestras son iguales y como hipótesis alternativa (H_1) que las medias de las pérdidas de masa de las muestras son diferentes. Los resultados en el Cuadro N° 8 indican que el valor P de la prueba es menor al valor de significancia ($\alpha = 0,05$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, confirmando con un 95% de confianza que existen diferencias significativas entre las medias de las pérdidas de masa en la madera de duramen de larix.

Cuadro N° 8
COMPARACIÓN DE LAS MUESTRAS MEDIANTE PRUEBA T

Variable	Muestra 1	Muestra 2	Tamaño muestra 1	Tamaño muestra 2	Estadístico de prueba	Grados de libertad	Valor P
Pérdida de masa	G.T.	T.V.	30	30	11,9	50	3,1e ⁻¹⁶

4.2.2 Relación entre la ubicación del duramen y la pérdida de masa

Se analizó la pérdida de masa en relación a la ubicación de la probeta dentro del duramen de larix, para verificar si esta variable influye en la durabilidad natural.

Los resultados indicaron que las probetas extraídas de la zona interna del duramen (próximas a la médula) presentan una durabilidad natural inferior en comparación a las extraídas del duramen exterior, es decir, de la zona más cercana a la transición albura-duramen, según detalle del Cuadro N° 9 y Figura N° 19. Para el caso del hongo G.T. la pérdida de masa para el duramen interior fue de un 13,52%, mientras que para el duramen exterior fue de un 9,77%, registrándose una diferencia de 3,75% entre ambas ubicaciones. Para el hongo T.V., en tanto, las pérdidas de masa registradas fueron de un 6,82% y 3,87%, para duramen interior y exterior, respectivamente, generando una diferencia de 2,95% entre las ubicaciones.

Este fenómeno se atribuye a la forma en la que se distribuyen los extraíbles contenidos en el duramen de la madera. Los extraíbles corresponden a sustancias químicas presentes en las plantas, y se asocian a funciones metabólicas como también a mecanismos de defensa y protección (De Melo *et al.*, 2022). En cuanto a su distribución, ellos están presentes en mayor concentración en la parte externa del duramen, cercano a la transición albura-duramen, motivo por el que esta zona del duramen presenta mayor durabilidad natural. El duramen interior, en

tanto, posee una menor resistencia al ataque de hongos debido a una menor concentración y efectividad de extraíbles (Gambetta *et al.*, 2004; Curnel *et al.*, 2008; Quintilhan *et al.*, 2018), atribuida, en gran medida, a que con el tiempo los extraíbles en la parte interna del duramen se degradan progresivamente y, por lo tanto, pierden su toxicidad, volviéndolos menos efectivos ante el ataque de agentes invasores (Quintilhan *et al.*, 2018).

Estudios efectuados en madera de larix mostraron que existe una correlación muy estrecha entre la pérdida de masa en ensayos efectuados con hongos de pudrición café y el contenido de extraíbles presentes en el duramen (Windeisen *et al.*, 2002).

Cuadro N° 9
PÉRDIDA DE MASA PROMEDIO, SEGÚN UBICACIÓN DEL DURAMEN

Tipo de hongo	Ubicación del duramen	Pérdida de masa (%)
G.T.	Duramen interno	13,52
	Duramen externo	9,77
T.V.	Duramen interno	6,82
	Duramen externo	3,87

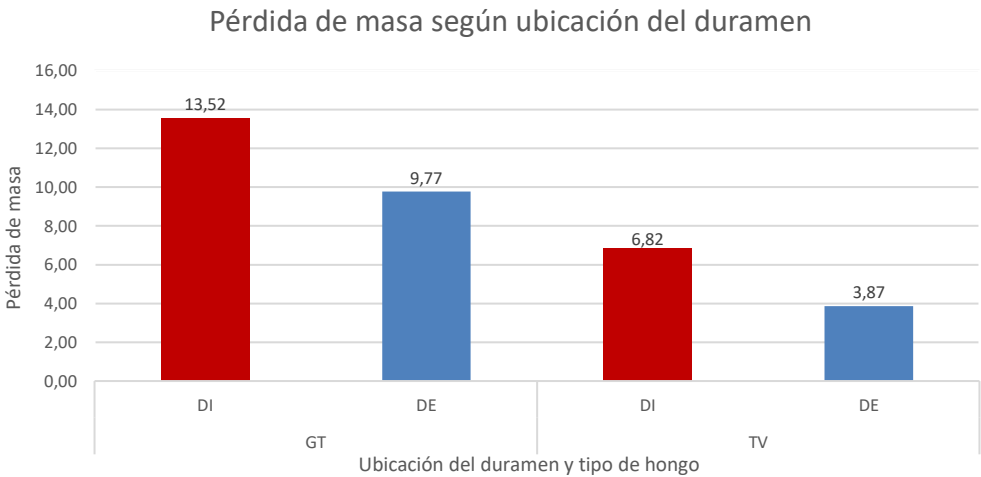


Figura N° 19
PÉRDIDA DE MASA PROMEDIO, SEGÚN UBICACIÓN DEL DURAMEN

5 CONCLUSIONES

La escala de Findlay define la durabilidad natural de la madera de duramen de larix como “Poco durable”, con pérdidas de masa entre el 10 - $\leq 30\%$, mientras que la escala definida en la norma UNE-EN350 la clasifica como “Moderadamente durable”, con pérdidas de masa entre el 10 - $\leq 15\%$.

Para asignar la categoría de durabilidad natural a la madera de duramen de larix se utilizó la escala de Findlay, por ser la de mayor rigurosidad en comparación a la señalada en la norma EN-350.

Se evidenció una clara diferencia en la pérdida de masa entre las probetas de larix obtenidas desde el duramen interno con aquellas extraídas desde el duramen externo. La durabilidad natural fue superior en la zona exterior del duramen, lo que fue corroborado con literatura internacional.

De acuerdo a lo establecido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones de Chile, las maderas que presenten una durabilidad natural en la categoría de “No durable”, deben ser preservadas para su uso en aplicaciones estructurales. La madera de duramen de larix proveniente de la zona de la región de Aysén se categoriza como “Poco durable”, condición que no obliga su preservación para uso en aplicaciones estructurales.

El análisis estadístico realizado permite concluir que existe diferencia significativa en la pérdida de masa promedio obtenida para cada tipo de hongo de pudrición, dado que el valor P obtenido es menor que el valor de significancia, cumpliendo con todos los supuestos del análisis.

6 REFERENCIAS

AENOR (2016) UNE-EN 350 2016. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Ensayos y clasificación de la resistencia a los agentes biológicos y de los productos derivados de la madera. Madrid. España.

Arantes V. and Goodell, B. (2014). Current understanding of brown-rot fungal biodegradation mechanisms: A review. Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterial. Chapter 1, pp 3-21.

AWPA (2016). E10. Testing wood preservatives by laboratory soil block cultures. American Wood Protection Association.

Brischke, C.; Haase, F.; Bächle, L. and Bollums, S. (2023). Statistical Analysis of Wood Durability Data and Its Effect on a Standardized Classification Scheme. Standards 2023, 3, 210–226.

CIRAD (2011). TROPIX 7 *Larix decidua* Mill. database.

CEN (2005). Durability of wood and wood-based products - Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods - Part 1: Basidiomycetes. European Committee for Standardization. Brussels.

Curnel, Y.; Jaques, D.; Gierlinger, N. and Pâques, Luc (2008). Variation in the decay resistance of Larch to fungi. Annals of the Forest Science. 65 (2008) 810.

De Melo, R.; De Medeiros, D.; Goes, P. and Gatto, D. (2022). Natural durability of five tropical wood species in field decay tests. Maderas, Ciencia y Tecnología. Vol.24.

Da Ronch, F.; Caudullo, G.; Tinner, W. and de Rigo, D. (2016). *Larix decidua* and other Larches in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e01e492.

Findlay, W. P. K. (1962). Preservation of Timber. A & C Black Publishers Ltd. 176 pp.

Gambetta, A.; Susco, D. and Zanuttini, R. (2004). Determination of the natural durability of Larch wood (*Larix decidua* Mill.) from the Western Italian Alps. *Holzforschung* 58(6):678-681.

Godoy, M.; Defossé, G. y Thren, M. (2007). Especies forestales promisorias para la diversificación de forestaciones en la Patagonia Argentina. *Revista Bosque* vol. 28, núm. 1, 2007, 99. 25-32. Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Goodell, B.; Qian, Y. and Jellison, J. (2008). Fungal decay of wood: Soft rot-brown rot-white rot. Development of Commercial Wood Preservatives. Chapter 2, pp 9-31.

Gierlinger, N.; Jacques, D.; Schwanninger, M.; Wimmer, R. and Pâques, Luc (2003). Heartwood extractives and lignin content of different Larch species (*Larix spp.*) and relationships to brown-rot decay resistance. *Trees* (2004), 18:230-236.

Green, F. and Highley, T. (1997). Mechanism of brown-rot decay: Paradigm or paradox. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 39(2-3):113-124.

INFOR, 2020. Nota periodística en sitio web de Instituto Forestal. Consultado el 28 de junio de 2023 ([www.https://www.infor.cl/index.php/noticias/610-infor-investiga-la-especie-larix-como-alternativa-para-diversificacion-forestal-en-aysen](https://www.infor.cl/index.php/noticias/610-infor-investiga-la-especie-larix-como-alternativa-para-diversificacion-forestal-en-aysen)).

INN (1987). NCh 789/1 Of. 1987. Maderas - Parte 1: Clasificación de maderas comerciales por su durabilidad natural. Santiago. Chile.

INN (2014). NCh 1198 Of. 2014. Madera - Construcciones en madera - Cálculo. Santiago. Chile.

Jebrane, M.; Pockrandt, M. and Terziev, N. (2014). Natural durability of selected Larch and Scots Pine heartwoods in laboratory and field tests. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 91(2014), 88-96.

Loewe, V. y Murillo, P. (2001). Estudio de ensayos de introducción de especies. Fundación de Comunicaciones del Agro FUCOA. Ministerio de Agricultura, Chile.

Loewe, V. (2023). Entrevista telemática con Verónica Loewe efectuada el 22 de junio de 2023.

MINVU (1992). Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Decreto Supremo N°47. Chile.

Peralta, R. M.; Da Silva, B. P.; Gómez, R. C.; Kato, C. G.; Vicente, F. A. and, Bracht, A. (2017). Chapter 5 - Enzymes from Basidiomycetes - Peculiar and Efficient Tools for Biotechnology. *Biotechnology of Microbial Enzymes*. Academic Press. Pages 119-149.

Quintilhan, M.; Oliveira, W.; Oliveira, A.; Corradi, B.; Môra, R. e Sousa, A. (2018). Deterioração da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* em ensaio de campo. *Brazilian Journal of Wood Science*. 9(2): 82-94.

Windeisen, E.; Wegener, G.; Lesnino, G. and Schumacher, P. (2008). Investigation of the correlation between extractives content and natural durability in 20 cultivated Larch trees. *European Journal of Wood and Wood Products*. Heidelberg. Tomo 60, N° 5. (Oct 2002): 373-374.



INFOR



www.infor.cl