

**BIOALTERACIÓN,  
PROTECCIÓN  
Y CONSERVACIÓN  
DE MADERAS**

**BIOALTERACIÓN, PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE MADERAS.**  
Vilma G. Rosato, Luis P. Traversa. - 1a ed . - La Plata : Laboratorio de Entrenamiento  
Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica - LEMIT, 2017.

100 p. ; 30 x 21 cm.

ISBN 978-987-3838-08-8

1. Madera . 2. Conservación. 3. Restauracion en Madera. Vilma G. Rosato, Luis P. Traversa  
III. Título  
CDD 720.1

***Título:***

**BIOALTERACIÓN, PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE MADERAS**

***Editor:***

Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica

***Diseño y diagramación:***

Maria Laura Motta

***Diseño, Fotografía e ilustraciones:***

Sebastian Marquez

***Cantidad de ejemplares:*** 100

Esta publicación es patrocinada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires a través de un Subsidio para Publicaciones Científicas y Tecnológicas (PCT09).



Todos los derechos reservados.

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida por algún método gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo los sistemas de fotocopias, registro magnetofónico o de alimentación de datos, sin expreso consentimiento del editor.

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced by any method graphic, electronic or mechanical, including photocopying systems, magnetic recording or record data feed, without written permission from the publisher.

## **INDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA</b>	<b>9</b>
<b>LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>21</b>
<b>PROTECCIÓN DE LA MADERA CONTRA AGENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS</b>	<b>31</b>
<b>BIODETERIORO CAUSADO POR INSECTOS EN MADERAS</b>	<b>45</b>
<b>DURABILIDAD DE LAS MADERAS</b>	<b>57</b>
<b>ACCIÓN DEL BIOFOULING SOBRE MADERAS SUMERGIDAS</b>	<b>65</b>
<b>DURABILIDAD DE MADERAS: IMPACTO DE LOS HONGOS EN EL PROCESO Y SUS DAÑOS</b>	<b>75</b>



## Dra. Vilma Gabriela Rosato

(1963 – 2019)

El contenido de esta publicación, Anales LEMIT, Serie III, Año 4, N° 10, fué ideado por la *Dra. Vilma G. Rosato*, a fin de dar a conocer el estado del arte en lo relativo a “**Bioalteración, Protección y Conservación de Maderas**”, un tema de gran importancia en la restauración y reparación de bienes patrimoniales, invitando a expertos de distintas temáticas a exponer sobre sus investigaciones desarrollos tecnológicos.

La Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires otorgó en el llamado a concurso para Publicaciones Científicas Tecnológicas un subsidio para la edición de este libro, que hoy se está presentando a pesar de que Vilma nos ha dejado inesperadamente luego de su anhelado viaje por África.

La *Dra. Vilma G. Rosato*, Investigadora Adjunta CONICET, había nacido en La Plata el 7 de Octubre de 1963, siendo sus padres Mario E. Rosato e Iris Vilma Di Domenico. Realizó sus estudios secundarios en la Escuela Normal N° 1 y sus estudios universitarios en la Universidad Nacional de La Plata, obteniendo el título de Licenciada en Biología, orientación Ecología y con posterioridad obtuvo el título de Doctora en Ciencias Naturales, con una tesis que fue defendida y calificada con 10 sobresaliente. En la Universidad Tecnológica Nacional Regional La Plata obtuvo el título de Especialista en Ingeniería Ambiental, Control de la contaminación (Efluentes líquidos, gaseoso, residuos sólidos) - Gestión ambiental.



Ingresó al sistema científico, en mayo de 1999, desarrollando sus actividades de investigación en el Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT), dependiente de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), siendo responsable del Laboratorio de Cultivos Biológicos. Ha sido Investigadora Responsable del proyecto de intercambio entre el LEMIT y el Instituto de Física y Química de las Superficies de Padua, Italia, para estudiar nuevos métodos de limpieza y eliminación de microorganismos causantes del biodeterioro de los materiales de la Ingeniería Civil, bajo la dirección del Dr. Umberto Casellato (CNRS- Padua) especialista en la temática.

También ha desarrollado estadias científicas como becaria en Austria para perfeccionarse en taxonomía de líquenes, aplicando esos conocimientos a la conservación de edificios históricos y monumentos. Complementariamente realizó una estadia en Japón para perfeccionarse en temas de biodeterioro.

En la actualidad se desempeñaba también como Docente de la Universidad Tecnológica Nacional Regional La Plata, Laboratorio Lemac, lo cual complementaba con actividades de investigación en particular en el estudio del efecto de mohos sobre morteros de cemento con distintas adiciones y el estudio del crecimiento sobre morteros con distintos colorantes de cementos. Ha sido participante activa en el dictado de conferencias y presentaciones de trabajos vinculados con el biodeterioro de materiales: crecimiento y acción de los líquenes, hongos y plantas sobre materiales y construcciones de interés patrimonial; temática en la cual la *Dra. Vilma G. Rosato* era una especialista reconocida tanto a nivel nacional como internacional.

Fue una activa impulsora de Congresos y Reuniones Científicas organizadas por el LEMIT vinculadas con la temática del Patrimonio Construido, como por ejemplo el COIBRECOPA, en los cuales se ha desempeñado en las distintas ediciones como miembro del Comité Científico. Además, merece señalarse su estrecha vinculación con el grupo GIICMA de la UTN Regional Concordia, Entre Ríos, con el cual ha participado en la ejecución de diversos trabajos vinculados con su especialidad.

Unido a su actividad científico-tecnológica, la *Dra. Vilma G. Rosato* tenía una amplia vida social que la hacía una asidua concurrente por ejemplo a las jornadas que organizaba el Teatro Argentino y/o el Teatro Colón como así también en la realización de safaris fotográficos que la llevaron a recorrer América y parte de África.

Con la *Dra. Vilma G. Rosato* se pierde, entonces, una investigadora prestigiosa y también una querida compañera en las actividades de investigación y desarrollo vinculadas con la biología y la preservación de los bienes patrimoniales.

# INTRODUCCIÓN

El aumento constante del consumo de madera como material ha llevado a la necesidad de introducir en el mercado especies de crecimiento rápido las cuales poseen propiedades inferiores desde el punto de vista de la resistencia a la degradación. La extracción de madera en el pasado fue indiscriminada, sin medir las consecuencias del deterioro de los bosques naturales; se extraían grandes volúmenes de madera de crecimiento lento, que demoraban siglos en madurar, dejando en pie aquellos árboles de menor calidad.

La consecuencia de esta sobreexplotación significó finalmente la búsqueda de la protección de aquellas construcciones de madera para mejorar su durabilidad y aumentar su vida en servicio. Por otra parte, se buscó, y actualmente se continúa buscando, la forma de utilizar especies de madera variadas, principalmente aquellas de rápido crecimiento, mejorando sus propiedades físico-mecánicas.

Por estos motivos, en los países con desarrollo científico-tecnológico se intenta dar una respuesta adecuada a la amplia variedad de temas involucrados en la correcta protección de la madera y la preservación de bosques naturales vírgenes. Así, los requisitos necesarios para resolver el problema de la preservación de la madera son conocer con profundidad la composición química y biológica, así como también la estructura y las propiedades del material a proteger. Además de conocer con profundidad también los agentes degradantes a los cuales puede ser expuesta la madera, lo que dependerá fundamentalmente del destino que se le dará a la madera como material. La importancia de conocer y estudiar lo antes mencionado radica en la correcta elección de los sistemas protectores desde el punto de vista de la eficiencia, el impacto ambiental y la economía.

Los microorganismos son seres vivos para los cuales el carbono es el mayor constituyente celular, el cual es requerido y obtenido de fuentes diversas. Existe una diversidad de estos microorganismos celulolíticos, entre ellos bacterias y hongos aeróbicos o anaeróbicos que utilizan la celulosa, hemicelulosa

y lignina de la madera como fuente de carbono. Esta gran variedad metabólica hace que sea muy difícil controlar su ataque o crecimiento sobre cualquier sustrato ya que tienen la capacidad de adecuar su metabolismo a las condiciones del medio, aún cuando éstas son extremas.

Paralelamente, las maderas de baja y media densidad presentan una reducida resistencia a la penetración del fuego y una insuficiente capacidad para formar una capa carbonizada que permita el mantenimiento de sus propiedades mecánicas durante una conflagración.

El objetivo fundamental del presente libro entonces es la descripción científico-tecnológica de la madera como material desde el punto de vista biológico e ingenieril y su forma de deterioro. El libro fue elaborado con la colaboración de especialistas en la materia y específicamente para cada temática planteada.

En el mismo se incluye una introducción de la madera como material y sus generalidades, características particulares del deterioro de la madera por agentes biológicos: se detalla el biodeterioro causado por hongos xilófagos, insectos y por último, el biofouling en maderas sumergidas. Finalmente, se puntualiza los sistemas protectores más utilizados en la actualidad como así también las últimas tendencias en protección, así como también se presenta un caso de estudio donde todos estos conocimientos fueron aplicados.

En resumen, el presente libro es el resultado de un estudio exhaustivo de varios profesionales de la ciencia en cuanto a estructura de la madera y el comportamiento de este material frente a agentes degradadores, lo cual permite que este sea una base de conocimiento de formulación y protección de la madera y no solo un estudio acotado de algunos sistemas de protección estancos.

*Dra. Alfieri Paula V.*



# CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA

*Dra. Ing. Ftal Cobas A. C.<sup>1</sup>*

## Introducción

La madera es considerada una materia prima versátil, ya que puede quemarse para obtener energía, usarse tanto en construcciones como en la fabricación de muebles y si se disgrega hasta la fibra se pueden elaborar distintos tipos de papeles. Podemos considerarla como un producto biológico generado durante la actividad de crecimiento del cambium en años sucesivos. Este crecimiento comprende innumerables fenómenos biofísicos, bioquímica y biología celular, y pocos de estos fenómenos están todavía bien comprendidos [1].

Algunas de las características principales de la madera son:

- Es un material poroso, celular, no es un sólido.
- Está compuesto por más de un tipo de células, por lo tanto, su constitución es heterogénea y la mayor proporción de sus elementos celulares es alargada con su eje longitudinal paralelo al eje del fuste (Figura 1)
- Las paredes celulares están constituidas fundamentalmente de celulosa, que forma largas cadenas moleculares y contiene también lignina y hemicelulosas; éstas se ubican entre las cadenas

de celulosa, donde además puede haber agua.

- Es anisotrópica por naturaleza, presenta diferentes comportamientos físicos y mecánicos a lo largo de tres direcciones diferentes: axial, radial y tangencial. (Figura 2)
- Es higroscópica, por lo tanto, toma y pierde humedad como resultado de los cambios de humedad y temperatura atmosférica circundante. Estos cambios generan modificaciones en las dimensiones de las piezas (contracciones e hinchamientos) afectando la estabilidad dimensional de las mismas.
- Es un material de origen biológico, por lo tanto, puede degradarse por la acción de organismos degradadores como hongos, bacterias o insectos. (Figura 3)

## Estructura Macroscópica

La madera está compuesta por células elongadas, la mayoría de ellas en dirección longitudinal al tallo. Están conectadas entre sí a través de torus y varían en su forma de acuerdo a sus funciones, proveer resistencia mecánica, transportar líquidos y como reserva de sustancias.

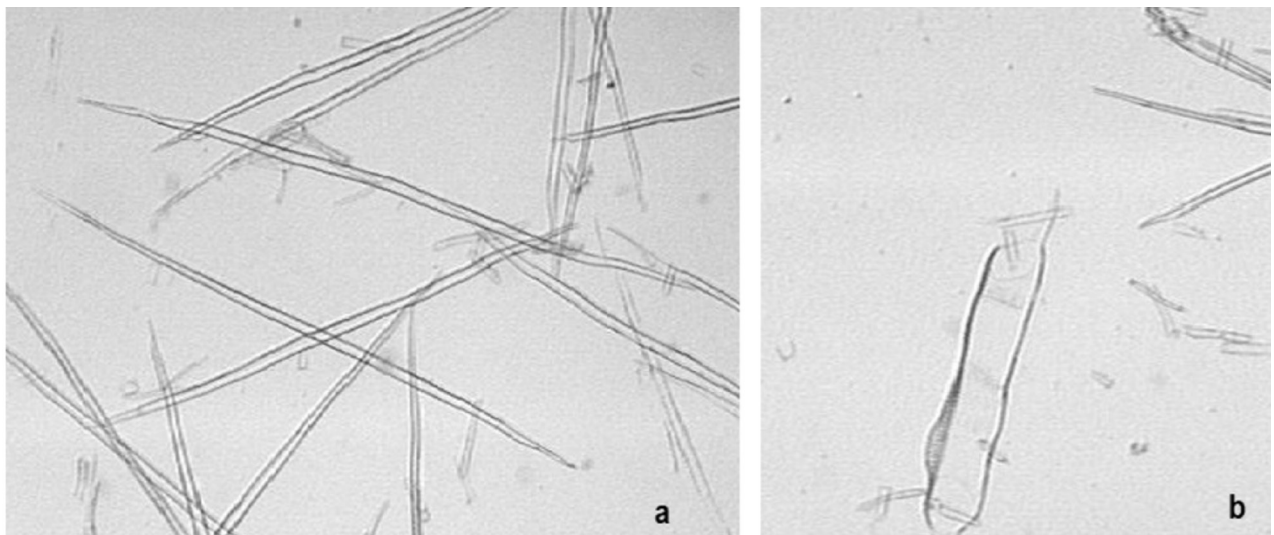


Figura 1. Tipos Celulares. a: fibras; b: vasos de *Populus*. (Foto: Cobas, A. C).

<sup>1</sup> LEMEJ/NOBA. UNNOBA

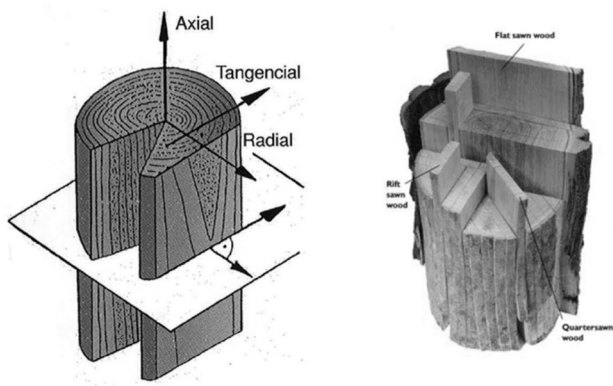


Figura 2. Principales direcciones de la madera (Foto: Trigueros, 2011)

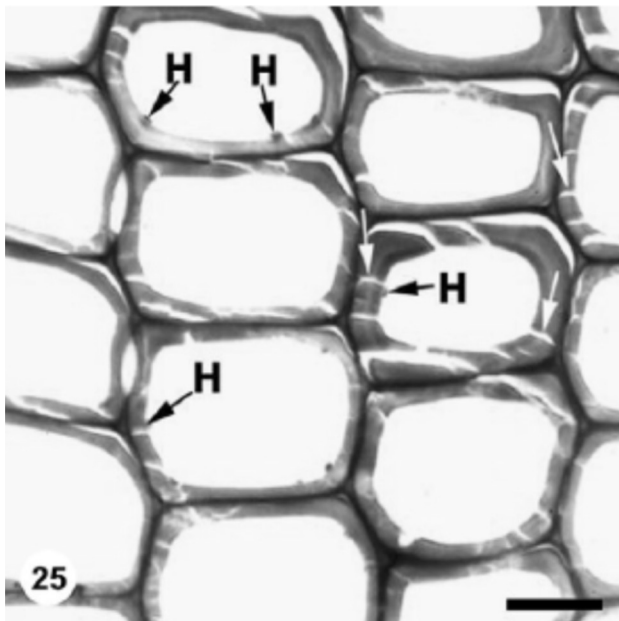


Figura 3. Pudrición marrón. (25) T.S. de madera de Abeto Noruego incubada con *Fomitopsis pinicola* que muestra numerosas hendiduras (flechas) en las paredes secundarias de las traqueidas. En las proximidades de las hifas (H), el muro secundario aparece ligeramente rojizo debido a la degradación de hemicelulosa y celulosa y tinción de lignina modificada con safranina (Foto: Schwarze, 2007).

Si se observa una sección transversal de un fuste de afuera hacia adentro, se evidencian diferentes zonas (Figura 4):

- A-Corteza
- B- Xilema: Albura  
Duramen

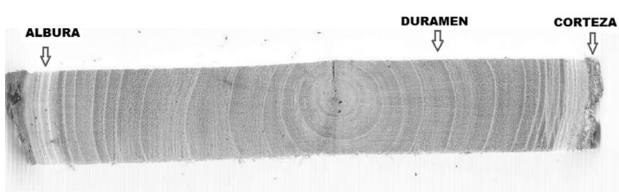


Figura 4. Sección transversal de una tabla de Acacia Blanca (*Robinia pseudoacacia*). (Foto: Cobas, A.C.)

Si tenemos en cuenta la dirección radial, en primer lugar, desde el exterior hacia el centro vamos a encontrar la corteza. A continuación, está el floema y el cambium vascular que es el encargado de la división celular y crecimiento radial de los árboles. Luego el xilema que se organiza en anillos de crecimientos concéntricos y en el cual podemos diferenciar dos zonas: albura y duramen, y por último la médula. (Figura 5).

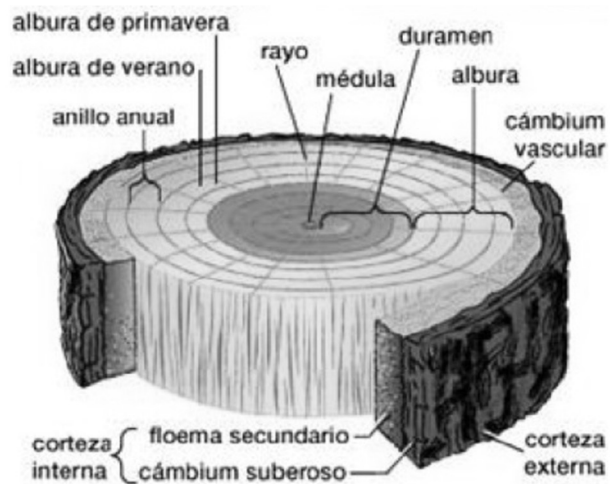


Figura 5. Estructura Macroscópica de la madera. (Foto: [https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/02-la\\_madera.pdf](https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/02-la_madera.pdf))

### Corteza y Floema:

La corteza está constituida interiormente por floema, conjunto de tejidos vivos especializados en la conducción de savia elaborada, y exteriormente por ritidoma o córtex o corteza muerta, tejido que reviste el tronco. La corteza protege al vegetal contra el desecamiento, ataques fúngicos o fuego además de la función de almacenamiento y conducción de nutrientes.

### Cambium:

El cambium es el meristema que produce los tejidos vasculares secundarios. Morfológicamente las células cambiales son de dos formas:

- Iniciales fusiformes
- Iniciales radiales

En la zona cambial las iniciales fusiformes y sus derivadas constituyen el sistema axial y las iniciales radiales el sistema radial.

El crecimiento cambial es episódico e influenciado por las condiciones climáticas, el resultado de este crecimiento se puede considerar de manera simplificada como la formación de un cono invertido o capas de elementos leñosos duraderos y de soporte que se deposita sobre la estructura preexistente (xilema hacia el interior y floema hacia el exterior).

Anualmente, durante de periodo de crecimiento el cambium produce células hacia el xilema (interior) y el floema (exterior). Las fibras de la xilema presentan a su vez diferentes características en cuanto al espesor de pared y ancho de lumen según se generen en la época de primavera /verano (leño temprano) u otoño/ invierno (leño tardío) dentro del mismo ciclo de crecimiento. Las primeras presentan lúmenes más anchos y paredes más delgadas, mientras que las segundas poseen lúmenes más angostos y paredes más anchas, conformando así un anillo de crecimiento (Figura 6).

Un análisis de los anillos de crecimiento, nos indica si el árbol tuvo un crecimiento rápido (anillos bien espaciados), o lento (pequeño espacio entre anillos); o aquellos años que han sido desfavorables para la planta (espacios menores), o más beneficiosos (espacios mayores). (Figura 7).

### Albura

Es la parte activa del xilema, que en el árbol vivo, contiene células vivas y material de reserva [2].

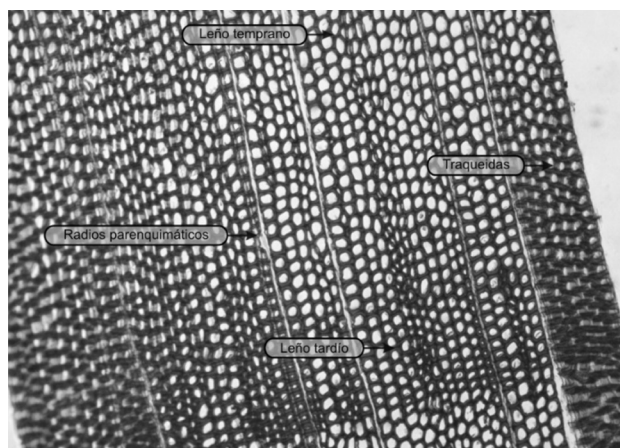


Figura 6. Leño temprano y tardío.  
(Foto: <http://www.fagro.edu.uy/bioveg/maderas.html>)

Conduce gran cantidad de agua y de sales en solución, desde la raíz a las hojas; provee rigidez al tallo y sirve de reservorio de sustancias.

### Duramen

Es leño biológicamente inactivo, con funciones de sostén que ocupa la porción del tronco entre la médula y la albura, generalmente de estructura más compacta y de coloración más oscura que la albura. La causa fisiológica de la formación del duramen es el hecho que, al envejecer el árbol, los anillos más externos son los que conducen el líquido. La madera del duramen, pierde gradualmente su actividad vital y adquiere una coloración más oscura debido al depósito de taninos, resinas, grasas, carbohidratos y otras sustancias resultado de la transformación de materiales de reserva contenidos en las células parenquimáticas del duramen, antes de su muerte, además de algunas modificaciones celulares químicas y anatómicas. Debido a que el duramen es un tejido más compacto y más pobre en sustancias nutritivas, es mucho más resistente al ataque de hongos e insectos, presenta una durabilidad natural superior a la de la albura y se impregna con mayor dificultad.

La proporción de albura y duramen varía de un árbol a otro y dentro de una especie, depende de la edad, sitio, clima, suelo y otros factores. No todos los árboles presentan diferencia de coloración entre albura y duramen, a pesar de poseerla fisiológicamente. Asimismo, el porcentaje de duramen varía de acuerdo a la especie estudiada, por ejemplo, en *Robinia pseudoacacia* se encontró un porcentaje de duramen en volumen del 65% en la primera troza comercial [3]. Mientras que, en otras especies comerciales de Argentina, los contenidos de duramen son menores, por ejemplo, de 43% en *Acacia melanoxylon* y 37% en *Eucalyptus globulus* [4].

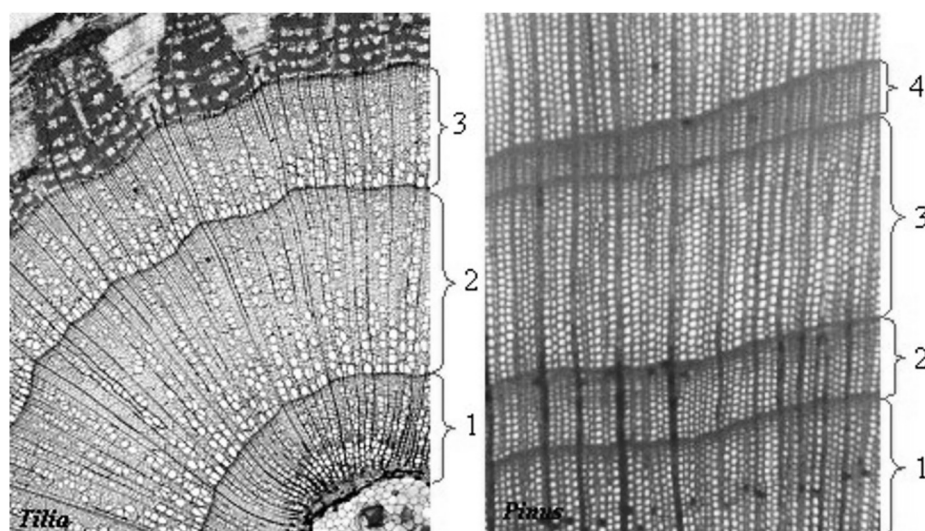


Figura 7. Anillos de crecimiento  
(Foto: [http://www.uri.edu/bio/plant\\_anatomy/images/](http://www.uri.edu/bio/plant_anatomy/images/) Foto de Tilia).

## Estructura de la pared celular

La lámina media es la primera membrana de separación entre un par de células nuevas en el proceso de división celular, está constituida principalmente por pectato de calcio y magnesio, cuya función es ligar una célula con otra. A partir de esta membrana se depositan en el interior de la célula microfibrillas de celulosa, formando una trama desorganizada, que constituye la pared primaria (Figura 8).

La pared primaria es mucho más elástica y acompaña el aumento en dimensión de la célula en el momento de su diferenciación. Una vez alcanzado el tamaño definitivo se depositan, junto a la membrana primaria, microfibrillas de celulosa con cierta orientación, distinguiéndose 3 capas bien nítidas. Estas tres capas se designan como S1, S2 y S3 y forman la pared secundaria de la célula. Paralelamente al depósito de pared secundaria se inicia, de afuera hacia adentro, el proceso de lignificación que es mucho más intenso en la lámina media y en la pared primaria. (Figura 9)

Los elementos estructurales fundamentales de la pared celular son las microfibrillas estas a su vez están formadas por grupos de fibrillas elementales, las cuales encierran más o menos 36 cadenas de celulosa. Los grupos de microfibrillas (más o menos 20) forman macrofibrillas y éstas finalmente las láminas de pared celular. (Figura 10).

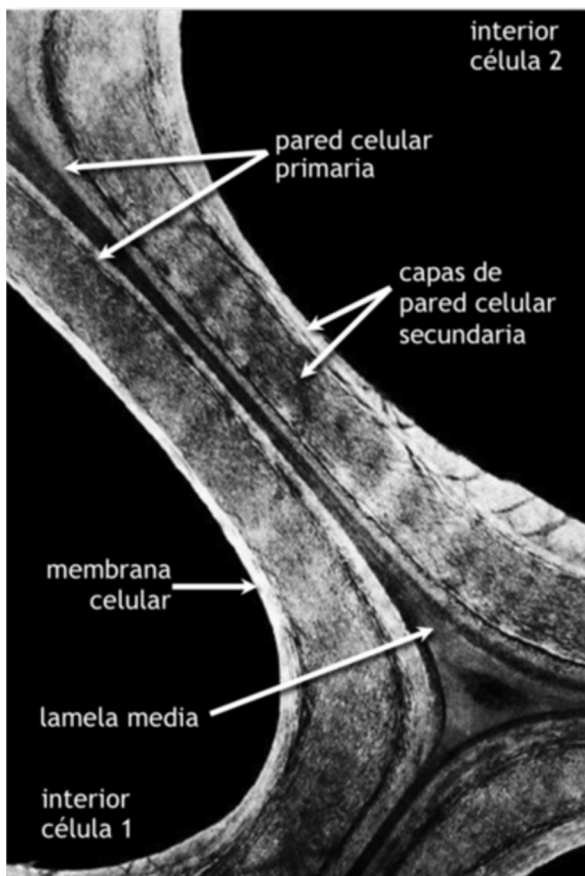


Figura 8. Micrografía electrónica de transmisión en falso color de paredes celulares. (Foto: <http://biovegetal.es/docencia-asignaturas-impartidas/biolog%C3%ADa-de-la-plantas/tema-1/#>).

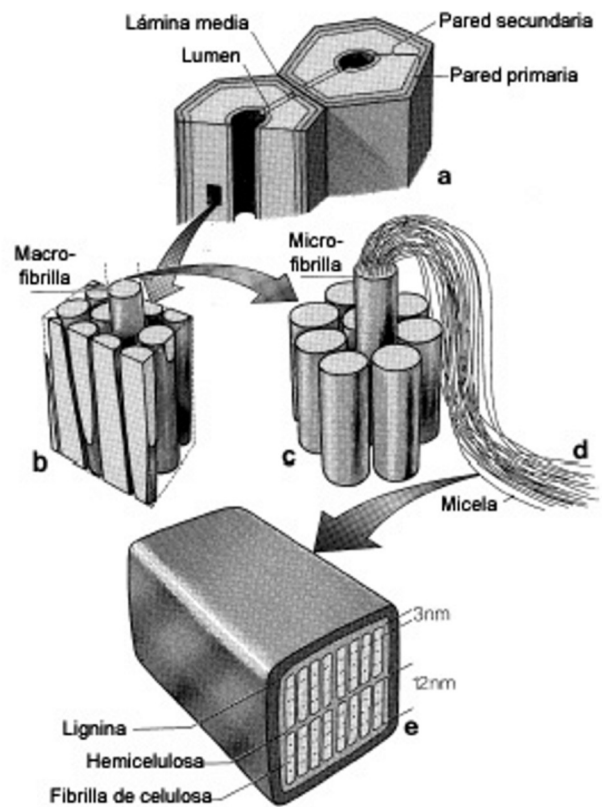


Figura 9. Capas celulares (Foto: Wood Handbook)

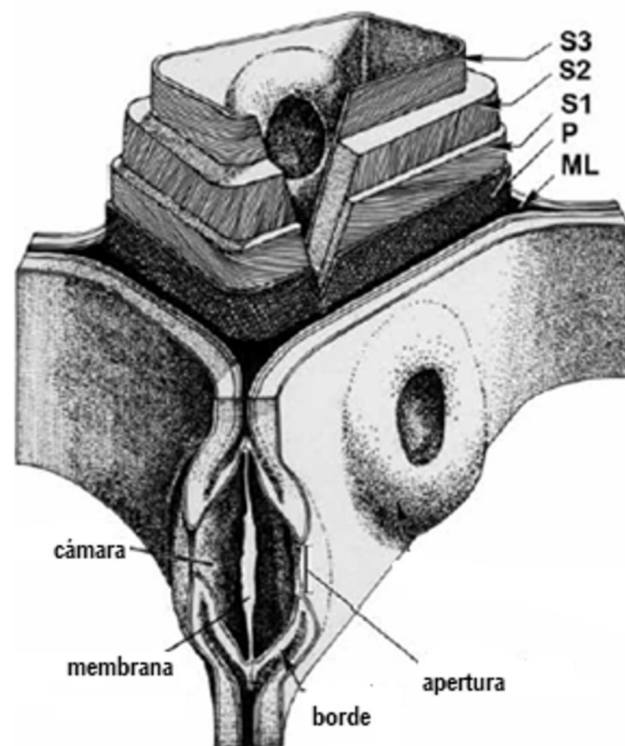


Figura 10. Representación esquemática de la pared celular vegetal a cuatro niveles, aumentando de a hacia e. (Foto: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Representacion-esquemática-de-la-pared-celular-vegetal-a-cuatroniveles\\_fig8\\_261286725](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Representacion-esquemática-de-la-pared-celular-vegetal-a-cuatroniveles_fig8_261286725))

## Estructura de la madera de Coníferas y Angiospermas dicotiledóneas (Latifoliadas)

Las Gimnospermas difieren botánica y estructuralmente de las Angiospermas (Tabla 1)

En las Gimnospermas, las traqueidas cumplen la función de sostén y transporte de sustancias, mientras que, en las Latifoliadas, los vasos son los encargados del transporte y las fibras del sostén. Otra diferencia que podemos encontrar es la presencia de canales resiníferos en las coníferas.

La organización del tejido xilemático, en ambos casos, es en dos sistemas interconectados: el axial y el radial. Pero la estructura resultante en la madera de las latifoliadas es mucho más compleja y heterogénea que en las coníferas debido a los diferentes elementos anatómicos que intervienen y sus proporciones (ver, cuadro).

*Coníferas*: se encuentran los siguientes elementos estructurales (Figura 11).

- traqueidas axiales
- parénquima vertical o axial
- traqueidas radiales
- parénquima transversal- radios
- células epiteliales
- canales resiníferos
- traqueidas en series axiales

*Latifoliadas*: se encuentran los siguientes elementos (Figura 12)

- vasos
- parénquima axial
- fibras
- parénquima radial o radios
- traqueidas vasculares.
- traqueidas vasicentricas
- caracteres anatómicos especiales: fibras septadas, espesamientos espiralados, canales celulares e intercelulares, cristales y sílice, estructura estratificada.

### Composición química

La madera está compuesta por componentes mayoritarios como la celulosa, lignina y hemicelulosa y componentes minoritarios que incluyen a los extractivos (resinas vegetales, aceites esenciales, gomas y mucilagos) y los compuestos inorgánicos (cenizas) (Diagrama 1).

Tabla 1: Principales elementos celulares

	Coníferas	Latifoliadas
Elementos anatómicos	Traqueidas 95%	Vasos 20-40 %
	Parénquima 5%	Fibras y fibrotraqueidas 50-70%
		Parénquima 10%

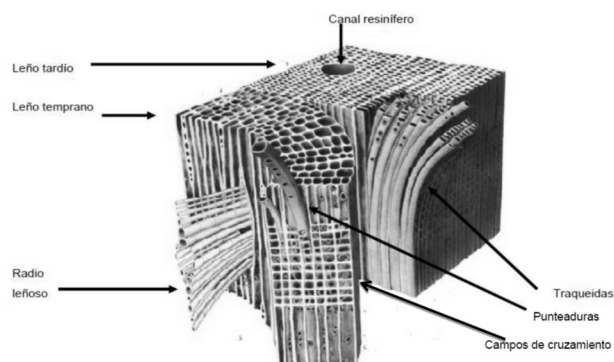


Figura 11. Aspecto microscópico tridimensional de la madera de Coníferas (Fuente: Giménez, et al., 2005)

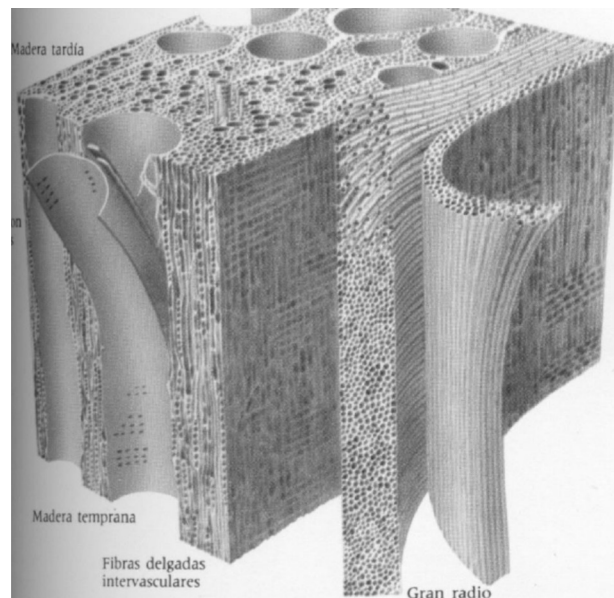


Figura 12. Aspecto microscópico tridimensional de la madera de Latifoliadas (Fuente: <http://cecfic.uni.edu.pe/archivos/madera/Estructura%20y%20PropiedadesV2.pdf>)

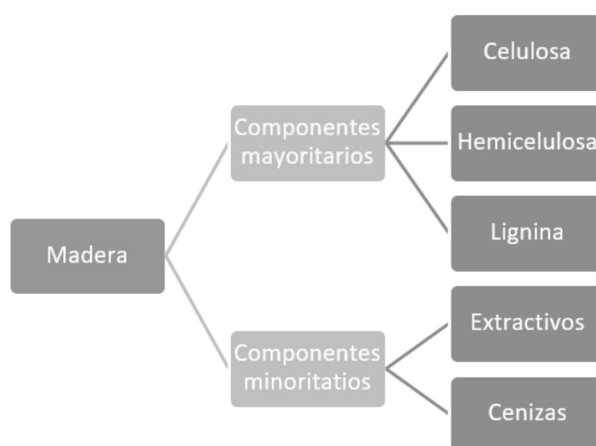


Diagrama 1: Componentes químicos de la madera.

Los porcentajes de estos compuestos difieren entre coníferas y latifoliadas (Tabla 2) principalmente en el contenido de lignina, siendo mayor en las primeras.

## Celulosa

Es el componente principal de la madera y el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza. La celulosa es un hidrato de carbono, blanco y de estructura fibrosa, muy estable, insoluble en agua y en los disolventes orgánicos neutros. La forma natural más pura es el algodón, que contiene más del 90 % [5].

La unidad fundamental de la celulosa es la glucosa con estructura de anillo piranósico, y la unión de dos unidades de  $\beta$  glucosa, con pérdida de una molécula de agua y cuyos núcleos están girados a  $180^\circ$ , da lugar a la celobiosa. La unión de  $n$  moléculas de glucosa conforma la celulosa (Figura 13), por lo tanto puede definirse a la celulosa como un homopolímero de cadena lineal formado por  $n$  unidades de  $\beta$  anhidroglucosa ( $C_6H_{10}O_5$ ). En su fórmula  $n$  representa el número de unidades de  $\beta$  anhidroglucosa que la forman, o lo que es lo mismo el grado de polimerización (GP) del cual dependen, en gran parte las propiedades de la celulosa.

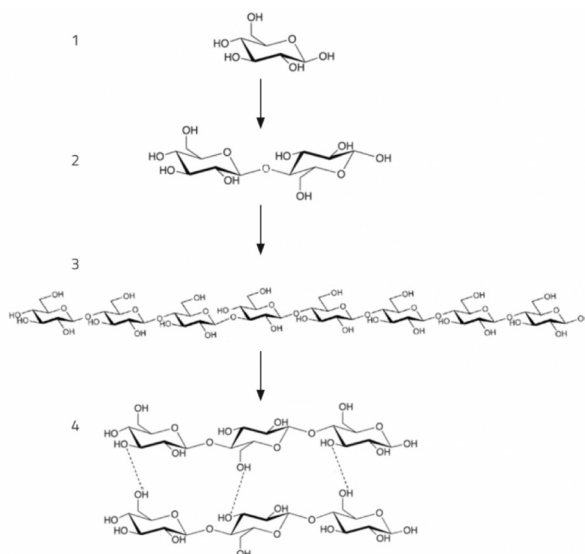


Figura 13. Estructura química de la celulosa, formada por moléculas de glucosa. 1: molécula de glucosa; 2: celobiosa (dos moléculas de glucosa unidas a través del oxígeno); 3: cadena de glucano; 4: parte de una macromolécula de celulosa mostrando los enlaces de hidrógeno uniendo las cadenas de glucanos. (Adaptado de Worthington-biochem.com, megazyme.com)

Tabla 2: Composición química de Coníferas y Latifoliadas.

COMPOSICIÓN	CONÍFERAS (%)	LATIFOLIADAS (%)
CELULOSA	42 +/- 2	45 +/- 2
HEMICELULOSA	27 +/- 2	30 +/- 2
LIGNINA	28 +/- 3	20 +/- 4
EXTRACTIVOS	3 +/- 2	5 +/- 3

Ejemplos:

- Celulosa nativa 12.000 GP
- Linters de algodón purificados 1000-7000 GP
- Pastas celulósicas comerciales 600-3500 GP

Las cadenas de celulosa son lineales, alargadas y las unidades de glucosa están enlazadas en un plano debido a tres razones:

- las uniones glicosídicas,
- la conformación de silla piranósica y
- los sustituyentes están orientados ecuatorialmente.

Esta cadena lineal tiene tendencia a formar puentes de hidrógeno inter e intramoleculares. La importancia fundamental de esto es que le permite a las cadenas de celulosa formar estructuras empaquetadas, de tipo cristalino, con un elevado grado de ordenamiento lateral junto con otras moléculas, confiriéndole características fibrosas.

La molécula tiene muchos grupos funcionales que pueden reaccionar fácilmente, pero en la estructura supramolecular estos grupos están ocupados formando puentes de hidrógeno que mantiene unidas las largas cadenas de celulosa entre sí. La cristalinidad de la celulosa se encuentra en función de la gran cantidad de puentes de hidrógeno. Si bien en la madera el grado de cristalinidad es alto (60 a 85%), existen algunas regiones que están más desordenadas denominadas celulosa amorfa o subcristalina. Cada una de ellas proporciona a la fibra propiedades complementarias: la parte cristalizada da la resistencia a la rotura y la parte amorfa permite el alargamiento, la flexibilidad y el hinchamiento.

## Hemicelulosa

Son heteropolisacáridos constituidos por diferentes unidades de monosacáridos (glucosa, manosa, galactosa, xilosa y arabinosa), enlazados por diferentes tipos de enlaces acetálicos o glicosídicos del tipo  $\alpha$  y  $\beta$ . (Figura 14)

Las hemicelulosas están formadas por una cadena base donde se repite la unidad estructural y cadenas laterales, denominadas ramificaciones. La unidad estructural varía para cada hemicelulosa (para coníferas, predominan los glucomanos; para latifoliadas, predominan los xilanos).

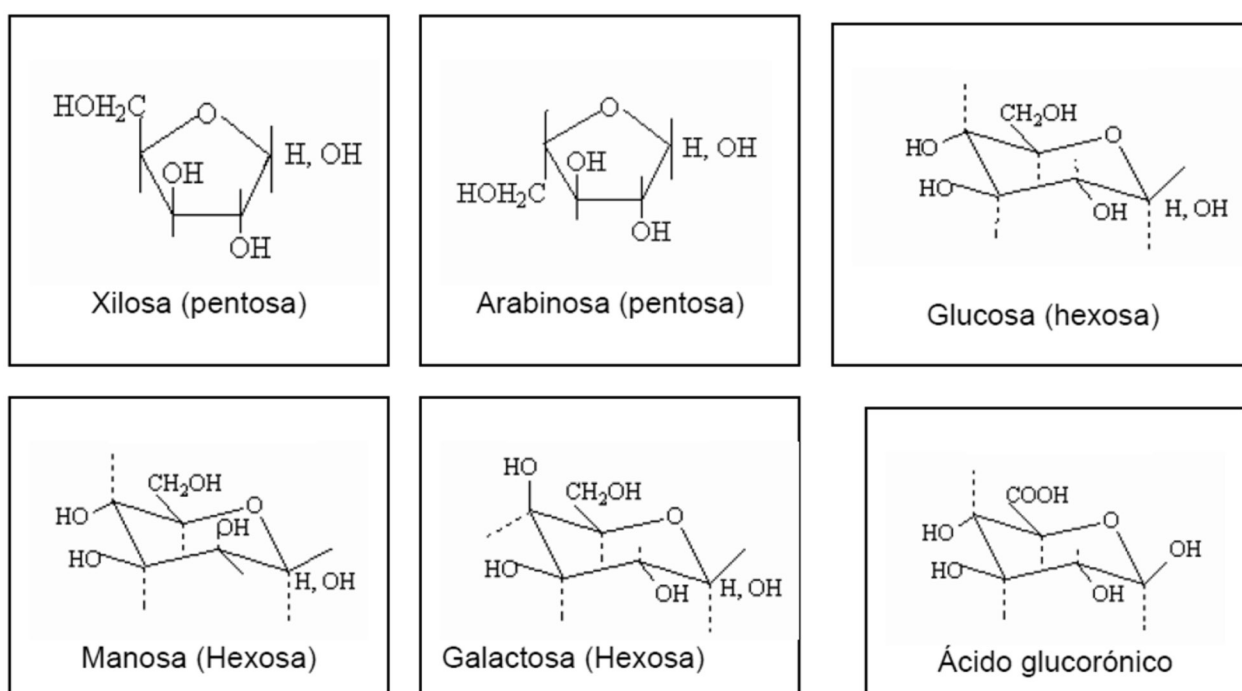


Figura 14. Azúcares simples y ácido urónico.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos46/hemicelulosas-maderas/hemicelulosas-maderas2.shtml>.

Las hemicelulosas debido a las diferentes posibilidades de combinación de los monosacáridos son numerosas y varían en su estructura. Asimismo, la composición y estructura de las mismas varían ampliamente en dependencia del tipo de madera (coníferas o latifoliadas).

El grado de polimerización de las hemicelulosas es mucho menor que el de la celulosa, es aproximadamente de 50-300 GP. Además, son sustancias amorfas con grado de cristalinidad muy bajos, por lo tanto son más reactivas que la celulosa y al presentar un estado desordenado y con bajo peso molecular se degradan más rápido que esta última.

Las hemicelulosas se encuentran en la pared celular, desde la lámina media hasta la lámina S3; siendo más abundantes en S1 y S3 y en menor proporción en la lámina S2. Se unen a la celulosa en la pared celular formando complejos Polisacáridos-Polisacáridos y con la lignina complejos Lignina-Polisacáridos, por lo que la separación de los demás componentes de la pared celular resulta difícil. (Figura 15).

### Lignina

Después de la celulosa es el componente más importante de la madera, constituye del 16 al 31% de la misma, pero varía ampliamente de una especie a otra. De una manera general puede decirse que todo lo que no son ni materiales solubles ni hidratos de carbono (Holocelulosa), es lignina [5].

La lignina, es un compuesto aromático constituido por unidades de fenilpropano. Su química es

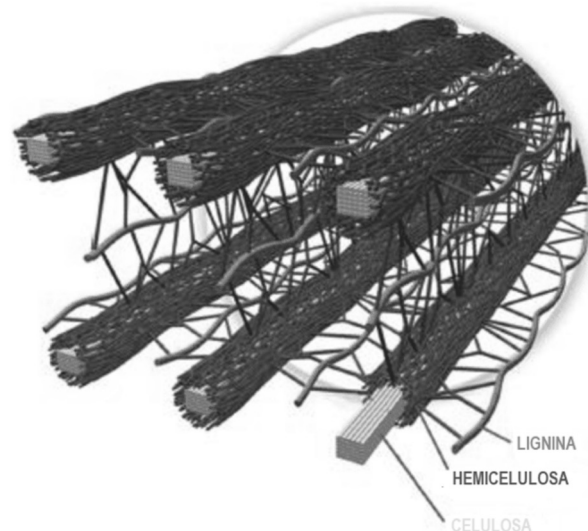


Figura 15. Disposición espacial de hemicelulosa, celulosa y lignina en las paredes celulares de la biomasa lignocelulósica. (Fuente: Brandt, et al., 2013)

compleja; ya que si bien es un polímero no puede convertirse en sus partes de monómero sin alterar sus unidades estructurales. Asimismo, estas unidades estructurales no son de idéntica estructura, ni están ligadas unas a otras de la misma manera.

El monómero que sintetiza la planta para la conformación de la lignina es el alcohol coniferílico. A medida que por procesos bioquímicos va formando el resto de la molécula comienzan estos monómeros a modificarse por agregado de un grupo metoxilo en la posición 5 alcohol sinapílico o por eliminación del que tenía el alcohol coniferílico en la posición 3, dando el alcohol p-hidroxibencílico. La proporción

de los tres monómeros varía según el lugar de la planta, del tipo de tejido celular y entre individuos. Sin embargo, la diferencia principal está entre coníferas, latifoliadas y monocotiledóneas [6].

En la Figura 16 se puede observar la nomenclatura utilizada para la molécula del monómero básico de lignina y en la Figura 17 fragmentos de moléculas de lignina de coníferas, debe entenderse que son solamente modelos realizados a partir de información experimental.

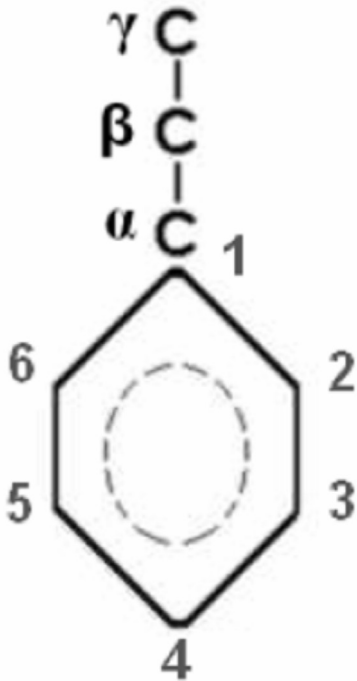


Figura 16. Nomenclatura del monómero de lignina (Foto: Nuñez, 2008)

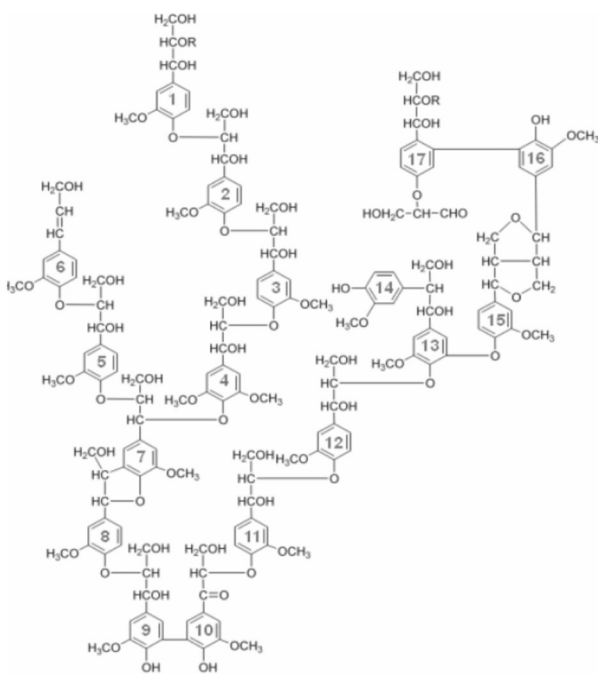


Figura 17. Modelo de molécula de abeto según Adler, 1977 (Foto: Nuñez, 2008)

Tipos de ligninas: se dividen en 3 clases

1- *Ligninas tipo G*: compuestas en su mayor parte (85%) por unidades guayacilo. Las unidades guayacilo poseen un sustituyente en un carbono aromático (C5) del fenilpropano. Presentes en las gimnospermas. Son muy homogéneas.

2- *Ligninas tipo SG*: están constituidas por proporciones similares de núcleos G (guayacilos) y S (siringilo), además de pequeñas cantidades de p-hidroxifenilo. Las unidades siringilo poseen dos sustituyentes en el anillo aromático (C5 y C7) y las p-hidroxifenilo no poseen sustituyentes solo el OH en el C6. Presentes en las angiospermas. Debido a la gran variabilidad en la composición de las ligninas de angiospermas se dan rangos de composición, por ejemplo, la proporción de unidades siringilo varía entre 20 y 60% en las ligninas de maderas duras.

3- *Ligninas SGH*: la proporción de p-hidroxifenilo es mayor. Se dan en angiospermas monocotiledóneas como cañas, pajas de cereales.

### Variabilidad de las propiedades de la madera

La madera es un material biológico y heterogéneo. Esto significa que la madera producida por árboles de la misma especie no es idéntica en sus propiedades físicas y estructurales, existe variabilidad incluso dentro del mismo árbol.

Todas las características anatómicas, físicas y mecánicas dentro de árbol exhiben un rango en sus valores. La variabilidad se da:

Es muy importante conocer esta variabilidad ya que la aptitud de una especie para determinados usos depende de las propiedades y esas propiedades hay que determinarlas como un promedio representativo del árbol. Dentro de cada árbol podemos observar dos tipos de variaciones:

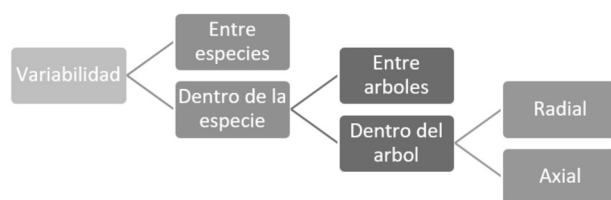


Diagrama 2.

1-Radial: se considera el sentido medula-corteza (edad)

2-Axial: en sentido base-ápice (largo del fuste)

Estos términos están asociados a la madera juvenil y madera madura.

El leño juvenil puede ser definido como la zona más

cercana al centro del árbol, que se extiende desde la base hasta el ápice [7]. Su extensión puede variar considerablemente aún entre árboles de una misma especie y edad.

La literatura indica que la madera juvenil está asociada a una edad fisiológica temprana de las células cambiales y presenta menor densidad, elementos fibrosos más cortos y propiedades de resistencia menores en comparación con la madera madura [8].

Generalmente, las propiedades de la madera juvenil difieren de las del leño maduro, ya que presentan una gran variación, mientras que en la madera madura logran una estabilización de sus valores [9].

La tendencia general indica menores valores para ciertos atributos en los primeros anillos, incrementándose relativamente rápido durante unos años, para luego estabilizarse o incrementar muy gradualmente hacia el leño maduro.

Las propiedades de la madera juvenil en coníferas y latifoliadas se sintetizan en el cuadro 4.

Existen diferentes revisiones de las variaciones de la madera juvenil en Coníferas, ya que es el grupo de plantas más estudiado en este sentido. Burdon (2004) propone una interpretación del esquema de variación de las propiedades en los diferentes anillos y conos de crecimiento utilizado por se presenta en la Figura 18.

Los números 1, 2, 3, 4, 5 indican la edad del anillo de crecimiento y el año calendario se expresa separadamente para cada edad. Las diferentes zonas se identifican de la siguiente manera:

Variación tipo 1 (gris claro): se corresponde con la madera formada en el mismo año calendario a lo largo del fuste (cono anual). Presenta igual edad cronológica, diferente edad fisiológica y diferentes propiedades.

Variación tipo 2 (negro): se corresponde con la madera formada en los sucesivos años o edades contadas a partir de la médula a una altura del fuste definida. Presenta diferente edad fisiológica, cronológica y propiedades.

Variación tipo 3 (gris oscuro): se corresponde con la madera formada en la misma posición radial (desde la médula) a lo largo del fuste. Presenta igual edad fisiológica, diferente edad cronológica y diferentes propiedades.

La variación radial estaría representada por la variación tipo 2, mientras que la vertical sería la variación tipo 3.

Esta diferenciación entre los distintos tipos de variaciones encontradas dentro del fuste, pone en discusión el modelo clásico de “madera juvenil” propuesto por Zobel y Talbert (1988), el cual considera que el pasaje de madera juvenil a madura se realiza de forma abrupta y que la madera juvenil conforma un cilindro central. Estos autores proponen una nueva nomenclatura y categorización en coníferas que integra los conceptos clásicos con los nuevos aportes de variación. Como puede observarse en la figura 19, esta nueva clasificación no solo se tiene en cuenta la madera juvenil y madura sino que se considera las zonas de transición entre ambas y como varían en el fuste (axial y radialmente).

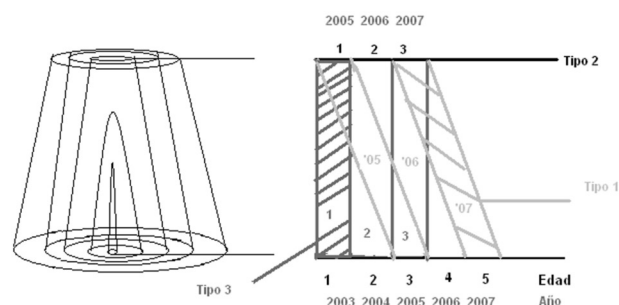


Figura 18. Variación de las propiedades en los diferentes anillos y conos de crecimiento utilizado por Burdon et al (2004).

La maduración de los meristemas apicales muestra un rol evidente en la formación de las propiedades finales, fuertemente asociado a las variaciones en sentido médula-corteza. Sin embargo, según estos autores hay argumentos sólidos para emplear dos conceptos separados: juvenil vs maduro (en sentido axial o vertical, “juvility versus maturity”) y madera interna vs madera externa (en sentido radial, “corewood versus outerwood”).

Como se observa claramente en la figura 19, las zonas más bajas del tronco son las que presentan las mayores variaciones axiales. Es la troza más importante desde el punto de vista comercial por su volumen y su posición estratégica. Estas variaciones causan problemas de procesamiento y utilización del material fibroso [9].

Para Latifoliadas no existe un trabajo de revisión de modelos de variación, sino que se han reportado trabajos parciales para determinados géneros comerciales donde se pone de manifiesto la complejidad del tejido de las angiospermas y la gran diversidad de especies que comprende [10, 11, 12].

Los resultados contradictorios que nos reporta la bibliografía sobre modelos de variación de propiedades en latifoliadas reflejan la amplitud del tema para este grupo de plantas. Los análisis dan cuenta de las diversas estructuras del xilema de las angiospermas, no solo al considerar la subdivisión

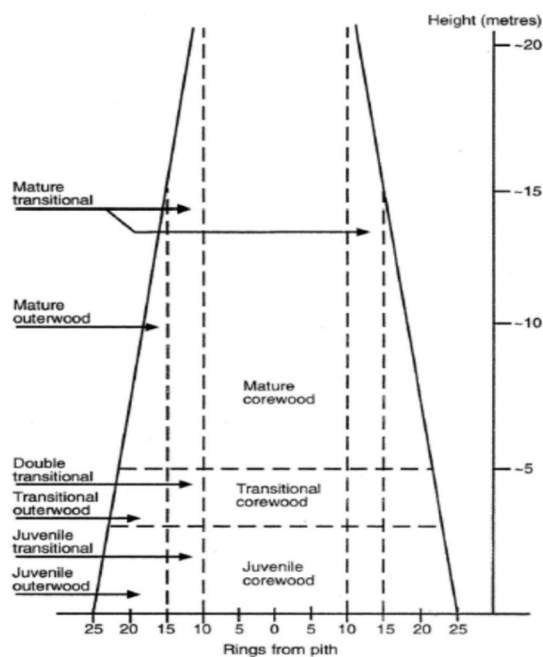


Figura 19. Esquema de las zonas con las diferentes clases de madera de acuerdo a los tipos de variación propuestos. (Grafico extraído de Burdon et al, 2004).

entre las especies de porosidad circular y difusa, sino también por la evaluación que puede realizarse en diferentes etapas de la vida del individuo (especies de rápido crecimiento y corta edad vs especies longevas).

Modelos de variación axial y radial en coníferas (Figura 20) y latifoliadas (Figuras 21 y 22)

La variación de las propiedades de la madera entre especies, árboles de una misma especie y dentro del mismo árbol, es una regla más que una excepción. Un mayor conocimiento de cómo y porque se producen estas variaciones serviría para optimizar la utilización y el procesamiento de la madera en sus diversos usos.; definir la estrategia de muestreo y aportar datos que puedan ser utilizados en los proyectos de mejoramiento genético.

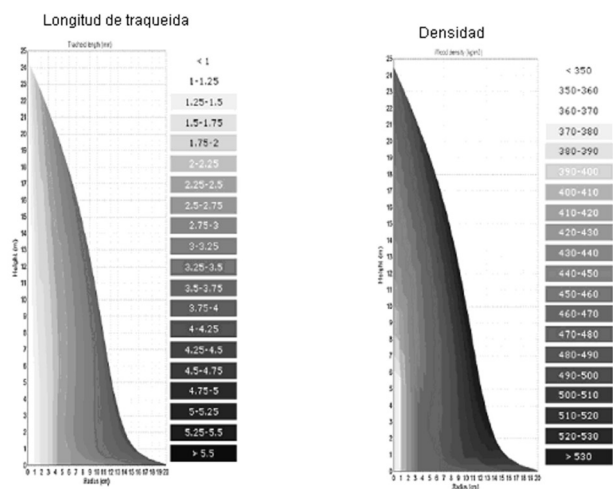


Figura 20. Variación axial y radial de la densidad y de la longitud de las traqueidas en *Picea abies* (extraído de Mäkinen et al, 2007).

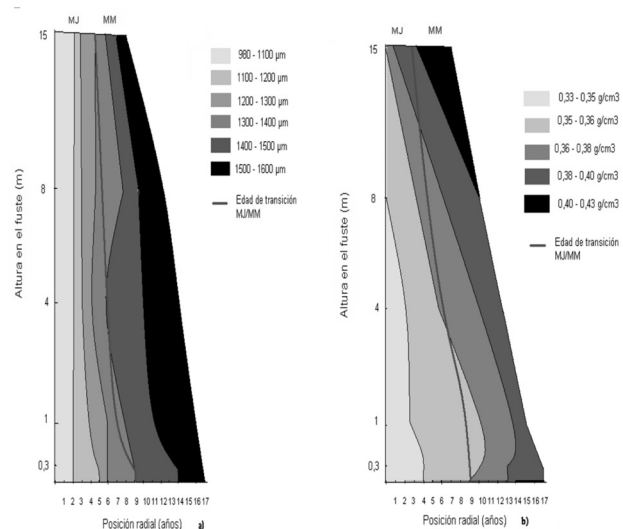


Figura 21. Modelo de distribución de madera juvenil y madura obtenido para; a) Longitud de fibra y b) Densidad básica, en madera de álamo. (Cobas, A. C. 2013)

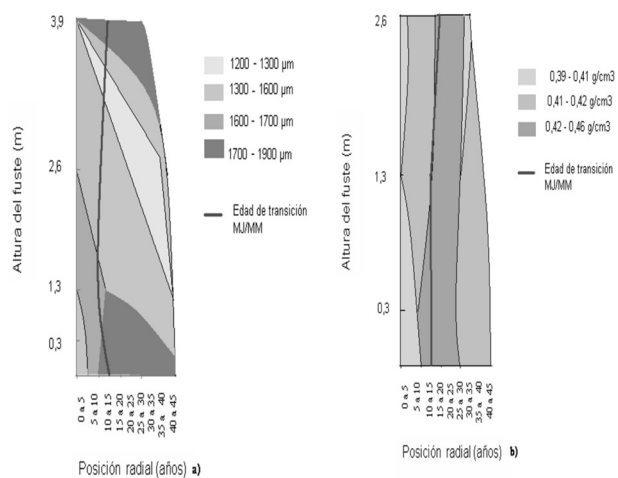


Figura 22. Modelo de distribución de madera juvenil y madura obtenido para a) Longitud de fibra y b) Densidad básica, en madera de sauce. (Cobas, A. C,2013)

## Bibliografía

- 1 Savidge, R. (2000) Biochemistry of seasonal cambial growth and wood formation- an overview of de challenges. BIOS Scientific Publishers Ltd, Oxford. 30 p.
- 2 IAWA. (1964). Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Committee on Nomenclature International Association of Wood Anatomists. 186p.
- 3 Cobas, A. C. y Monteoliva, S. (2018). Duramen y propiedades físicas de la madera de Robinia Pseudoacacia en relación a su potencial uso en la industria de la madera sólida. Revista Facultad de Agronomía. 117 (1). 127-131 p.
- 4 Monteoliva, S.; Ciganda, V e Igartúa, D. (2012). Contenido de duramen y de albura en Eucalyptus globulus y Acacia melanoxylon implantadas en

Argentina. Maderas. Ciencia y Tecnología. 14 (1). 53-64 p.

5 Repetti, R. (1992). Introducción a la tecnología de fabricación de pasta celulosa. Asociación de Técnicos de la industria papelera celulsica Argentina. 300p.

6 Nuñez, E. (2008). Análisis Químico de la madera. varios cenunez.com.ar. 1-4p.

7 Zobel, B. y Talbert, J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa, México. Cap. 12, La madera y el mejoramiento genético forestal.

8 Zobel, B. y Sprague, J. 1998. Juvenile wood in forest trees. Ed Springer-Verlag, Berlín.

9 Burdon, R., Kibblewhite, P., Walker, F., Megraw, A., Evans, R. y Cown, D. (2004). Juvenile versus mature wood: A new concept, orthogonal to corewood versus outerwood, with special reference to *Pinus radiata* and *P. taeda*. *Forest Science* 50 (4): 399-415.

10 Downes, G., Hudson, I., Raymond, C., Dean, A., Micheli, A., Schimlek, L., Evans, R. y Muneri, A. (1997). Sampling Eucalyptus for wood and fiber properties. Australia. CSIRO Publishing: 132.

11 Barnet, J. y Jeronimidis, G. (2003). Wood Quality and its biological basis. CRC Press.

12 Kojima, M., Yamamoto, H., Yoshida, M., Ojio, Y. y Okumura, K. (2009). Maturation property of fast-growing hardwood plantation species: A view of fiber length. *Forest Ecology and Management* 257:15–22.

**- Hormigón de Cemento Portland**

Estudios y análisis de materiales componentes del hormigón de cemento Portland, cementos, agregados, adición y aditivos.

Alterabilidad de agregados frente a reacciones deletéreas.

Estudios integrales de hormigones de peso normal y especiales (alta performance, con fibras, autocompactantes, livianos, etc.)



Sala de hormigonado



Equipo extractor de testigos con broca diamantada

**- Restauración y Conservación del Patrimonio**

Estudio de materiales de interés histórico  
Relevamiento y puesta en valor de construcciones patrimoniales

Técnicas de limpieza, reparación y restauración

Biodegradación

Estudios de materiales arqueológicos



Estudios de materiales de valor patrimonial

**- Pavimentos Flexibles**

Cementos asfálticos y emulsión es bituminosas.

Agregados pétreos: ensayos físicos-mecánicos.

Lechadas asfálticas

Clasificación de ligantes SUPERPAVE

Mezclas en frío y en caliente

Polímeros



Equipo para determinación de viscosidad asfáltica

**- Fundición y Metalurgia**

Fundición de precisión y especiales

Laboratorio metalográfico

Ensayos no destructivos en metales

Estatuaría



Fundición de piezas en diversos metales

**- Durabilidad y vida útil de las estructuras**

Corrosión de armaduras

Evaluación de las estructuras con patologías

Ensayos destructivos y no destructivos

**- Ensayos físicos y análisis de fallas**

Ensayos sobre metales y maderas

Ensayos de tubos y accesorios de PVC

Calcificación de fusionistas en instalaciones de gas

Ensayos para la clasificación de soldaduras y

procedimientos de soldaduras en materiales metálicos

**- Otros materiales**

Materiales para edificios (cerámicos, tejas, chapas, baldosas, bloques, etc.)

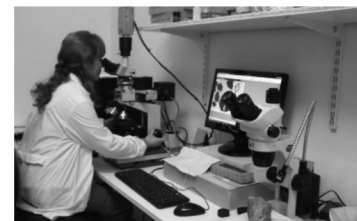
Placas y paneles para viviendas

Caños de hormigón simple y armado

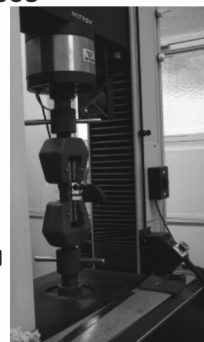
**- Geología, Mineralogía y Petrografía**

Estudios mineralógicos y petrográficos

Cubicación de canteras de rocas y suelos



Microscopio petrográfico y lupa estereoscópica

Ensayo a tensión  
Prensa INSTRON

Control de calidad y certificación de materiales

52 e/121 y 122 - La Plata - Buenos Aires - Argentina

Tel.: (0221) 4831141/44

www.lemnit.gov.ar

# LA MADERA COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL

*M. V. Correa, G. D. Veloso, V. G. Rosato.<sup>1</sup>*

## Introducción

La madera es un material de naturaleza orgánica, compuesto fundamentalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. De acuerdo a la especie de la que haya sido extraída, se encuentran presentes también resinas, terpenos, taninos, minerales y sustancias incrustantes. Debido a la morfología de las paredes celulares y a su estructura orientada, las diferencias que presentan por su función, ciclo de vida y forma de crecimiento, es sumamente heterogénea y anisótropa, lo cual implica que el análisis de sus propiedades debe ser realizado según las tres direcciones principales de orientación, longitudinal, radial y tangencial. Esta condición, que se suma al hecho de que el medio ambiente influye en el desarrollo del árbol y por ende en las anomalías que puede presentar la madera, es necesario cumplir fielmente los protocolos de las técnicas que se utilizan para evaluar las propiedades de la madera. La norma IRAM 9502 define al material como estructura compleja y de carácter anisótropo, que forma un tejido leñoso, fisiológicamente inactivo.

Dentro de las propiedades intrínsecas de la madera como material estructural, se encuentran las que describen su desempeño mecánico. Las propiedades mecánicas son aquellas que indican su comportamiento tanto resistente como elástico bajo la acción de cargas (Coronel, 1994; Hoffmeyer, 1995). Una clasificación de las propiedades mecánicas las divide en propiedades de resistencia, propiedades de elasticidad y de dureza (Coronel, 1996). Por caracterización mecánica se entiende la determinación de una serie de propiedades del material relacionadas con su comportamiento estructural. Siendo la madera un material orgánico, heterogéneo y anisótropo y debido a las anomalías que comúnmente presenta, los ensayos para conocer sus propiedades para uso estructural, requieren una técnica más elaborada y es por esto que resultan más complejos que los que se llevan a cabo para otros materiales. Cuando se elige un material como la madera para darle este uso, debe tenerse en cuenta la resistencia a la que estará sometida y también debe

ser considerado su peso específico aparente, de modo tal que resulte una estructura resistente y liviana.

## Ensayos destructivos.

La determinación de las propiedades mecánicas se efectúa en general por medio de ensayos estáticos, que pueden o no requerir de la destrucción total de la pieza, como es el caso de la obtención del módulo de elasticidad. En cambio, para conocer la tensión de rotura es necesario destruir el material estudiado. Existen también ensayos no destructivos, orientados fundamentalmente a la determinación de las propiedades elásticas, dentro de los cuales se encuentran los basados en la frecuencia fundamental de vibración, los que utilizan la propagación de ondas de ultrasonidos y los que miden los impactos recibidos por el material, entre otros (American Society for Testing and Materials, (ASTM), 1998; Pérez del Castillo, 2001). También existen ensayos no destructivos y semidestructivos que se realizan como complemento a los anteriormente mencionados.

Los caracteres mecánicos son definidos como la capacidad de la madera de resistir esfuerzos y tolerar deformaciones que la hacen útil y versátil para su uso como material estructural. Como antes se mencionó, debido a que la madera un material de origen natural, fundamentalmente anisótropo se hace necesario el estudio de las características en diferentes direcciones. De estas características se desprenden los diferentes grados de resistencia.

Las principales características mecánicas de las maderas son las siguientes:

1. Resistencia a la compresión paralela a las fibras
2. Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras
3. Resistencia a la tracción paralela a las fibras
4. Resistencia a la tracción perpendicular a las fibras
5. Resistencia a la flexión estática
6. Resistencia a la flexión dinámica
7. Resistencia al corte

<sup>1</sup> Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT), CICPBA. Calle 52 e/121 y 122. (1900) La Plata. Buenos Aires. Argentina.. patrimonio@lemit.gov.ar

8. Resistencia al hendimiento
9. Resistencia a la torsión
10. Dureza
11. Rigidez

A continuación se explicarán cada una de ellas y se mencionará la normativa que permite su análisis (Suirezs y Berger, 2010).

### 1. Resistencia a la compresión paralela las fibras

La determinación de la resistencia a la compresión paralela a las fibras se efectúa en general sobre probetas prismáticas de sección cuadrada. Una pieza de madera se somete a una carga de compresión, es decir, dos fuerzas iguales y de sentido contrario son aplicadas sobre el área transversal. El efecto que producen es el acortamiento de la pieza y el aumento de su sección. La rotura se produce por desgarramiento y separación de las fibras. Una vez ejecutada la probeta, que deberá tener sus caras paralelas y normales entre sí, se la somete a un esfuerzo de compresión en una prensa que tenga suficiente sensibilidad, midiéndose cargas y deformaciones entre dos puntos de la probeta, registrándose la gráfica correspondiente. La velocidad de carga está fijada por la normativa y uno de los platos de compresión que apoyan sobre las caras de la probeta, deberá contar con una rótula esférica a los efectos de centrar la carga. Generalmente la máquina universal de ensayos que mide los acortamientos sufridos por la pieza, lo hace en dos caras opuestas de la misma, determinándose el promedio de ambas lecturas, figura 1. Debe conocerse el contenido de humedad de la madera ensayada. Esto es debido a que al ensayar la resistencia de la madera, se observó que a medida que disminuye el contenido de humedad, se produce una reducción de las dimensiones y un aumento, en general, en la resistencia y rigidez de la misma. Sin embargo, el contenido de humedad debe encontrarse en valores de entre un 12-20% ya que por debajo de estos, la madera aumenta su rigidez y se hace más susceptible de rasgarse o quebrarse, además de aumentar su carga de fuego. Por encima de estos valores, las propiedades físicas se ven alteradas y se torna inestable ya que cambian sus características mecánicas.

La rotura de la probeta se produce por el pandeo de los elementos constitutivos del leño, produciéndose en general un deslizamiento de dos o más secciones. Es importante señalar el tipo de rotura producido, que va a depender no sólo de la especie sino también de la humedad que contenga la probeta, de las anomalías y de la apropiada ejecución de la pieza para ensayo; las normas ASTM D 143 – 14, IRAM 9541, DIN N° 52185, UNE-EN 408, UNE-EN 56535 regulan este ensayo. Ejemplo: Pie derecho <sup>(1)</sup>.

Uno de los indicadores de la estabilidad estructural



Figura 1. Ensayo de resistencia a la compresión paralela las fibras.

de la madera ensayada es el módulo de elasticidad por compresión paralela a las fibras. Este valor mide la rigidez de la madera sometida a una carga y es la tangente trigonométrica del ángulo formado entre la zona proporcionalidad de la gráfica del ensayo y el eje de las deformaciones.

### 2. Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras

La resistencia a la compresión disminuye a medida que la dirección del esfuerzo se aleja de la posición que es paralela a las fibras y llega a ser mínima cuando es perpendicular; en este caso se denomina "resistencia a la compresión normal a las fibras". Se han establecido varias ecuaciones experimentales para expresar la variación de la resistencia a la compresión en función del ángulo que forma la dirección de la carga con el grano. La resistencia a la compresión normal al grano varía a su vez con el ángulo que forma la dirección de las cargas con los anillos anuales. En el ensayo de compresión perpendicular a las fibras, la madera se comporta en forma muy diferente al de compresión paralela. En este caso la madera se comprime como un material muy plástico sin que se produzca una rotura neta: es decir que no existe una carga máxima a partir de la cual pueda ser calculada la resistencia a la rotura. Durante su empleo en estructuras, pocas veces la madera se encuentra sometida a esfuerzos de compresión transversal que obren sobre toda una cara, por el contrario esos esfuerzos, generalmente actúan en superficies limitadas; es por esta razón que los ensayos tienden a reproducir estas condiciones. Las cargas actúan en dirección tangente a los anillos de crecimiento. La pieza a ensayar se coloca en una máquina universal de ensayos que indicará las deformaciones que se irán produciendo con las

distintas cargas, figura 2. Con estos datos se realiza el diagrama carga-deformación para obtener la carga y la deformación en el límite de proporcionalidad. Esto permite calcular uno de los indicadores de la estabilidad estructural de la madera ensayada que es el módulo de elasticidad a la compresión que surge de la gráfica de la curva de elasticidad para cada probeta ensayada, con el fin de obtener de ellas las cargas y deformaciones en el límite proporcional. Las normas ASTM D 143 – 14, IRAM 9547, IRAM 9551, UNE-EN 408 y UNE 56542 regulan ese ensayo.

En la práctica, la madera se somete al esfuerzo de compresión perpendicular cuando se prensa la madera o se la somete a sargentos. En cuanto a la prestación en servicio este esfuerzo se aplica cuando se la utiliza como tirantes, soleras <sup>(2)</sup> o durmientes



Figura 2. Ensayo de resistencia a la compresión perpendicular a las fibras.

### 3. Resistencia a la tracción longitudinal a las fibras

Un cuerpo se encuentra sometido a tracción cuando actúan sobre el mismo dos fuerzas de igual magnitud y sentido contrario provocándole un alargamiento. La resistencia a la tracción está dada por el esfuerzo que opone la adherencia entre las fibras de la madera, al estar sometida por cargas externas que tienden a separarlas. La resistencia en este sentido generalmente arroja valores bajos. Las probetas requieren un proceso más elaborado de construcción, ya que presentan una escotadura en el centro, figura 3. Las normas utilizadas son Norma ASTM D143-14, DIN 52188 y UNE-EN 408. Puede darse que la tracción sea perpendicular a las fibras o longitudinal a las fibras. Los ensayos de tracción tanto paralelo como normal al grano, generalmente poseen algunos inconvenientes ya que los valores obtenidos en los ensayos tienen una gran dispersión; esto se debe fundamentalmente a que cualquier defecto que tenga

la probeta, aún imperceptible a simple vista, provocará una rotura prematura de la misma pues se trata de un material sumamente frágil a esta sollicitación. Así mismo, las probetas son de difícil realización por ser muy esbeltas en la zona calibrada y tener sus cabezas de grandes dimensiones. Además, existe la posibilidad de que la rotura se produzca fuera de la zona calibrada, generalmente se produce en una de las cabezas por el aplastamiento que sufre al tomarla en las mordaza. La resistencia a la compresión en el sentido longitudinal es de 5 a 8 veces mayor que la compresión perpendicular. En cuanto a la prestación en servicio este esfuerzo se aplica para pendolones<sup>(3)</sup>.



Figura 3. Fotografía del dispositivo universal y la probeta para ensayo de resistencia a la tracción paralela a las fibras.

### 4. Resistencia a la tracción perpendicular a las fibras.

Las probetas requieren menos elaboración y no rompen en las mordazas, de todos modos existe una gran dispersión en los resultados, por lo cual este ensayo no es muy frecuente. La probeta de ensayo presenta en ambos extremos escotaduras de 25 mm de diámetro, donde se fijan las mordazas de tracción. Los centros se encuentran a 6 mm de las superficies transversales. La sección de tracción es de 25 mm por 50 mm que es el ancho de la probeta, figura 4. La resistencia a la tracción perpendicular a las fibras es 10% menor que la tracción longitudinal o paralela a las fibras. Las normas utilizadas son Norma ASTM D143-14, DIN 52188, UNE-EN 408 y UNE 56538. Esta resistencia se evidencia en curvas: arcos, vigas curvas y sollicitaciones transversales en elementos de unión.

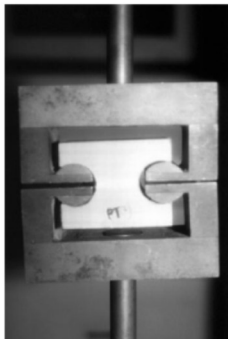


Figura 4. Izquierda: Dispositivo para realizar el ensayo. Derecha: Esquema de la forma y dimensiones de la probeta para el ensayo de resistencia a la tracción perpendicular a las fibras.

### 5. Resistencia a la flexión estática

Una madera está sometida a la flexión estática cuando sobre ella ejercen cargas en forma tal que tienden a curvarla. Las maderas en uso generalmente están solicitadas por cargas o fuerzas que tienden a flexionarlas. El esfuerzo de flexión ocurre en piezas de gran longitud respecto a su sección transversal, la acción de la carga normal a su eje longitudinal provoca una curvatura, figura 5. En esta solicitud se producen tres esfuerzos fundamentales: Esfuerzo de compresión que produce un acortamiento longitudinal en la parte superior de la probeta, esfuerzo de tracción que producen un alargamiento en la parte inferior y esfuerzo de corte o cizalle en el centro. La combinación de los dos primeros esfuerzos origina en la probeta una concavidad en la zona de compresión y convexidad en la zona de tracción. Para este ensayo es necesario un flexómetro o deflectómetro con precisión de 0,01 mm para medir las flechas. Cuando se realizan los ensayos de flexión estática se debe tomar las cargas y las deformaciones que va sufriendo la madera hasta la carga de rotura, luego se traza la curva carga-deformación para obtener la carga en el límite proporcional y la flecha o deformación en el límite elástico. Las normas ASTM D 143-14, ASTM D 198-15, IRAM 9542, IRAM 9545, UNE-EN 408 y UNE 56537 regulan este ensayo.

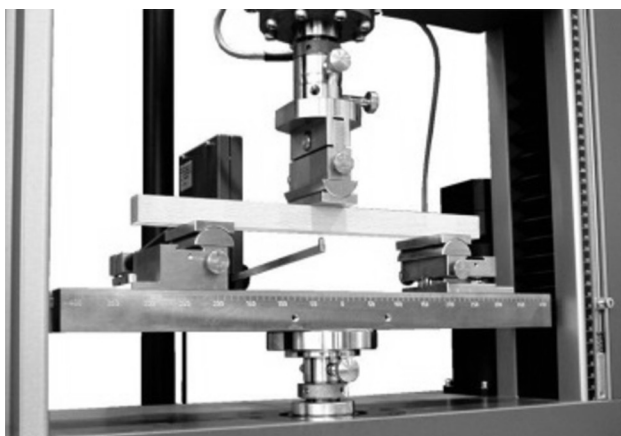


Figura 5. Dispositivo y probeta para realizar el ensayo de resistencia a la flexión estática.

La carga en el límite proporcional y la deformación se determina con la ayuda de las curvas de elasticidad para cada probeta ensayada y permiten el cálculo del módulo de elasticidad a la flexión estática.

### 6. Resistencia a la flexión dinámica

Es el esfuerzo que un elemento estructural puede estar solicitando dentro de determinados límites de seguridad. Se determina mediante el sometimiento de la probeta a la aplicación de una carga instantánea. Para dimensionar las maderas estructurales deben ajustarse a los valores obtenidos en los ensayos normalizados. Se utiliza una tensión admisible o de trabajo inferior a la de rotura. La tensión admisible depende de la tensión de rotura y del coeficiente de seguridad. Para este ensayo se utiliza una probeta prismática de sección cuadrada de tal modo que la mayor longitud coincida con el grano. Se apoya esta probeta sobre dos rodillos que tengan un radio de curvatura de 15 mm y mediante una masa pendular se aplica en el centro de la probeta una carga dinámica por intermedio de otro rodillo con el mismo radio de curvatura, figura 6. Las estructuras que tiene esta solicitud son los muelles y los puentes. Las normas IRAM 9546 UNE-EN 408 y UNE 56536 son las utilizadas para realizar este ensayo.



Figura 6. Dispositivo para realizar el ensayo de resistencia a la flexión dinámica.

### 7. Resistencia al corte o cizallamiento

El corte o cizalla ocurre cuando una pieza de madera está sometida a fuerzas que tienden a provocar un deslizamiento de una parte de ella sobre la otra parte adyacente. Este puede ser paralelo a las fibras cuando una pieza de madera está sometida a fuerzas que tienden a provocar un deslizamiento de una parte de esta sobre la otra parte adyacente. Las fibras se produce separan entre sí y como resultado, la pieza se divide en dos. La probeta tiene un desnivel en uno de sus extremos de 19 mm de base por 12,5 mm de altura y longitud de 50 mm donde se aplica la carga y para realizar el ensayo, se la coloca dentro de una armadura de acero,

figura 7. Suele medirse en la dirección del grano que es la sollicitación que generalmente se produce en la práctica. Generalmente en el ensayo de corte se originan tensiones complementarias de flexión, compresión, aplastamiento, etc., que se suman al esfuerzo de corte dando valores en general menores que si la sollicitación de corte fuera pura. Las normas ASTM D 143 – 14, IRAM 9596, DIN 52187 y UNE-EN 408 y UNE 56543 regulan este ensayo que puede realizarse sobre la sección tangencial (tangente a los anillos de crecimiento) o sobre la sección radial (normal a la anterior). Cuando se mide la resistencia al corte perpendicular, se produce aplastamiento de las fibras. Para realizar el ensayo se utiliza una carga de valores entre 60% a 100% superiores a la de corte paralelo.

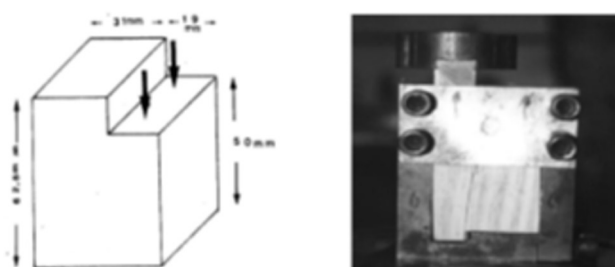


Figura 7. Izquierda: Esquema de la forma y dimensiones de la probeta para el ensayo de corte o cizallamiento. Derecha: Dispositivo para realizar el ensayo.

### 8. Resistencia al clavaje, rajadura o hendimiento.

Un cuerpo se encuentra sometido al esfuerzo de rajadura cuando dos fuerzas de igual magnitud y opuestas provocan la rotura de la misma. La tensión depende del ancho de la pieza. La rajadura es el desgarramiento de las fibras, que se produce por la aplicación de una carga. Se estudia la resistencia a la rajadura en los sentidos tangencial y radial. Por lo general la madera se hiende con mayor facilidad en el sentido del esfuerzo tangencial que en el sentido del esfuerzo radial. Las probetas deben ser preparadas de tal forma, que permitan aplicar la tensión en el sentido radial y tangencial respecto a los anillos de crecimiento. Uno de sus extremos cuenta con una escotadura de 25 mm de diámetro cuyo centro se ubica a 6 mm de la superficie transversal. Las normas que regula este ensayo son ASTM D143-14 y UNE 56539. Este ensayo determina la capacidad que tiene la madera de resistir esfuerzos que tiendan a rajarla en la dirección de las fibras, figura 8. Las maderas que se hienden con mayor facilidad se usan para fabricar tablillas, radios de ruedas, escalones, remos. En el caso de los encofrados de madera para hormigón armado, se produce un gran desperdicio de la madera si ésta no presenta una buena resistencia al hendimiento.

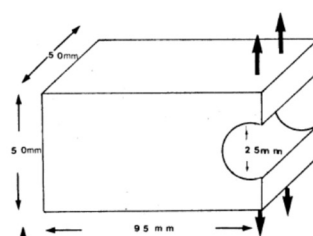


Figura 8. Izquierda: Esquema de las dimensiones de la probeta para el ensayo de resistencia al clavaje o rajadura. Derecha: Dispositivo para el ensayo.

### 9. Resistencia a la torsión

Es la resistencia que ofrece la madera a la rotación o giro alrededor del eje longitudinal a la fibra. El ensayo se realiza tomando una probeta de sección circular entre dos mordazas y aplicándole un momento torsor hasta la rotura de la misma. Es necesario para su realización conocer el módulo de elasticidad transversal. La resistencia a la torsión correspondiente a un momento perpendicular al grano es mayor que la debida a un momento paralelo al mismo, figura 9. Las normas que rige este ensayo son ASTM D198-15 y UNE EN 15737. Esta sollicitación se encuentra en pocas situaciones, la mayoría de ellas se da cuando la madera es utilizada como eje para poleas o aparejos.

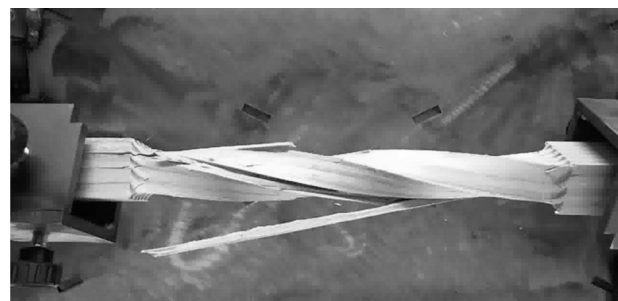


Figura 9. Dispositivo y la probeta ensayada para conocer la resistencia a la torsión.

### 10. Dureza

La dureza de la madera es la resistencia que esta ofrece a que se introduzca en ella cuerpos más duros. Está muy relacionada con la densidad de la madera que también coincide con un a mayor proporción de lignina en el leño. La dureza se puede clasificar en cinco tipologías: muy alta, alta, media, baja y muy baja (Sotomayor, 2008). Coincidiendo con este autor, las maderas se podrían clasificar en cinco tipos: extremadamente duras, muy duras, duras, blandas y muy blandas, tabla 1.

La madera puede determinarse mediante el ensayo Brinell del mismo modo que en los metales, en este caso la bolilla utilizada es de 10 mm de diámetro y las cargas de 10, 50 ó 100 kg según se trate de maderas

muy blandas, medias o muy duras respectivamente. Pero en realidad el método Brinell no suele utilizarse con frecuencia debido a la dificultad en establecer el diámetro de la impronta por las roturas locales de las fibras en el lugar del ensayo.

Tabla 1: Escala de dureza aplicada a maderas medida sobre la sección transversal.

Tipo	Kg/cm <sup>2</sup>
Maderas muy blandas	hasta 300
Maderas blandas	de 301 a 500
Maderas semiduras	de 501 a 700
Maderas duras	de 701 a 1000
Maderas muy duras	mas de mil



Figura 10. Ensayo de dureza Janka, nótese que ya están ensayadas las caras paralela y tangencial.

El método Janka, es el que se utiliza para la determinación de dureza de la madera. Las normas ASTM D 143–14, IRAM 9570, UNE EN 1534 y UNE 5634 regulan este ensayo. Consiste en determinar la carga necesaria para introducir una bolilla de acero con diámetro de 11,28 mm, es decir con una sección de 1 cm<sup>2</sup>. La carga necesaria dividida por la proyección sobre la cara de la probeta de la impronta producida (es decir 1 cm<sup>2</sup>) expresada en kg/cm<sup>2</sup> es el valor de dureza Janka correspondiente, figura 10. Existen diversos dispositivos para determinar el instante en que la bolilla se introduce hasta la mitad de su diámetro; el más sencillo y más utilizado consiste de una pieza giratoria en forma manual, que se frena en el instante indicado al rozar con la cara de la probeta. El ensayo debe hacerse sobre las tres direcciones principales y la sección transversal. Generalmente la dureza sobre la sección transversal es mayor que sobre las otras secciones, salvo en maderas muy duras donde puede darse el caso inverso.

## 11. Rigidez

La madera es considerada un material elástico ya que se deforma con cargas leves, pero al descargarse recupera sus dimensiones originales. El módulo de elasticidad de la madera es diferente según se ensaye a tracción o a compresión. Las gráficas "tensiones-deformaciones" correspondientes a las solicitaciones de tracción y de compresión, paralelas al grano ambas; como vemos el módulo de elasticidad por tracción es mayor que el de compresión (es decir que la madera presenta una mayor rigidez a la tracción). Las tensiones de tracción son en todo instante superiores a las tensiones de compresión, la resistencia a la flexión se encuentra comprendida entre los valores de resistencia de las otras dos solicitaciones y el eje neutro se desplaza hacia la zona traccionada. La norma ASTM D 143–14 regula este ensayo.

### Métodos no destructivos para la caracterización de madera de uso estructural

Se consideran métodos no destructivos a aquellas pruebas practicadas en un material, en este caso madera, que no alteren de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Estos ensayos implican un daño mínimo o prácticamente nulo a la muestra examinada. Los distintos tipos de métodos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción, o cualquier otro tipo de prueba que permita evaluar o detectar una determinada propiedad en el material. Se mencionarán sólo algunos de los ensayos disponibles. Suele considerarse que estos ensayos complementan a los que son destructivos, sin embargo, en ciertos casos la realización de ensayos destructivos no es recomendable y son estos otros ensayos los que se utilizan.

#### 1. Ultrasonido

Su utilización inicial fue sobre metales y posteriormente en hormigón, a partir de 1950 comenzó a utilizarse sobre madera. La técnica permite, a partir de la velocidad de paso de la onda y con una buena estimación de la densidad, predecir el módulo de elasticidad en obra y en laboratorio, figura 11. Dada la portabilidad de los equipos disponibles y el precio relativamente bajo, es de amplia utilización por todos los grupos de trabajo implicados en la evaluación de madera estructural. Los equipos disponibles en mercado operan con una frecuencia de entre 22 y 23 kHz.



Figura 11. Fotografía del dispositivo de ultrasonido sobre una probeta de madera.

## 2. Vibraciones

Este ensayo se basa en el estudio y análisis de las vibraciones producidas en el material y la frecuencia propia del mismo, utiliza el fundamento del diapasón. El ensayo consiste en impactar con un martillo sobre la pieza a estudiar para producir vibraciones, figura 12. El equipo contempla la medida de la velocidad de transmisión de la onda vibratoria y su densidad, proporcionando una muy buena estimación de los módulos de elasticidad de la pieza en estudio. Es importante señalar que la pieza a evaluar no debe estar empotrada por lo que esta técnica se ciñe a su utilización en laboratorio e industria de producción de madera o en control del material a la recepción en obra. Este ensayo permite estimar el módulo de elasticidad dinámico, la densidad y la resistencia de las maderas.



Figura 12. Fotografía del dispositivo de vibraciones sonoras sobre una viga de madera.

### Ensayos semidestructivos para la caracterización de madera de uso estructural.

Los ensayos semidestructivos son aquellos que, luego de ser realizados sobre el material, no lo comprometerán mecánicamente y de esta forma, podrán continuar prestando servicio si es que no se encuentran dañados.

## 1. Resistógrafo

Es un método mecánico para la estimación de la densidad mediante sondeo con taladro (resistógrafo). Este equipo permite identificar daños internos ofreciendo la posibilidad de inspeccionar zonas ocultas en las piezas de madera. El ensayo se basa en la resistencia que la madera opone a la penetración de una broca a velocidad constante, dado que esta resistencia está correlacionada con la densidad (Basterra, et al.2006). El equipo mide la resistencia a la penetración de una broca de diámetro entre 1,5 y 3 mm. La broca puede penetrar hasta una profundidad de 40 cm.



Figura 13. Izquierda: Fotografía del dispositivo para resistografía. Derecha: Viga atravesada por la aguja del resistógrafo.

## 2. Arranque de tornillos

Es un método mecánico para la estimación de la densidad mediante una máquina de arranque de tornillos. La fuerza de extracción del tornillo es un indicador de la resistencia, densidad y módulo de corte del material de madera. Los tornillos utilizados para el ensayo tienen 25 mm de largo. Para este ensayo, la probeta debe tener 5,1 cm de ancho, 15,2 cm de largo, con una profundidad al menos igual a la longitud del tornillo. Se colocan dos tornillos que deben estar ubicados en ángulo recto a la cara tangencial, a una penetración total igual a la longitud de la parte roscada. La distancia al final y al borde debe ser suficiente para evitar la división de la estructura ensayada. El tamaño del orificio para colocar los tornillos debe ser del 70% del diámetro de la base del tornillo y debe extenderse 1,3 cm hasta la cara de la probeta, figura 14. Los tornillos pueden recubrirse con cera, parafina u otro lubricante similar cuando sea necesario facilitar su anclaje. Las normas utilizadas son ASTM D 1761-19 e IRAM 9592.

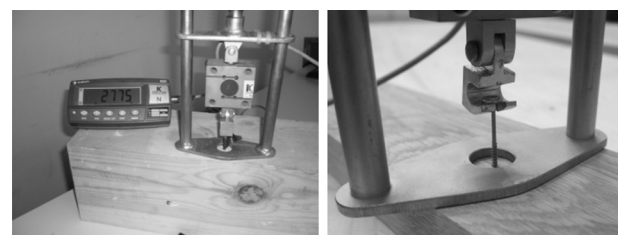


Figura 14. Izquierda: Fotografía del dispositivo de arranque de tornillos sobre una viga de madera. Derecha: Detalle del dispositivo.

## Madera para su uso estructural.

La diversidad y la sofisticación de las prácticas de construcción con madera estructural han aumentado significativamente en las últimas dos décadas. Los ensayos realizados bajo cualquiera de las normativas vigentes tienen como propósito establecer las propiedades de las maderas con el fin de potenciar su uso, en un marco que garantice la seguridad de la edificación a realizar. Los métodos de investigación y la tecnología disponible comercialmente para el levantamiento geométrico y la evaluación no destructiva de la madera han avanzado, creando oportunidades para una caracterización del material de madera integral cada vez más precisa y conveniente. A medida que las tecnologías de construcción de madera en todas las escalas de construcción continúan desarrollándose y diversificándose, es probable que los sistemas y componentes estructurales de madera en su totalidad ocupen un papel cada vez más importante en las aplicaciones que puedan dar soluciones constructivas que sean ambiental, social y económicamente apropiadas. Estos avances incluyen procesos de valor agregado altamente mecanizados, enfoques de fabricación digital a medida y tecnologías apropiadas en regiones en desarrollo. Varios proveedores de madera entera y empresas de fabricación también han demostrado la efectividad de la prefabricación, la integración de la cadena de suministro y la inversión en la optimización de procesos para escalar la producción de madera estructural. Aunque se han desarrollado tecnologías y métodos innovadores, la construcción integral de madera no ha logrado la adopción y escala generalizadas que se requerirían para abordar adecuadamente los problemas para abordar la escasez de vivienda e infraestructura en las regiones en desarrollo a través del uso de madera de bajo valor comercial.

## Descripciones de elementos estructurales

(1) Pie derecho: Madero que se fija perpendicularmente para sostener cualquier peso en una edificación. Pie maderero: Equivale a un trozo de tabla de 1 pulgada de espesor, por un pie de ancho y 1 pie de largo (1 pie = 30cm).

(2) Solera: Viga empotrada en la pared sobre la que se insertan los tirantes para formar el suelo.

(3) Pendolón: Madero perpendicular donde se fijan dos partes encontradas de una armadura.

## Bibliografía

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000. Standard methods of testing small clear specimens of timber. D 143 94. En: Annual

Book of ASTM Standards. Vol. 04.10 wood. West Conshohocken, PA.

ASTM D143-14. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.

ASTM D198-15. Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes.

Basterra A., Casado M., Acuña L., Pinazo O.. 2006. Techniques of pseudo-non destructive testing on structural wood, by extraction of screws. ReCoPar No. 2 páginas 37-59. ISSN 1886-2497.

Bukauskas A, Mayencourt P, Shepherd P, Sharma B, Mueller C., Walker P, Bregulla J. 2019. Whole timber construction: A state of the art review. Construction and Building Materials, 213 pp. 748–769.

Carballo Collar J., Hermoso Prieto E., Díez Barra R. 2009. Ensayos no destructivos sobre madera estructural. Kurú: Revista Forestal 6 (17).

Coronel E. O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas, 1º parte, fundamentos de las propiedades físicas de las maderas. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Coronel E. O. 1996. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas, 2º parte, fundamentos de las propiedades mecánicas de las maderas. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

DIN 52185. 1976-09. Testing of wood; compression test parallel to grain.

DIN 52187. 1979-05. Testing of wood; determination of ultimate shearing stress parallel to grain.

DIN 52188. 1979-05. Testing of wood; determination of ultimate tensile stress parallel to grain.

Hoffmeyer, P. 1995. Wood as a building material. In Timber Engineering STEP 1, pp. A4/1- A4/21. Centrum Hout, The Netherlands.

IRAM 9502. Maderas. Definiciones.

IRAM 9541. Maderas. Método de ensayo de compresión axial de maderas de densidad aparente mayor de 0,5 g/cm<sup>3</sup>.

IRAM 9542. Maderas. Método de ensayo de flexión estática de maderas de densidad aparente mayor de 0,5 g/cm<sup>3</sup>.

- IRAM 9545. Maderas. Método de ensayo de flexión estática.
- IRAM 9546. Maderas. Método de ensayo de flexión dinámica para maderas, con densidad aparente mayor de 0,5 g/cm<sup>3</sup>.
- IRAM 9547. Método de determinación de la compresión perpendicular al grano.
- IRAM 9551. Maderas. Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano.
- IRAM 9560. Piezas de madera. Criterios de evaluación de defectos.
- IRAM 9570. Maderas. Método de ensayo de la dureza janka.
- IRAM 9592. Método para la determinación de la resistencia al arrancamiento de clavos y tornillos.
- IRAM 9596 Maderas. Método para la determinación de la resistencia de las maderas a esfuerzos de corte paralelo a las fibras.
- Linville J.D., Editor. 2012. Timber Construction Manual, 6ta Edición. American Institute of Timber Construction (AITC), ISBN: 978-0-470-54509-6, 672 páginas.
- Nutsch W. 1992. Tecnología de la madera y del mueble. Editorial Reverté.
- Pérez del Castillo A. 2001. Propiedades Mecánicas y Calidad de Madera de Eucalyptus grandis del Norte de Uruguay. Informe de Investigación N°4, LATU, Montevideo.
- Suirezs M. T., Berger G. 2010. Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. 1a ed. EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, ISBN 978-950-579-154-5. Posadas, Misiones.
- Sotomayor, C. 2008. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas, Morelia, México, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- UNE-EN 408:2011 Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
- UNE-EN 1534:2011. Suelos de madera. Determinación de la resistencia a la huella (Brinell). Método de ensayo.
- UNE-EN 15737:2010. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Fuerza de torsión y resistencia al atornillado.
- UNE 56534:1977. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la dureza.
- UNE-EN 56535:1977. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a compresión axial.
- UNE 56536:1977. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la flexión dinámica.
- UNE 56537:1979. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la flexión estática.
- UNE 56538:1978: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las fibras.
- UNE 56539:1978. Determinación de la resistencia a la hienda. Características físico-mecánicas de la madera.
- UNE 56542:1988: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a compresión perpendicular.
- UNE 56543:1988 Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del esfuerzo cortante.

### Fuentes de las figuras

- Figura 1: [www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx).
- Figura 2: [www.instron.us](http://www.instron.us)
- Figura 3: Sepúlveda, D., Gacitúa, W., C Bustos, C., Dechent, P., Cloutier A. 2012. Determination of a representative volume element of stress-laminated deck specimens. Maderas, Ciencia y tecnología, 14(3): 339-359. ISSN print 0717-3644. ISSN online 0718-221X DOI 10.4067/S0718-221X2012005000007
- Figura 4, 7 y 8: Suirezs M. T., Berger G. 2010. Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. 1a ed. EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, ISBN 978-950-579-154-5. Posadas, Misiones.
- Figura 5: [www.instron.us](http://www.instron.us)
- Figura 6: Suirezs M. T., Berger G. 2010. Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. 1a ed. EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, ISBN 978-950-579-154-5. Posadas, Misiones.
- Figura 9: Torsión [www.zwickroell.com](http://www.zwickroell.com)
- Figura 10: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)
- Figura 11 y 14: [www.diagnosisdelamadera.com](http://www.diagnosisdelamadera.com)
- Figura 12: [www.kappop.com](http://www.kappop.com)
- Figura 13: [www.pemade.com](http://www.pemade.com)



**LEMIT**

**LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO MULTIDISCIPLINARIO  
PARA LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA**

**52 e/121 y 122 - La Plata - Buenos Aires - Argentina  
Tel.: (0221)4831141/44  
[www.lemnit.gov.ar](http://www.lemnit.gov.ar)**

# PROTECCIÓN DE LA MADERA CONTRA AGENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

Alfieri P. V.<sup>1</sup>

## IMPORTANCIA DE LA PRESERVACIÓN DE LA MADERA

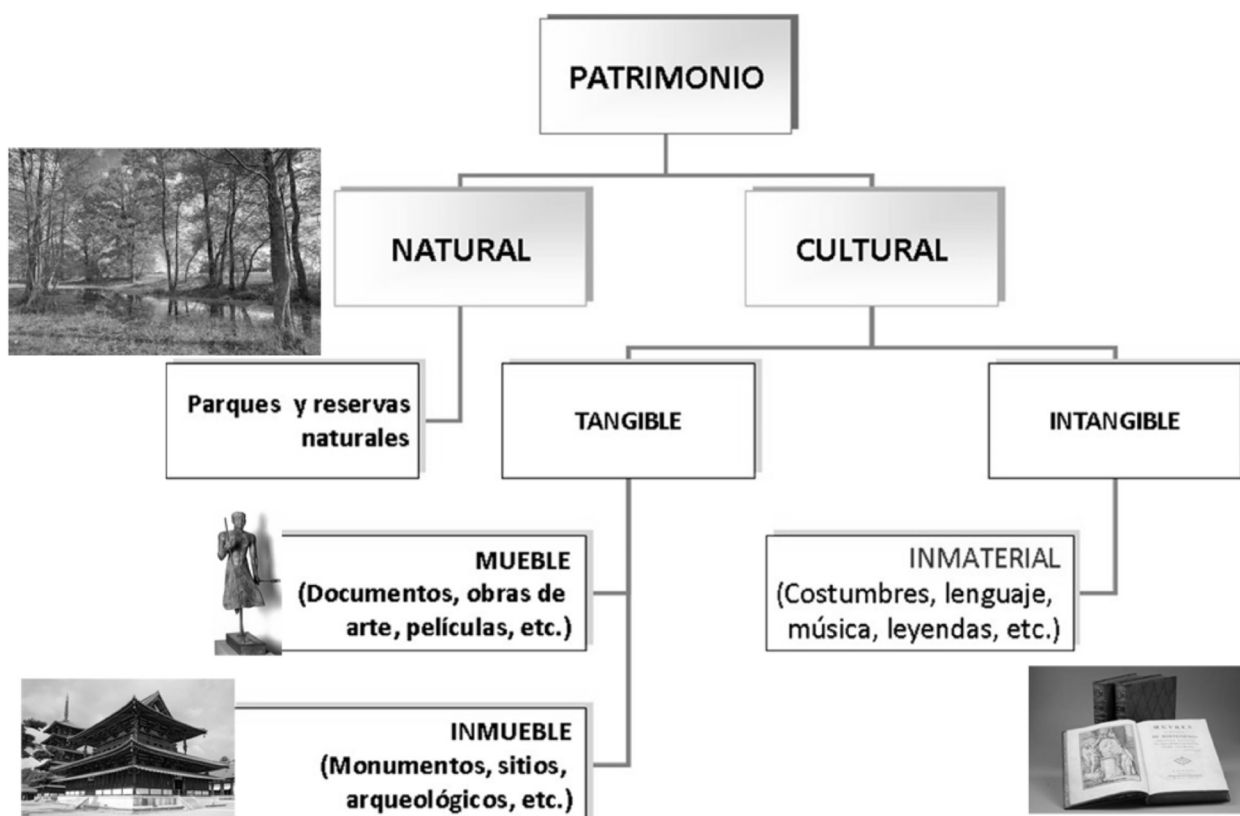
La madera es de origen natural, es un material orgánico el cual entra dentro de un ciclo de vida cerrado, el cual finaliza con su descomposición para volver a ser abono. Esta es la principal causa de su deterioro: es un proceso que se da naturalmente.

Tomando la madera como material, la importancia de su preservación está dada fundamentalmente para que esta no pierda sus características funcionales y estructurales cualquiera sea su forma o producto. Una vez ya hecho producto la madera pasa a ser un bien patrimonial o no. En el caso de ser un bien patrimonial, la importancia de su preservación implica entonces la conservación de la historia que esta trae acarreada como objeto. Mientras que en el caso de los bienes de servicio o productos de uso

hay q preservarla para que su durabilidad sea mayor, aportando a que la forestación sea menor, ya que esta también es parte de un patrimonio natural, Figura 1.

El aumento constante del consumo de madera ha llevado a la necesidad de introducir en el mercado especies de crecimiento rápido que son más livianas y con inferiores propiedades desde el punto de vista de la preservación. La extracción de madera en el pasado fue indiscriminada, sin medir las consecuencias del deterioro de los bosques naturales. Se extraían grandes volúmenes de madera de crecimiento lento, que demoraban siglos en madurar, dejando en pie aquellos árboles de menor calidad.

La consecuencia de esta sobreexplotación significó finalmente la búsqueda de la protección de aquellas construcciones de madera para mejorar su durabilidad y aumentar su vida en servicio. Por otra



**Figura 1.** La madera está incluida tanto en el patrimonio cultural como en el natural, esto es la base fundamental de su preservación.

<sup>1</sup> Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT), CICPBA. Calle 52 e/121 y 122. (1900) La Plata. Buenos Aires. Argentina.. patrimonio@lemit.gov.ar.

parte, se buscó y actualmente se continúa buscando la forma de utilizar especies de madera variadas, principalmente aquellas de rápido crecimiento, mejorando químicamente sus propiedades físico-mecánicas.

Por estos motivos, en los países con desarrollo científico-tecnológico se intenta dar una respuesta adecuada a la amplia variedad de temas involucrados en la correcta protección de la madera y la preservación de bosques naturales vírgenes. Así, los requisitos necesarios para resolver el problema de la preservación de la madera son conocer con profundidad la composición química y biológica, así como también la estructura y las propiedades del material a proteger. Además de conocer con profundidad también los agentes degradantes a los cuales puede ser expuesta la madera, lo que dependerá fundamentalmente del destino que se le dará a la madera como material. La importancia de conocer y estudiar lo antes mencionado radica en la correcta elección de los sistemas protectores desde el punto de vista de la eficiencia, el impacto ambiental y la economía.

Se entiende como preservación de maderas al conjunto de técnicas que aplican sustancias protectoras para evitar que las mismas sean afectadas por agentes destructores. La principal ventaja de utilizar estas técnicas incluye el aprovechamiento de especies maderas de menor valor ecológico y económico, por su baja durabilidad natural permitiendo preservar aquellas especies más valiosas (nativas).

Una de las características más importantes al utilizar un material, cualquiera sea su fin, es su durabilidad. La durabilidad es la propiedad de permanencia de la estabilidad física y química o de sus características originales frente a la acción de distintos agentes degradantes, a lo largo del tiempo. A diferencia de otros materiales, en donde la durabilidad es una propiedad bien definida, la madera presta diversa durabilidad entre las diferentes especies arbóreas (Råberg et al. 2005; Calderon, 2001; Brischke, et al. 2014)

La durabilidad en maderas entonces depende de distintos factores tales como: (i) las características de la albura (parte rica en azúcares y almidones) que la harán más o menos susceptible al ataque de agentes

bióticos; (ii) las características del duramen (donde se encuentran las sustancias antisépticas y/o extractivos, presencia de tílides (latifoliadas) y obstrucción de punteaduras por desplazamiento de toros (coníferas) los cuales son preservantes naturales de la madera (su presencia y/o concentración depende de las presiones ambientales); (iii) las características anatómicas de la madera, como ser presencia de vasos grandes (ataque de líctidos), o la proporción de tejido parenquimático (de reserva); (iv) la biología de los organismos xilófagos en el hábitat donde se desarrolló la madera; (v) la ecología del ambiente de desarrollo, como ser agua disponible, accesibilidad a la luz solar, densidad de siembra, condiciones climáticas del lugar y (vi) el manejo de las maderas en su procesamiento (Scheffer, et al. 1998; Taylor, 2002; Shmulsky and Jones, 2011; INTI, Madera y muebles 2002)

Una forma de clasificar las maderas según la durabilidad es la siguiente, Tabla 1:

- Clase 1: Muy durables (más de 30 años) por ejemplo: Ciprés del sur, Mora colorada, Quebracho colorado, Quina colorada.
- Clase 2: Durables (10 a 30 años) por ejemplo: Algarrobo, Lapacho, Roble
- Clase 3: Poco durables (5 a 10 años) por ejemplo: Cedro, Eucalipto saligna/grandis, Nogal criollo, Paraíso, Pehuén (Pino de Neuquén), Pino chileno, Pino del cerro, Pino resinoso nacional (P. ellioti y P. taeda), Pino spruce, Quebracho blanco, Roble del país.
- Clase 4: Muy poco durables (menos de 5 años): Álamo, Araucaria, Kiri, Pino Brasil o Paraná o Misionero o Ponderosa, Sauce.

Observando la clasificación presentada es lógico pensar que las maderas elegidas como materiales son aquellas de las primeras clases, donde la durabilidad es alta, pero estas especies son las nativas, cuyo crecimiento es lento y por lo tanto su re-plantación no es posible. Esto establece la necesidad obtener un equilibrio entre el cuidado del medio ambiente y la producción/comercialización de productos de alta calidad y durabilidad, principal demanda que posee cualquier material en cualquier industria. Una

Tabla 1: Durabilidad natural de la madera

Clase	Descripción	Duración
1	Muy durable (MD)	10 a 15 años
2	Durable (D)	7 a 12 años
3	Medianamente durable (M)	5 a 7 años
4	poco durable (P)	3 a 5 años
5	No durable (S)	Menos de 3 meses

manera de obtener este equilibrio es mediante la aplicación de tratamientos protectores.

• **AGENTES QUE DEGRADAN LA MADERA**

Ante la necesidad de protección de la madera, es importante conocer contra que agentes se la está protegiendo. Este conocimiento brinda las herramientas necesarias para generar un perfil de degradación o posible degradación, permitiendo así escoger el tratamiento correcto.

La madera puede deteriorarse por acción de (i) agentes bióticos: acción de micro y macroorganismos heterótrofos; o (ii) agentes abióticos como agentes atmosféricos, humedad y temperatura propias del ambiente, agentes mecánicos y químicos, fuego, tal como se mencionaron en los capítulos anteriores, Tabla 2.

Tabla 2: Agentes deteriorantes

DETERIORO DE MADERA	
Agente Bióticos	Agentes Abióticos
<b>Degradativos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bacterias</li> <li>Hongos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Humedad</li> <li>Radiaciones UV</li> <li>Contaminantes atmosféricos</li> <li>Abrasión eólica</li> <li>Fuego</li> </ul>
<b>Daños Mecánicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Artrópodos (Insectos, crustáceos, moluscos)</li> <li>Aves</li> </ul>	

• **PROTECCION DE LA MADERA**

Es importante destacar y unificar criterios a la hora de hablar sobre preservación, protección y conservación, Figura 2.

La preservación implica la penetración del sustrato para preservarla de agentes biológicos fundamentalmente, mientras que la protección es el acabado superficial o recubrimiento (no necesariamente implica formación de película) el cual es el encargado de protegerla contra los agentes abióticos. Cuando hablamos de conservación es la conjunción de ambas cosas y es lo que se busca en todo sistema protector. Es por ello que a continuación detallaremos los más utilizados, distinguiendo entre preservante, protector o sistema protector o conservación.

• **PRESERVANTES**

Los preservantes son productos que se emplean para tratar la madera con el fin de otorgarle protección. Un buen preservante debe reunir ciertas características tales como: ser tóxico sólo para los agentes degradantes, no ser corrosivo para los metales, no ser combustible, tener buena penetración, ser químicamente estable, no descomponerse con el tiempo, no ser soluble en agua y tener buena permanencia. Ningún producto disponible en el mercado reúne todos los requisitos deseables; por ello es que hoy en día, la elección del mismo dependerá de los objetivos que se persigan y del tipo de servicio que prestará la madera. Es por esto que actualmente el objetivo fundamental en estudios de



Figura 2. Diferencias conceptuales entre preservación, protección y conservación.

preservación de madera es preservantes que reúnan adecuadamente todos estos requisitos y además que proteja simultáneamente la degradación biótica y abiótica (Majada, et al. 2013, Miltz, 2002)

Los productos químicos actualmente disponibles para proteger a la madera se diferencian en primera instancia por su método de aplicación, estos pueden ser (Novoa Robles, 2006): (i) por impregnación, existen varios métodos que tienen en común es el uso de autoclave, donde es posible generar vacío y/o presión para facilitar el ingreso del impregnante (ii) por inmersión, existen varios métodos donde se incluye el baño de tablas de maderas en las soluciones impregnantes a temperatura ambiente y sin agitación, el cual consta simplemente en introducir madera en un recipiente de volumen adecuado y reposar hasta que la madera este hundida; o el uso del sistema desarrollado para poder trabajar a una cierta temperatura con agitación y durante un tiempo determinado y (iii) por aplicación superficial estas son las pinturas y recubrimientos aplicados por pulverización o pincelado, Figura 3.

A continuación se detalla una revisión de los preservantes más utilizados y disponibles en el mercado según clasificado según contra que agente se desee proteger con el fin de conservar la madera:

### Preservantes contra agentes bióticos

Los preservantes empleados contra agentes bióticos son aplicados mediante impregnación o inmersión. No existen recubrimientos que sean específicos para esta función (S.E.N.A.S.A, 2019, Apiolaza, 2000; Wood Protection Council, 1993; Cassens, et al. 1995; Zhu et al., 2014; Korb and Avérous, 2019)

**Creosota.** Según la norma IRAM 9512 la define como "Producto que consiste en una mezcla de compuestos destilados del alquitrán de hulla (un tipo de carbón mineral), libre de cualquier mezcla de aceite de petróleo o de aceites no derivados del alquitrán". Es la fracción que destila entre 250- 300 °C, de consistencia viscosa, de color negro y de olor a fenol. Su composición química es compleja constituida por la mezcla de hidrocarburos aromáticos (80-



Figura 3. Diferentes métodos de aplicación de los tratamientos preservantes para maderas: a) impregnación, la foto muestra el autoclave en donde se introducen las maderas a tratar; b) inmersión, se observa dispositivo donde las maderas son sometidas a agitación, inmersas en la solución tratante; c) cámara de pintado por pulverización, utilizado generalmente para líneas de fabricación de piezas de madera y d) pintado con pincel, método comúnmente empleado para la aplicación de pinturas protectoras.

90%) tales como benceno, xileno, antraceno, etc.; una fracción ácida (5%) compuesta por fenoles, cresoles, naftoles, etc. y una fracción básica (5%) compuesta por piridinas, quinolinas y acridinas. Este es insoluble en agua, de alta permanencia, no es corrosiva para los metales pero es irritante para la piel, tiene olor desagradable, a temperaturas altas, puede sufrir fuertes exudaciones (se ha comprobado en durmientes tratados que en 10 años perdió 50% de exudados) y una vez aplicado en la madera, esta no puede ser pintada ni barnizada. Eventualmente es biodegradable y altamente efectiva contra hongos insectos y perforadores marinos. Se utilizó por mucho tiempo como preservante para postes y durmientes ya que reduce la corrosión y desgaste mecánico de las maderas.

Tras quedar probado su potencial cancerígeno, la Unión Europea prohibió la comercialización y uso de la creosota como conservante de la madera, pero en algunos lugares del mundo aún sigue en vigencia como en Argentina, según el S.E.N.A.S.A., a pesar de contener elementos altamente cancerígenos, en condiciones normales de uso es levemente tóxica.

**Naftenatos.** Son sustancias provenientes de la combinación de ácidos nafténicos; obtenidos como subproductos en la refinación de petróleo y sales de elementos metálicos, como el cobre y el zinc; son compuestos cerosos o gomosos no cristalinos y solubles en aceite. El naftenato de cobre es el más generalizado en la preservación de maderas, este es de color verde oscuro y olor desagradable, de gran toxicidad para micro y macroorganismos por lo que es muy efectivo como fungicida, insecticida y contra perforadores marinos. Es insoluble en agua, presenta buena estabilidad química, no irrita la piel, no es fitotóxico pero su aplicación tiñe la madera, aunque en algunos casos puede pintarse. También en vigencia como en Argentina aprobada su comercialización por el S.E.N.A.S.A.

**Óxido de tributilestaño.** Es un producto de alto poder fungicida e insecticida porque se fija en la madera debido a su afinidad natural por los materiales celulósicos, por ello que controla muy bien a los hongos causantes de la pudrición parda en la madera; pero no se fija en la lignina por lo que no es efectivo contra la pudrición blanca. Presenta la característica de no ser fácilmente lixiviable (en maderas en contacto con el suelo, se producen lixiviación si el pH es ácido), irritante para la piel, buena permanencia, buena estabilidad química, buena penetración, es incoloro e insoluble en agua y es soluble en la mayoría de los solventes orgánicos. Se utiliza en forma de gas-oil al 0,5% (0.5% de óxido de tributilestaño equivalen a 5% PCF). Utilizado actualmente en Argentina como plaguicida (listado del S.E.N.A.S.A.).

**Quinolinolato (VIII) de cobre.** Se disuelve en solventes ligeros, además de la protección contra hongos tiene buena fijación en la madera, y se recomienda su utilización en madera que tiene contacto con productos alimenticios, no es irritante a la piel. Utilizado actualmente en Argentina como plaguicida (listado del S.E.N.A.S.A.)

**Sales simples.** En líneas generales, las sales simples no son muy aconsejables para tratamientos de mucha exigencia en servicio. Por ello las que se utilizan actualmente son sales complejas que generalmente poseen un producto fijador (ácido crómico; cromatos, bicromatos) que la haga menos lixiviables, un producto anticorrosivo (sales de cromo), un producto fungicida (SO<sub>4</sub>Cu, FNa, ClZn, etc.) y un producto insecticida (ácido bórico, arseniato de sodio, etc.) Algunas sales simples muy utilizadas son: Sulfato de cobre en soluciones del 3 al 5%, Cloruro de Zinc en soluciones del 2 al 5%; Fluoruro de sodio en soluciones de 1,5% al 4%; Pentaclorofenato de sodio en soluciones al 2%.

**Sales de boro.** Los compuestos de boro no tiñen a la madera, son tóxicos para los insectos y hongos; estos productos fueron utilizados inicialmente como retardantes de llama, pero luego se pudo evidenciar que tenían acción efectiva contra los degradadores de madera. Así, la madera tratada con componentes de boro se utiliza en lugares secos y en interiores para evitar que el producto químico no se lixivie por la humedad. Actualmente se ha normalizado su uso en muebles y viviendas en concentraciones 2% al 3% en solución.

**Soluciones salinas complejas.** Las sales preservantes tienen en su composición un elemento fungicida, como el cobre; un biocida de amplio espectro, como el arsénico o el boro y un fijador como el cromo. Las principales características de estas sales son su alta resistencia a la lixiviación, especialmente en maderas de coníferas, y una buena fijación de los principios activos. Generalmente estos compuestos son muy tóxicos y a lo largo del tiempo pierden su resistencia al lixiviado por lo que son perjudiciales para el medio ambiente. En Argentina actualmente se utiliza como preservante.

Hay muchas de estas soluciones, entre las principales sales múltiples utilizadas se encuentran:

- **ACA (Arsénico - Cobre - Amoníaco).** Está formada por cobre en forma de óxido cúprico y arsénico en forma de óxido arsénico disueltos en amoníaco, a las dos o tres semanas de tratada la madera, se evapora el amoníaco que solubiliza a la materia activa en agua y los precipitados de cobre y arsénico, que se fijan definitivamente en la madera. Su composición es muy tóxica y

emana tóxicos a la atmósfera pese a tener buena respuesta como preservante no es utilizado por la elevada polución que genera.

- **CCA (Cobre – Cromo – Arsénico).** Es el más usado a escala mundial, debido a su gran capacidad de fijación en la madera, a la facilidad de aplicación y a su efectividad. La durabilidad de la madera tratada con CCA supera los 20 años, dependiendo de su uso y de la cantidad de preservante impregnada. El cobre impide el ataque de hongos y bacterias; el cromo es el elemento responsable de la fijación definitiva del preservante en la madera, y el arsénico protege la madera de los insectos. En este momento se trata de uno de los preservantes de mayor difusión en nuestro país. Además de la toxicidad de sus componentes tiene como desventaja que la madera a tratar debe tener una humedad cercana al punto de saturación de las fibras (más o menos 30%) y una vez tratada, debe secarse durante 2 a 4 meses.
- **CCB (Cobre - Cromo - Boro).** Las tres sales se encuentran en forma de óxido. Combinan la acción fungicida del cobre con el boro, biocida de amplio espectro, y con el poder de fijación del cromo para evitar la lixiviación. Las maderas tratadas con esta adquieren una coloración verdosa; puede ser pintada, de fácil manipulación, no despiden olores ni vapores irritantes, y utilizadas para la construcción rural. La fijación de estas sales en la madera es muy lenta y se recomienda dejar secar por lo menos de 6 a 8 semanas antes de usar. Se conocen en Argentina como TanalithCB y se utilizan en solución al 5%.

## PROTECTORES

**Repelencia al agua.** Los tratamientos para reducir la tendencia de la madera a tomar humedad ambiental y los cambios dimensiones de la misma se pueden dividir en dos categorías: repelentes al agua y estabilizadores dimensionales, Figura 3. La eficacia de tratamiento de repelencia al agua se puede definir como la capacidad de un tratamiento para prevenir o controlar la velocidad de absorción de agua líquida. Se utiliza en general para lograr este efecto la inmersión en cera o aceite de siliconas. Mientras que la eficacia de tratamiento de estabilización dimensional puede se define como su capacidad para reducir o prevenir la hinchazón y contracción de la madera resultante de la absorción de humedad. El incremento en la estabilidad dimensional se logra, fundamentalmente, porque la sustancia química incorporada ocupa los poros de la madera, produciendo un agrandamiento (bulking) permanente de las dimensiones de la pieza., Figura 4.

Hasta el presente, los repelentes de agua comercialmente aplicados a la madera han sido casi exclusivamente basados en ceras de parafina. Estas sustancias se aplican, generalmente por inmersión o impregnación, como soluciones en un disolvente orgánico. Este tipo de formulaciones contiene además de la sustancia hidrofóbica, fungicidas, resinas, y a veces hasta insecticidas; la resina actúa como un agente de unión entre la sustancia hidrofóbica y los espacios interfibrilares en la superficie de la pared celular (Wang, et al. 2013; Xie, et al. 2013).

Una combinación de resina y cera de parafina da una mejor formulación ya que aúna las propiedades de impermeabilización de los componentes utilizados

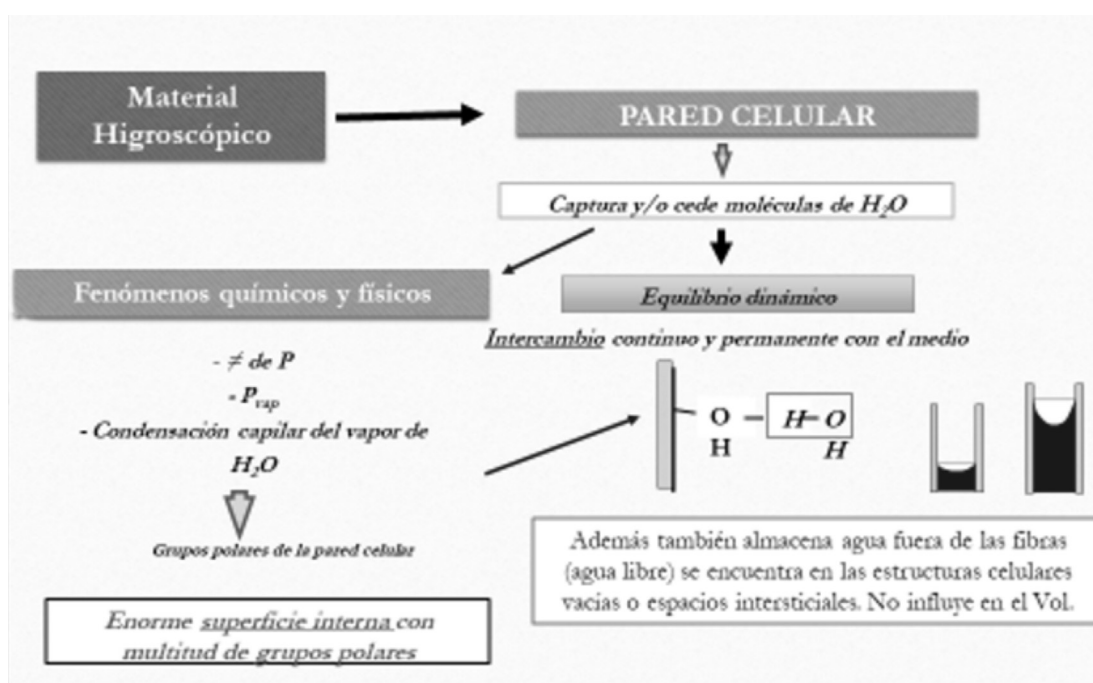


Figura 4. Hidrofobicidad de la madera

solos y además, puede aplicarse como una pintura. La desventaja de este tipo de tratamiento es la poca estabilidad en la madera ya que se demostró que con el simple hecho de exponer maderas tratadas a vapores de solventes orgánicos se observan exudaciones.

A pesar de estas limitaciones varios investigadores han demostrado que el tratamiento de la madera con agua, tales repelentes permiten un control significativo de la absorción de agua para una período de tiempo razonable pero luego esta propiedad se pierde. Esta pérdida está asociada a la no-unión o unión débil o entre la pared celular y el hidrófugo como así también a la degradación de la superficie de madera.

Una forma de superar este efecto puede ser para unir el hidrófobo químicamente sobre la pared celular. Una serie de reacciones son conocidas permitiendo la unión de sustancias orgánicas a la madera; entre los reactivos que permiten este tipo de reacciones se encuentran los epóxidos e isocianatos los cuales son particularmente interesantes ya que no conducen a la generación de subproductos no deseados subproductos o una seria degradación de la madera tratada. El tratamiento de la madera con reactivos hidrófobos que contiene uno u otro de estos grupos funcionales pueden conducir a productos químicos repelentes al agua. Tales técnicas se han aplicado con éxito durante un período de tiempo considerable en la industria textil (Sèbe and Brook, 2001; Petric, et al. 2007; Militz, 2002),

Figura 5.



**Figura 5.** Hidrofobicidad por aplicación de sistema protector.

**Acción climática y radiación UV:** Para maderas expuestas a intemperie la protección contra estos agentes debe ser mediante la aplicación de tratamientos superficiales: pinturas y recubrimientos. Los más conocidos y disponibles en el mercado son los barnices y lasures. Los barnices son recubrimientos no pigmentados que permiten proteger la madera sin perder la estética y vetas que la madera presentan naturalmente pero resaltando su acabado. Pero al ser transparentes son sensibles a la foto-oxidación por la luz ultravioleta. Es por ello, que la protección contra los efectos de la luz ultravioleta están alcanzados con el agregado de absorbentes UV, antioxidantes y HALS (Hindered Amine Light Stabilizers) a estas formulaciones tradicionales denominándose lasures. El pigmentado entonces inhibe la degradación del

recubrimiento debido a que poseen radicales que absorben la radiación UV evitando el inicio de las reacciones de foto-oxidación (Garay, 2007).

Estos lasures están constituidos por resinas alquídicas modificadas al aceite o uretanadas. Los disolventes empleados son hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Se emplean disolventes orgánicos, para evitar goteos y otros inconvenientes. Es posible encontrar como ligantes soluciones de resinas alquídicas, largas en aceite o ácidos grasos secantes. Los pigmentos utilizados en la actualidad son los óxidos de hierro transparentes. En las fichas técnicas de los recubrimientos protectores se promueve su acción protectora frente a decoloración por radiación UV, su acción hidrorrepelente, reduciendo el paso de vapor de agua entre el interior y exterior de la madera (Schaler and Roget, 2008)

Todos los recubrimientos deben trabajar a poro abierto y no formar película sobre la madera, permite que ésta respire. Se señala que las propiedades de los productos se mantienen hasta por 6 años

**Fuego:** Las experiencias e investigaciones efectuadas sobre el poder retardante de productos químicos indican que existe una amplia gama de sustancias que acreditan acción positiva sobre la demora en la propagación del fuego y la permanencia de la combustión y de la brasa (Kozłowski, 2012).

La acción de los retardantes reduce en el tiempo la pérdida de peso que sufre por carbonización de la masa leñosa, al mismo tiempo que puede limitar la tendencia a la permanencia de la llama y/o brasa que aparece en la madera encendida. En consecuencia, el tratamiento con retardantes del fuego tiene por objeto prevenir pequeños focos de incendio y prolongar el comienzo de la ignición, dando tiempo a tomar las medidas necesarias para la evacuación del lugar físico de la conflagración Cruz, et al., 2015).

Dentro de los compuestos ignífugos o retardadores de fuego se distinguen los que impiden que llegue oxígeno a la madera durante algunos minutos y los que basan su acción ignífuga en que reaccionan con el calor, emitiendo sustancias que acaparan el oxígeno del aire, impidiendo que la madera se quemé (Lowden and Hull, 2013).

Impregnantes. En cuanto a formulaciones impregnantes, como producto de última generación en cuanto a uso industrial se destaca los productos basados en sales inorgánicas, principalmente con sales de boro ya que este ayuda a disminuir la producción de gases tóxicos, impedir la generación de la llama y reducir la expansión de ésta, ayudando a las estructuras de madera a mantener su resistencia estructural frente a un incendio, a no cambiar su color natural y mantenerse exento de olores.

Los ignifugantes de uso industrial basados en sales inorgánicas solubles en agua también muy usados como impregnantes están basados en dicromato de sodio (altamente tóxico); además se observa que estas soluciones presentan satisfactoria capacidad retardante sólo en maderas expuestas en ambientes interiores ya que resultan fácilmente lixiviables por la acción del agua de lluvia o de condensación en sustratos leñosos expuestos a la intemperie o enterrados. Lo antes mencionado fundamenta el estudio de otros ignifugantes de mayor eficiencia y amigables con el medio ambiente. Actualmente, es tendencia el uso de derivados de sílice para la formulación de impregnantes ignífugos, obteniendo resultados muy eficientes como retardantes de llama. Por otra parte, en las formulaciones de compuestos ignifugantes existe la posibilidad de incorporar resinas que actúan de fijadores del producto químico. Estas resinas tienen que ser compatibles con la formulación generada entre sales/ resina /agua. (Mngomezulu, et al., 2014).

**Tratamientos superficiales.** En este campo hay que tener conocimiento de la formulación que se vaya a emplear ya que las películas de pinturas orgánicas o que posean un alto contenido de esta naturaleza pueden desempeñar, una acción importante durante un incendio: favorecer la propagación del fuego, presentar inercia o sólo ligeras características ignífugas, retardar la evolución de la conflagración o bien extinguir el fuego. Las pinturas ignífugas se pueden clasificar, según su mecanismo de acción, en pinturas intumescentes y pinturas retardantes de llama (Kiliaris and Papaspyrides, 2010; Shuyu, 2013)

- *Pinturas intumescentes.* Las películas secas de estas pinturas, sometidas a la acción del calor, primeramente se ablandan y luego se hinchan debido a un desprendimiento interno de gases incombustibles que permanecen en parte retenidos, llegando a alcanzar un espesor de más de 200 veces superior al original. La capa intumescente solidifica en forma de masa esponjosa incombustible que protege el material pintado, dificultando el aumento de la temperatura e impide el acceso de aire. Estos productos se aplican sobre sustratos diversos tales como papel, cartón, madera, plásticos, metales, mampostería, etc. Durante la acción del fuego, la película de pintura absorbe energía térmica para formar la citada capa esponjosa; esta última se comporta además como un excelente aislante térmico (baja conductividad) y como barrera para controlar el acceso del aire a la interfase (Gardelle et al., 2013), Figura 6.
- *Pinturas retardantes de llama.* Estas pinturas están basadas en productos halogenados, que por acción del fuego, se descomponen generando

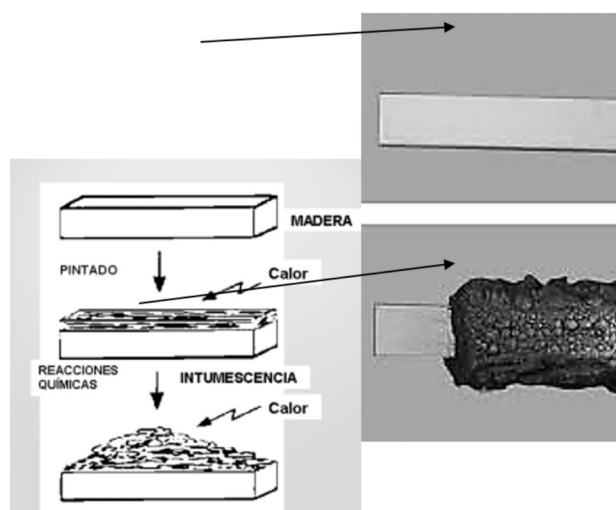


Figura 6. Mecanismo de las pinturas intumescentes.

radicales libres que reaccionan con el oxígeno del aire, impidiendo de esta manera su acceso a la interfase sustrato-aire durante la conflagración. Generalmente estas pinturas están basadas en resinas alquídicas cloradas, epoxídicas, poliuretánicas, vinílicas, etc. El mecanismo de acción se complementa con la eliminación de gases incombustibles que contribuyen a disminuir significativamente el aporte de oxígeno. Su performance se complementa con una acción en fase sólida dado que incrementa el residuo carbonoso aislante durante su pirólisis, el cual se comporta como capa aislante desde un punto de vista térmico y como una barrera a la transferencia de materia. El pigmento más usado es el trióxido de antimonio por su capacidad para favorecer las citadas reacciones de radicales libres en la fase gaseosa. La relación cuantitativa entre este pigmento y el contenido de cloro proveniente de la resina en la película seca influye significativamente en la eficiencia retardante del fuego. Estas pinturas se formulan con altos valores de concentración de pigmento en volumen ya que presentan mayor eficiencia debido a su elevado contenido de componentes inorgánicos (no combustibles) en la película seca (Giudice et al. 2013)

- En general presentan menor eficiencia que las pinturas intumescentes, pero con mejores propiedades decorativas en un amplio rango de colores; son igualmente aptas para su empleo en interiores y exteriores.

## LAS ÚLTIMAS TENDENCIAS EN PROTECCIÓN DE MADERAS

La tendencia de los últimos años fue reducir o eliminar, por razones ambientales y de salud humana, el uso de arsénico, cromo, cobre, entre otros

componentes usuales en la formulación de biocidas para protección de maderas, como así también el uso de solventes y aditivos contaminantes en el campo de la tecnología de pinturas, es por ello que el cambio del fundamento de protección fue rotundo y generó nuevas tecnologías preservantes.

### Modificación térmica o el tratamiento por calor

- Este tratamiento radica en el uso de temperatura para alterar las propiedades de la madera. La madera se somete a temperaturas superiores a 150 °C, generalmente entre 180 y 260 °C, lo que provoca diversas reacciones en los polímeros constitutivos de la madera, tales como separación hidrolítica de polisacáridos, oxidaciones y reducciones, además de variadas condensaciones. El calentamiento ocurre dentro de un proceso que tiene como variable la duración de los ciclos, la humedad de la madera y la atmósfera del ambiente de reacción. Se busca reducir el contenido de oxígeno para evitar oxidaciones degradativas. La modificación térmica mejora la estabilidad dimensional, la resistencia al ataque de microorganismos y también reduce la higroscopicidad. Como contrapartida, la modificación térmica reduce la tenacidad de impacto y la resistencia a la abrasión. La madera modificada térmicamente presenta un oscurecimiento del color y un olor característico, típico del calentamiento de azúcares. Actualmente, en Finlandia, Alemania, Holanda, Francia y en Estados Unidos hay firmas que producen madera térmicamente modificada para el circuito comercial (Petric et al, 2007; Tomar and Khurana, 2019)

### Modificación química

- La modificación química implica la reacción de un reactivo químico con los principales polímeros constituyentes de la madera, resultando en la relación de un enlace covalente entre ambos. Comprende la impregnación de la madera con la sustancia química reactiva y el curado para permitir la reacción entre la sustancia química y la madera (Korb and Avérous, 2019).
- El incremento en la estabilidad dimensional se logra, fundamentalmente, porque la sustancia química incorporada ocupa los poros de la madera, consecuentemente tienen menos espacios vacíos por donde el agua puede llegar a las fibras, lo que hace que mantengan sus dimensiones en ambientes de humedad variable. La resistencia a agentes microbiológicos, ampliamente documentada, no está aún satisfactoriamente explicada desde el punto de vista científico-técnico, ya que la modificación química se hace necesariamente con productos químicos no

biocidas y por lo tanto la madera modificada no es tóxica para los agentes biológicos. También se obtienen mejoras sensibles en la resistencia a la degradación por agentes meteorológicos, tales como radiación solar, precipitaciones y cambios de temperatura. La modificación de la madera también origina cambios en las propiedades mecánicas. En algunos procesos se observa un deterioro en la tenacidad de impacto (Alfieri et al., 2018a), Figura 7.

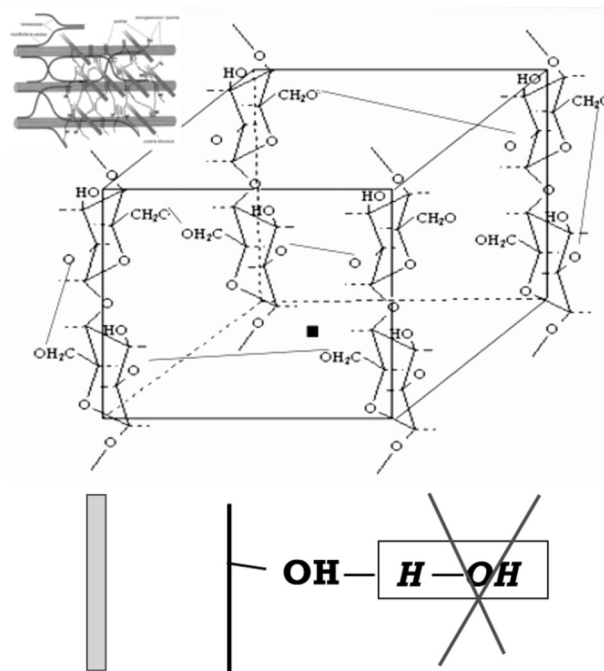


Figura 7. Esquema de la modificación química de la madera, donde los -OH están implicados siendo la principal causa que genera protección.

Los tratamientos más adoptados por la industria al presente son el de acetilación, DMDHEU y el tratamiento de la melamina (furfurilación) mientras que los demás que se detallan están en proceso de estudio y desarrollo:

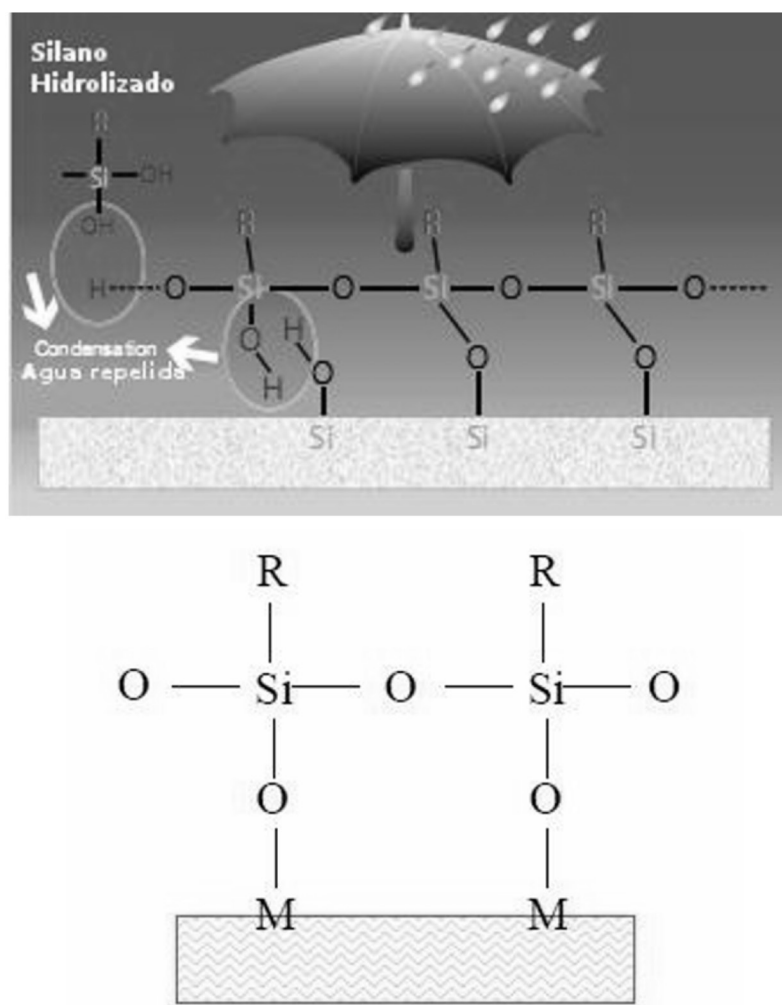
**Esterificación o Acetilación.** Es la modificación química con anhídridos acéticos. La madera acetilada presenta un incremento en la densidad y sensibles mejoras en la estabilidad dimensional, debido al agrandamiento de la pared celular producido por la reacción. La resistencia al ataque de xilófagos que se obtienen es similar a la que se observa en madera tratada con químicos preservantes. Una desventaja de este proceso es la obtención de ácido acético como subproducto de la reacción, lo que deja al producto con un característico olor a vinagre. También debe tenerse en cuenta que el anhídrido acético es corrosivo, por lo que la planta de tratamiento debe considerar esa propiedad en el diseño. Desde 2003 a la actualidad se produce en los Países Bajos madera acetilada con fines comerciales (Dieste, et al., 2009)

**Resina de DMDHEU.** El dimetiloldihidroxi etileno urea (DMDHEU) es una sustancia soluble en agua que al polimerizarse se transforma en una resina. Esta tecnología ha sido transferida desde la industria textil a la de madera; a temperaturas superiores a 100° C y en presencia de un catalizador metálico, los grupos N-metilol, presentes en la molécula DMDHEU, reaccionan con los polímeros de la pared celular mientras que a su vez, también dentro de la pared celular, el monómero de DMDHEU se polimeriza, que debido a su tamaño molecular permanece retenida. Es posible realizar este proceso sin provocar alteraciones perceptibles en el color y en el olor de la madera. La modificación de la madera con DMDHEU permite reducir la contracción e hinchazón en hasta un 70% y aumentar notoriamente la resistencia frente a agentes bióticos. En Alemania se comercializa madera modificada con DMDHEU y se producen muebles y otros productos con partes y piezas de tableros contrachapados o microlaminado con chapas impregnadas utilizando este proceso (Dieste, et al., 2009)

**Alcohol furfurílico.** Este proceso implica la impregnación de madera con alcohol furfurílico y la posterior reacción con un catalizador (anhídridos cíclicos de ácidos carbónicos) a temperaturas superiores a 100° C, permitiendo la polimerización del alcohol furfurílico dentro de la pared celular y en pequeñas cantidades en el lumen celular. Además, la furfurilación confiere a la madera un color oscuro que permite asociarla con las maderas tropicales, lo que a su vez puede ser una ventaja para la comercialización de algunos productos. La madera furfurilada, debido al agrandamiento permanente de la pared celular y a los enlaces entre el polímero y la pared celular, es dimensionalmente más estable que la madera sin tratar. Se observa mayor resistencia al ataque de hongos, siendo más efectivo el tratamiento contra hongos de pudrición blanca que de pudrición parda. La madera furfurilada presenta el detrimento de algunas propiedades mecánicas tales como el módulo de ruptura, la resistencia a la abrasión y la tenacidad. Actualmente en Noruega se produce madera furfurilada de pino y latifoliadas con destino comercial (Ryu and Takahashi, 1992)

**Siloxanos.** Desde que los compuestos orgánicos de silicio tales como silanos y siloxanos se han utilizado como consolidantes y repelentes de agua en la construcción (por ejemplo ladrillos, hormigón, yeso, etc.), éstas están siendo estudiadas en la protección de la madera. Una amplia variedad de estos compuestos se han descrito para la aplicación en madera: el uso de alcoxisilanos; silanos aplicados en combinación con alcoxisilanos como el tratamiento con trimetoxisilano de vinilo y [γ (metacriloxi) propil] trimetoxisilano (PTMS) o con tetraetoxisilano (TEOS), trietoxisilano de metilo (MTES) y trietoxisilano propilo (PTEO) como silano monomérico o como sol pre-hidrolizado. Éstos, también conocidos como alcóxidos, han

tenido un gran auge en los últimos años, junto con el método de polimerización que estos presentan: el proceso sol-gel (Mai and Militz, 2004; Alfieri et al. 2018b), Figura 8.



**Figura 8.** Siloxanos

**Nanopreservantes.** Esta nueva disciplina tiene infinidad de usos y aplicaciones en una amplia variedad de disciplinas; se pueden mencionar el campo de las pinturas y recubrimientos protectores así como también soluciones impregnantes para la preservación y protección del deterioro de materiales. En este campo el fin fundamental es el diseño de sistemas de protección para mejorar la resistencia y durabilidad de partes y componentes elaborados con sustratos diversos contra la degradación química y/o biológica. Por ello, la tendencia actual para la protección de materiales es el uso de nanocompuestos ya que además de tener propiedades excelentes como biocidas, anticorrosivos e ignífugos según el caso, permiten generar sistemas amigables con el medio ambiente (no se necesitan altas concentraciones y pueden ser dispersados en soluciones acuosas).

En la actualidad todos los desarrollos de tratamientos para la preservación de la madera se basan en compuestos nanométricos, ya que permiten una buena impregnación, no se necesitan grandes cantidades de esto para que sea efectivo, tiene

propiedades exaltadas con respecto a su estado natural, los resultados son poco comparables a los tradicionales y en su mayoría se tiene la posibilidad de no utilizar solventes para su dispersión evitando la polución ambiental durante su empleo ((Alfieri et al. 2017; Alfieri y Canosa, 2018)

Como se evidencia, existe una gran variedad de tratamientos protectores y un importante desarrollo tecnológico en mejorar y crear nuevos. Esto está basado en que la madera es un material que se utiliza desde hace siglos debido a su gran versatilidad: pese al avance en la ciencia de los materiales, la madera sigue siendo uno de los pocos materiales que permite el desarrollo de construcciones sustentables dado por su capacidad de captar y reservar dióxido de carbono como así también la menor demanda energética de construcción respecto a otros materiales. La nanotecnología se ha definido como el campo que se ocupa de la investigación, desarrollo y aplicación de materiales, dispositivos, composites o sistemas que se encuentran en un rango de tamaño de 1 a 100 nm; ellos presentan propiedades emergentes, es decir, que sus propiedades características, comportamiento y funciones no se da en tamaños mayores de los mismos materiales y que no es explicado por el simple hecho de su naturaleza química, eléctrica o física (Dastjerdi and Montazer, 2010).

La industria de los recubrimientos ha sido es uno de las primeras en aprovechar el potencial de nanotecnología, ya que la adición de las nanopartículas a recubrimientos puede mejorar muchas propiedades y puede producir recubrimientos multifuncionales con unas diferencias de costo muy pequeñas. Estos revestimientos se pueden conformar en monocapas autoensambladas, gracias a lo cual presentan propiedades como resistencia a los rayones, superficies autolimpiables (anti-graffiti) o recubrimientos resistentes a la corrosión. Además, incorporan una mayor fuerza y la flexibilidad junto con un excelente brillo y transparencia lo que aumenta su eficacia. Los nanorecubrimientos se pueden aplicar de muchas maneras, vía física, química o electroquímica (Rassam et al. 2012)

La nueva tecnología de los nanomateriales permite, en el caso de los polímeros, la inclusión de cargas de tamaño nanométrico para mejorar u optimizar algunas de las propiedades mecánicas, térmicas y/o químicas. Se han reportado investigaciones preliminares orientadas a la evaluación de soluciones y suspensiones nanopreservantes elaboradas basándose en nanopartículas de cobre, zinc y boro, con o sin adición de nanoplatina; estos estudios tuvieron como objeto fundamental la protección de la madera contra la acción de las bacterias y no tanto con respecto al deterioro fúngico ni tampoco a la protección contra la acción del fuego (Liu et al., 2019).

Por todas estas ventajas es que en la actualidad todos los desarrollos de tratamientos para la preservación de la madera se basan en compuestos nanométricos, ya que permiten una buena impregnación, no se necesitan grandes cantidades de esto para que sea efectivo, tiene propiedades exaltadas con respecto a su estado natural, los resultados son poco comparables a los tradicionales y en su mayoría se tiene la posibilidad de no utilizar solventes para su dispersión evitando la polución ambiental durante su empleo (Alfieri 2018).

## CONSIDERACIONES FINALES

La madera es uno de los materiales más nobles con que el hombre aún cuenta hoy para los más de 2000 millones de habitantes del planeta; fue uno de los primeros elementos que se utilizó para la confección de herramientas, armas, navíos, viviendas, como productos primarios; y caucho, gomas, sustancias medicinales, aceites, resinas, corcho, fibras, entre otros, como subproductos.

Actualmente, su versatilidad es utilizada con gran diversidad de formas tanto para producir papel como para tableros de partículas o aglomerados, tableros de fibras como los MDF (Medium Density Fibreboard) o los hardboard; terciados, laminados y multilaminados entre otros. Su manufactura la ha transformado en casas, cercas, juguetes, muebles, instrumentos musicales, soporte de alambros o tendidos eléctricos, telegráficos o telefónicos, decoración, etc.

Pese a la generación y evolución de otros materiales, sus características tecnológicas hacen que la madera siga siendo una materia prima imprescindible aumentando su demanda año tras año. Estudios recientes indican que a mayor nivel de vida de una población, mayor es el consumo de madera per cápita; en Argentina la industria forestal cuenta con establecimientos dedicados a distintos tipos de producciones que van desde la industria procesadora de la madera, como es la del aserradero, hasta la producción de objetos más elaborados relacionados con la industria del mueble. Dentro de esta gama de actividades, la industria de la celulosa y papel y la del aserradero, son las mayores demandantes de rollizos de madera de especies cultivadas.

El problema central del uso de este material es su procedencia: cada año el área boscosa mundial va disminuyendo abruptamente. La importancia de los bosques radica en que cumplen un rol fundamental en la conservación de los suelos y la regulación climática; es el ecosistema que concentra la mayor riqueza y variedad de flora y fauna, así como los insumos necesarios para la producción de medicinas y alimentos; son reguladores de las altas temperaturas por ser fijadores de dióxido de carbono como así

también poseen una gran capacidad para absorber el agua de lluvia por lo que contribuyen en una eficaz barrera contra las inundaciones.

Esto no quiere decir que la madera deje de ser utilizada como material, opuestamente, significa tener conciencia y utilizarlo de manera prudente, siguiendo pautas de planeamiento sustentable a la hora de explotar este recurso natural: esto debe basarse fundamentalmente en asegurar la descendencia de cada árbol cortado y en que la madera obtenida de ese árbol tenga una elevada durabilidad en servicio para así lograr un rendimiento sostenido. Lo primero se logra con la plantación de árboles, así como se siembra los productos comestibles para luego, con el debido manejo, selección y correcto aprovechamiento, cosechar madera en cantidad, de calidad, de buen precio y lo más importante a perpetuidad. Lo segundo, se enmarca el contenido de la presente capítulo y se logra mediante la utilización de tratamientos que hagan una madera aserrada más duradera, atacando los puntos débiles de este material como ser el deterioro por acción de agentes biológicos y atmosféricos.

## Bibliografía

- Alfieri P.V., Canosa G., Guidice C.A. (2017) Uso de nanopartículas para la protección contra el deterioro de madera patrimonial 5° Congreso Iberoamericano y XII Jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio 2017, La Plata, Buenos Aires 6-8 de Septiembre
- Alfieri P.V., Lofeudo, R., Canosa, G. (2018a) Impregnant formulation to the preservation, protection and consolidation of wood heritage assets. *International Journal of Conservation Science* 9(4):629-640
- Alfieri P.V., Lofeudo, R., Canosa, G., Iloro F. Traversa L. (2018b) Conservation of a Wooden Tomb-Marker from the Jewish Cemetery of Algarobos in Argentina *Heritage* 2018, 1(1), 47-56
- Alfieri P.V., Canosa G (2018) Protección contra el deterioro biótico y abiótico de madera mediante el uso de sistemas silano/nanopartículas SAM-CONAMET 2018, 1-5 de octubre de 2018
- Alfieri P.V. (2018) Control del deterioro de la madera mediante la acción de nanoimpregnantes y recubrimientos sol-gel a base de silanos Tesis doctoral <http://hdl.handle.net/10915/66389>, 184pp.
- Apiolaza, L.A. (2000) Multiple trait improvement of radiata pine, Massey University, 143 pp.
- Lladró R. C. (2005) Materiales orgánicos: maderas, Ed. Univ. Politéc. Valencia, 279 pp.
- Bases de datos del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (S.E.N.A.S.A), 2019, Ministerio de agricultura, ganadería y pesca, Argentina.
- Brischke, C. et al. (2014) Wood natural durability testing under laboratory conditions: results from a round-robin test *European Journal of Wood and Wood Products*, 72, (1): 129-133
- Calderón, A. D. Preservación de Maderas, Cátedra Dasonomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, 33 pp.
- Cassens, D. L., Feist, W.C., Jonson, B.R., DeGroot, R.C. (1995) Selection and use of preservative-treated wood. Forest Products Society. Madison, Wisconsin. USA. 104 p.
- Cruz, R. Cunha, S.C., Casal, S. (2015) Brominated flame retardants and seafood safety: A review *Environment International*, 77, 116–131.
- Dastjerdi, R., Montazer, M. (2010) A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties"; *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 79 5–18.
- Dieste, A., Krause, A., Bollmus, S., Militz, H. (2009) Gluing ability of plywood produced with DMDHEU-modified veneers of *Fagus sp.*, *Betula sp.*, and *Picea sp.* *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29 (2), 206–209.
- Garay, R. (2007) Impregnantes tipo lasur para la protección de la madera y tableros. Abril 2007. *Agro-Ciencia*: 23(1), 25-36.
- Gardelle, B. Duquesne, S. Rerat, V. Bourbigot S. (2013) Thermal degradation and fire performance of intumescent silicone-based coatings, *Polymers for Advanced Technologies*, 24, 62–69
- Giudice, C. A., Alfieri, P.V., Canosa, G. (2013) Siloxanes synthesized "in situ" by sol-gel process for fire control in wood of *Araucaria angustifolia*"; *Fire Safety Journal*, 61 348–354.
- INTI, Madera y muebles (2002) Clasificación de las maderas por su durabilidad natural, <http://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/pdf/durabilidad.pdf>
- Kiliaris, P., Papaspyrides, C.D. (2010) Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy, *Progress in Polymer Science (Topical Issue on Nanocomposites)*, 35 (7), 902–958.
- Lowden, L.N and Hull, T.R. (2013) *Fire Science Reviews*, 2:4, 1-19

- Kozłowski, R.M (2012) Improving the flame retardancy of natural fibres, Handbook of Natural Fibres: Processing and Applications, Processing and Applications, Volume 2 in Woodhead Publishing Series in Textiles, 30–62
- Korb, Z.W. and Avérous L. (2019) Recent developments in the conservation of materials properties of historical wood Progress in Materials Science, 102, 167-221
- Liu, X. Chen, X. F., Ren J., Chan, M. He, B., Zhang, C. (2019) Effects of nano-ZnO and nano-SiO<sub>2</sub> particles on properties of PVA/xylan composite films. International Journal of Biological Macromolecules 132, 1, 978-986
- Mai, C., Militz, H., 2004. Modification of wood with silicon compounds. Treatment systems based on organic silicon compounds - A review. Wood Science and Technology, 37 (5), 453-461.
- Majada, J., et al. (2013) Innovación de procesos y productos en el sector de la madera” In: 6º Congreso Forestal Español 10 al 14 de junio de 2013, Palacio de Congresos y Exposiciones Europa de Vitoria-Gasteiz
- Militz, H. (2002) Treatment Technologies in Europe: Scientific Background and Technological State-of-Art. In: Proceedings of Conference on “Enhancing the durability of lumber and engineered wood products” February 11-13, 2002, Kissimmee, Orlando. Forest Products Society, Madison, US.
- Mngomezulu, M.E., John M.J. Jacob, V. Luyt, A.S. (2014) Review on flammability of biofibres and biocomposites, Carbohydrate Polymers, 111, 149–182
- Novoa Robles, L.A. (2006) Manual de buenas prácticas de manufactura para la preservación de madera aserrada; acorde a los estándares expresados en las propuestas de normas. Dirección nacional de desarrollo de comercio exterior vice ministerio de comercio exterior Lima-Perú, 41 pp.
- Petric, M.P, et al. (2007) Wettability of waterborne coatings on chemically and thermally modified pinewood. J. Coat. Technol. Res., 4, 203-206.
- Råberg U. et al. (2005) Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe an overview (2005) Journal of Wood Science 51(5) 429-440
- Rassam, G. et al. (2012) Mechanical performance and dimensional stability of nano-silver impregnated densified spruce wood”; European Journal of Wood and Wood Products, 70 (5) 595-600.
- Ryu, J.Y., Takahashi, I.M. (1992) Biological resistance of furfuryl-alcohol treated wood, International Research Group on Wood Protection. IRG/WP/3703-92
- Schaler, C. and. Roget D. (2008) Protección de la Madera frente al sol. Empleo optimizado de absorbentes y desgaste del sustrato. Revista Protecma N° 39: 16-21.
- Scheffer, T.C.; Morrell, Jeffrey J. (1998) Natural durability of wood: a worldwide checklist of species Forest Research Laboratory, Oregon State University. Research Contribution 22, 58p.
- Sèbe, G., Brook, M.A. (2001) Hydrophobization of wood surfaces: Covalent grafting of silicone polymers. Wood Science and Technology, 35 (3), 269-282.
- Shmulsky, R. and Jones, P.D (2011) Forest Products and Wood Science, John Wiley & Sons, 532 pp.
- Shuyu, L., Neisius, N.M, Sabyasachi, G. (2013) Recent developments in flame retardant polymeric coatings, Progress in Organic, Coatings, 76 (11), 1642–1665.
- Taylor, A. M (2002) Heartwood Formation and Natural Durability-A Review Society of Wood Science & Technology, 34 (4) 587-611
- Teixeira, E. R. Camões, A. Branco F. G. (2019) Valorisation of wood fly ash on concrete Resources, Conservation and Recycling, 145, 292-310
- Tomar, M.S., Khurana, S. (2019) Impact of passive fire protection on heat release rates in road tunnel fire: A review. Tunnelling and Underground Space Technology, 85, 149-159
- Wang, X., Chai, Y., Liu, J. (2013) Formation of highly hydrophobic wood surfaces using silica nanoparticles modified with long-chain alkylsilane. Holzforschung, 394(1), 97-112.
- Wood Protection Council (1993) Wood Protection Guidelines, Protecting wood from decay fungi and termites. Understanding Biodeterioration of Wood in Structures. Wood Protection Council, National, Institute of Building Sciences. 53 pp.
- Xie, Y. et al. (2013) Effects of hydrophobation treatments of wood particles with an amino alkylsiloxane co-oligomer on properties of the ensuing polypropylene composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 44, 32-39
- Zhu, Y and Wang, J. C. (2014) Improvement of hydrophobicity and dimensional stability of

thermally modified southern pinewood pretreated with oleic acid. *BioResources*, 9(2), 2431-2445.

Tipa blanca: *Tipuana tipu*  
Virapitá o ibirá pitá: *Peltophorum dubium*  
Viraró: *Pterogyne nitens*

#### Anexo I.1

Nombres científicos de las especies involucradas (Fuente INTI). Expresado como “Nombre vulgar: nombre científico”

##### • Clase 1

Ciprés del sur: *Cupressus sempervirens*  
Curupay: *Anadenanthera colubrina* (Vell.)  
Guayacán: *Tabebuia guayacan* (Seem.) Hemsl.  
Mora colorada: *Chlorophora tinctoria* var *polyneura*  
Quebracho colorado: *Schinopsis* sp.  
Quina colorada: *Myroxylon peruiferum*  
Urunday: *Astronium balansae*  
Urundel: *Astronium urundeuva*

##### • Clase 2:

Algarrobo: *Prosopis* ssp.  
Anchico colorado: *Parapiptadenia rígida*  
Calden: *Prosopis caldenia*  
Cancharana: *Cabrlea oblongifoliola*  
Coihue: *Nothofagus dombery*  
Lapacho: *Tabebuia* ssp.  
Roble pellín: *Nothofagus obliqua*

##### • Clase 3

Azota caballo: *Luehea divaricata*  
Caroba: *Jacaranda semiserrata*  
Cedro: *Cedrela fissilis*  
Espina corona: *Gleditschia amorphoides*  
Eucalipto saligna/grandis: *Eucalyptus saligna*, E. Grandis  
Grapia o Ibirá peré: *Apuleia leiocarpa*  
Guaraniná: *Bumelia obtusifolia*  
Guatambú blanco: *Balfourodendron riedelianum*  
Guayaibí: *Patagonula americana*  
Incienso: *Myrocarpus frondosus*  
Laurel: *Nectandra lanceolata*  
Lenga: *Nothofagus pumilio*  
Loro blanco: *Bastardiopsis densiflora*  
Marmelero o Ibirá puita y: *Ruprechtia laxiflora*  
Nogal criollo: *Juglans australis*  
Palo amarillo: *Phyllostylon rhamnoides*  
Palo blanco: *Calycophyllum multiflorum*  
Palo rosa: *Aspidosperma polyneuron*  
Paraíso: *Melia azedarach*  
Pehuén (Pino de Neuquén): *Araucaria araucana*  
Persiguero rá: *Prunus brasiliensis*  
Peteribí: *Cordia trichotoma*  
Pino del cerro: *Podocarpus parloterei*  
Pino resinoso nacional: *Pinus ellioti* y *Pinus taeda*  
Pino insignis: *Pinus radiata*  
Quebracho blanco: *Aspidosperma quebracho blanco*  
Raulí: *Nothofagus nervosa*  
Roble del país: *Amburana cearensis*

##### • Clase 4:

Álamo: *Populus nigra* cv *italica*  
Araucaria: *Araucaria angustifolia*  
Carne de vaca: *Styrax leprosus*  
Kiri: *Paulownia tomentosa*  
Pino Ponderosa: *Pinus ponderosa*  
Pino marítimo: *Pinus pinaster*  
Sauce: *Salix humboldtiana*  
Zapallo caspi: *Pisonia zapallo*

# BIODETERIORO CAUSADO POR INSECTOS EN MADERAS

*Mariani R., Rossi Batiz M. F., Teileche T. D., Cabrera N. C.<sup>1</sup>*

El accionar de diferentes organismos biológicos sobre la madera, ya sea los que habitan o atacan árboles en pie o madera muerta (procesada o no), los presentes en viviendas, piezas de colección o bienes culturales, implica alteraciones de las propiedades físico-químicas y mecánicas de los materiales que las constituyen, modificaciones del aspecto estético y en algunas instancias deterioro de su valor histórico y patrimonial.

Los insectos xilófagos como agentes de biodeterioro ocasionan distintos tipos de daño a lo largo de su ciclo de vida, ya sea por alimentación -digieren la celulosa por los organismos endosimbiontes presentes en su tracto digestivo-, búsqueda de sitios de refugio y/o de reproducción. Su crecimiento es por mudas y según el tipo de metamorfosis pasan por diferentes estados. Los holometábolos por huevo, larva, pupa y adulto, las larvas son muy voraces, las pupas no se alimentan y sufren los cambios para adquirir las características del adulto a expensas de las reservas acumuladas. Los adultos pueden no alimentarse o hacerlo generalmente sobre sustratos diferentes a los de las larvas y vivir en distintos hábitats. En cambio los hemimetábolos, presentan los estados huevo, ninfa y adulto, los dos últimos poseen el mismo régimen alimenticio y comparten el hábitat.

Estos insectos se dividen en dos grandes grupos, los que atacan árboles en pie con maderas con cierto grado de humedad y los que se desarrollan en la madera seca o estacionada. A éstos últimos nos vamos a abocar en este capítulo ya que secundariamente han invadido construcciones y objetos elaborados en madera y que por su alta especialización se han tornado perjudiciales o plagas. Asimismo, han incrementado su incidencia y distribución geográfica debido al trasladado involuntario realizado por el hombre junto con el material en el que se cobijan (Pinniger & Winsor, 2001).

Sin dudas, la alimentación es la principal causante de biodeterioro entomológico y principalmente realizado por los estados inmaduros, ya que el adulto es primariamente el encargado de la reproducción y dispersión. El daño puede ser mecánico, al roer y

masticar con las mandíbulas, o químico por efecto de sustancias presentes en secreciones bucales -saliva-, fecas, olores e individuos muertos. La búsqueda de refugio tiene un papel algo menor y, junto con la actividad reproductora, producen alteraciones de naturaleza fundamentalmente mecánica al horadar cavidades o remodelar materiales donde protegerse, o al construir “nidos” donde llevar a cabo la cópula y/o la puesta de los huevos. Estos daños además, constituyen una vía de entrada para patógenos como hongos y bacterias (Yela, 1997).

En nuestro país los insectos que atacan la madera seca (mobiliario, techos, pisos, tallas, etc.) y que producen severos daños son principalmente los escarabajos (Orden Coleoptera) y las termitas (Orden Isoptera). Menor incidencia muestran algunas avispas y hormigas carpinteras (Orden Hymenoptera) debido a que el ataque es menos frecuente u ocasional. La comprobación de su presencia o indicios de su accionar, su reconocimiento e identificación taxonómica, constituyen el paso previo para una propuesta de realización de tratamientos de desinfección y desinsectación (Mariani e Igareta, 2014).

A continuación, nos referiremos a aquellas especies que afectan maderas en servicio o elaboradas en la República Argentina en orden decreciente de importancia, poniendo de manifiesto algunos aspectos ecológicos interesantes a considerar para su control.

## • ORDEN COLEOPTERA

(del latín koleos = estuche y ptera = ala)

Conocidos comúnmente como escarabajos, con más de 350.000 especies descritas, constituyen el grupo más exitoso y el principal componente de la biodiversidad de la tierra. De tamaño muy variable, de 0.3 mm a 200 mm, cabeza libre u oculta debajo del protórax, aparato bucal masticador; antenas de formas variables. Su nombre alude a la presencia de élitros, primer par de alas esclerotizadas, que protegen al segundo par de alas membranosas. Holometábolos: larvas generalmente con tres pares

<sup>1</sup> División Entomología, Museo de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP)

de patas (oligópodos), en varias familias ápodas. Pupas libres, en ocasiones protegidos en capullos, cocones, etc.

El daño producido por los escarabajos xilófagos está estrechamente relacionado con su ciclo de vida. Las hembras oviponen en grietas, hendijas u orificios que realizan. Al eclosionar la larva comienza a construir galerías en el interior de la madera, incrementan su diámetro en las sucesivas mudas larvales y además dejan fragmentos de madera y materia fecal a medida que van avanzando por las mismas. Para empupar ensanchan una de las galerías y construyen una cámara, generalmente cerca de la superficie; el adulto emerge a través de un orificio de salida de diámetro y forma variable según la especie. El tiempo de desarrollo de huevo a adulto puede variar entre 50 días a 10 años. La vida de los adultos es corta, en ocasiones sólo unos pocos días o semanas, en los cuales muchos no se alimentan sino que cumplen sólo la función reproductiva y de dispersión. Otros poseen una dieta diferente a la de las larvas, son florícolas, fitófagos, etc.

Debido al desarrollo generalmente lento de los escarabajos xilófagos, a menudo las infestaciones no se detectan hasta que producen un deterioro apreciable. Además como las larvas y los adultos no son generalmente visibles, el daño se reconoce por el diseño de las galerías, el tipo de aserrín que dejan en el exterior y el tamaño y forma de los orificios de salida. Sin embargo, la presencia de aserrín y/o agujeros no indican necesariamente la vigencia de la infestación, puede tratarse de infestaciones antiguas en las cuales no haya escarabajos vivos en su interior. Una forma de distinguirlos es por el color del aserrín en la salida o cercanía de los agujeros, si es blanco indica que es reciente mientras que en las antiguas es marrón (Ripa y Luppichini, 2004).

Las características mencionadas anteriormente, presencia de agujeros abiertos y aserrín, son útiles también para diferenciar el daño producido por los escarabajos de aquel realizado por las termitas, ya que estas últimas cuando atacan madera seca realizan galerías cerradas y a veces eliminan pellets junto con aserrín, mientras que las subterráneas cierran los orificios con barro luego de eliminar los excrementos y no se percibe aserrín.

Las principales familias que producen daños a la madera elaborada en la Argentina son: Anobiidae, Bostrichidae, Lyctidae y Cerambycidae, mientras que algunos miembros de las familias Dermestidae y Ptinidae están asociados en forma ocasional.

#### • Familia Anobiidae

Adultos de pequeño tamaño, de 3 a 9 mm. Cuerpo oval o subcilíndrico, color pardo rojizo a negro,

cubierto dorsalmente por pelos erectos o escamas. El carácter distintivo es el pronoto en forma de capuchón que cubre la cabeza. Antenas de 11 artejos, los tres últimos dilatados. Larvas escarabeiformes, color blanco amarillento, cuerpo blando, en ocasiones cubiertos por pelos finos. Cabeza bien definida, tórax dilatado y tres pares de patas cortas y delgadas, en ocasiones vestigiales.

*Daños:* Se encuentran principalmente en productos secos de origen vegetal y animal como así también en almacenados: granos, tabaco, pan seco, productos de harina, fruta seca, etc. En las especies xilófagas las hembras oviponen en grietas y galerías preexistentes, las larvas y adultos viven en la corteza e interior de madera muerta, dura y blanda, prefieren aquellas con una humedad que varía entre el 13 y 30%. Se encuentran en estructuras (vigas, pisos, ventanas) y muebles, en los cuales el ataque de las larvas se visualiza por la presencia de un aserrín semejante a arena muy fina y pequeños pellets.

Varias especies son consideradas los principales enemigos de bibliotecas y archivos. Atacan estantes, cueros y digieren parcialmente la celulosa de los libros (Brewer & Sosa, 1996).

• **Anobium punctatum** De Geer, 1774 (carcoma de los muebles) (Lámina 1, Fig. 1-A)

Tamaño 4 - 6 mm., color castaño rojizo a oscuro, cubierto dorsalmente por finos pelos amarillentos. La hembra ovipone en grietas, en ocasiones dejados por otros anóbidos y superficies ásperas de la madera. Las larvas, horadan galerías que se van taponando con el aserrín producido al alimentarse. Cuando completan su desarrollo larval ensanchan la galería que se transforma en cámara pupal y luego de 15 a 30 días emergen los adultos a través de orificios circulares de aproximadamente 2 mm. El ciclo de vida puede durar entre uno y tres años dado que la duración del estado larval es afectada por el clima y el alimento. Distribución: cosmopolita, preferentemente de lugares templados a cálidos (Rojas y Gallardo, 2004).

*Daños:* Constituye la especie más importante que ataca madera elaborada en la República Argentina. Se observa usualmente en aquellas que han estado en servicio por más de 20 años, sin embargo no oviponen sobre la pintada y barnizada. Las generaciones se suceden año tras año atacando la misma madera, de tal forma que las galerías se entrecruzan y terminan por consumirla en gran parte, transformándola en polvo de textura semejante a una arena muy fina. La superficie atacada muestra múltiples orificios de salida, daño conocido como “tiro de munición”. (Lámina 2, Figs. 1 y 2).

Otro representante de esta familia es la especie *Xyletinus brasiliensis* Pic, 1899, conocida como

“reloj de la muerte” o “taladrillo”, que ha sido mencionada para nuestro país pero cuyo daño tiene poca incidencia (Brugnoni, 1980).

#### • Familia Bostrichidae

Adultos de pequeño tamaño, de 3 a 15 mm. Cuerpo cilíndrico, ligeramente aplanado, color negro o castaño oscuro. Cabeza retráctil, hipognata, cubierta por el pronoto. Antenas con 10 artejos, los últimos tres o cuatro formando una maza. Pronoto fuertemente ensanchado, en forma de capucha. Larvas escarabeiformes, similares a las de anóbidos, cuerpo blando cubierto de pelos cortos, cabeza pequeña retraída parcialmente en el protórax y tres pares de patas bien desarrolladas. A diferencia de la familia anterior, las hembras perforan la madera y realizan galerías cilíndricas en árboles caídos o maderas secas para oviponer.

Otro tipo de galerías las realizan las larvas 0 que a medida que avanzan dejan aserrín de textura arenosa pero sin pellets. Pupan en la galería y los adultos emergen por orificios de 3 a 7 mm de diámetro.

*Daños:* Se alimentan de madera dura y blanda, otras especies son plaga de granos, tubérculos y leguminosas.

#### • *Polycaon chilensis* (Erichson, 1834) (taladro grande) (Lámina 2, Figs. 1 y 2).

Tamaño 9 a 26 mm, color negro brillante, cubiertos por pilosidad escasa, más densa en la cabeza, tórax y superficie ventral del cuerpo. La cópula se produce en lugares protegidos. Las larvas en el primer año hacen galerías superficiales bajo la corteza y en galerías existentes, el segundo año el crecimiento larval es más rápido produciendo un desfase de generaciones, encontrándose larvas de diferentes estadios. La emergencia de los adultos se produce durante el verano, por orificios de salida circulares, de 5 a 7,5 mm. Distribución: originario de Sudamérica, está citado para Argentina, Perú y Bolivia.

*Daños:* Ataca madera seca preferentemente conífera, eucalipto y roble. Prefieren la albura de la madera, en ocasiones alcanzan el duramen si éste está muy dañado o ahuecado. El daño se observa sólo cuando emergen los adultos por los orificios de salida, ya que las larvas no arrojan el aserrín hacia el exterior.

Una característica importante para reconocerla es que, en el interior de las galerías, las larvas comprimen notablemente las fecas (Rojas y Gallardo, 2004).

#### • Familia Lyctidae

Los miembros de esta familia fueron incluidos como subfamilia de los Bostrichidae. Adultos de tamaño

pequeño, de 2 a 7 mm. Cuerpo cilíndrico, color castaño rojizo o negro. Cabeza bien desarrollada, prognata, no cubierta por el protórax, antenas cortas terminadas en una clava de dos artejos. Larvas escarabeiformes, similares a las de los bostríquidos, de las cuales se diferencian por su cabeza más retraída, ausencia de ocelos y la presencia de un espiráculo en el 8vo. segmento abdominal.

*Daños:* Las larvas atacan maderas duras nuevas, en las que construyen galerías ovales. Su daño se manifiesta como pequeños orificios de 1mm aproximado, lo que da el aspecto de una madera acribillada. Además, se detecta por la presencia de aserrín en forma de polvo semejante a la harina, muy fino en comparación con el de anóbidos y bostríquidos, en los cuales el aserrín puede contener fragmentos de madera y pellets. Prefieren maderas parcialmente secas, con una humedad inferior al 20%. Algunas especies pueden dañar el papel, sobre todo si éste contiene algo de almidón, reduciéndolo a un polvo semejante al talco.

Entre los representantes de esta familia se encuentran varias especies del género *Lyctus* sobre madera elaborada siendo los más conocidos *Lyctus brunneus* y *Lyctus chilensis* Gerberg, 1957, esta última probablemente presente en la Argentina pero aún no registrada.

#### • *Lyctus brunneus* (Stephens, 1830) (escarabajo pulverizador de la madera) (Fig. 1-C)

Tamaño 2 - 7 mm., color rojizo o negro. Esta especie se diferencia de otras del género por la incapacidad para digerir la celulosa, se alimentan del almidón y proteínas de la madera. Los huevos son puestos en orificios de la superficie de la madera. Los adultos dejan orificios de salida circulares de 1 a 2 mm., el aserrín eliminado al emerger es fino similar a la harina. Su ciclo biológico varía entre 8 y 10 meses, aunque puede durar la mitad en condiciones de humedad y temperatura muy favorables. En ambientes con calefacción, la duración puede reducirse tanto, que en un año pueden darse dos o incluso tres generaciones (Peters et al., 2002). Distribución: cosmopolita.

*Daños:* Atacan madera con alto porcentaje de almidón y al menos 6% de humedad. Suelen encontrarse en roble, nogal, fresno, olmo, cedro, álamo, eucalipto y ocasionalmente en mobiliario de caña y bambú (Rojas y Gallardo, 2004). Suele atacar también cartón y papel.

#### • Familia Cerambycidae

Incluye especies barrenadoras de corteza y madera. Adultos de mediano a gran tamaño, alcanzan hasta 20 cm. Cuerpo oblongo o alargado, relativamente aplanado, color variable, en ocasiones metálico. Cabeza hipognata o prognata, ojos profundamente

escotados. Antenas insertas en tubérculos, largas sobrepasan en ocasiones el largo del cuerpo. Larvas escarabeiformes, algo cilíndricas, grandes, blanquecinas, cabeza esclerotizada y pequeña invaginada en el protórax, patas muy pequeñas y poco funcionales, la locomoción la realizan por medio de protuberancias torácicas y abdominales.

*Daños:* Los adultos se alimentan de flores o no se alimentan. La mayoría de las larvas prefieren árboles debilitados, madera muerta o recién cortada, tanto blanda como dura, otras especies perforan árboles y arbustos. Realizan galerías circulares o elípticas, en ocasiones sinuosas que pueden alcanzar 1cm. y llegar al centro de la madera. Producen aserrín grueso y fibroso que no expulsan al exterior. Los orificios de salida son grandes, de 6 a 12mm. Causan daño en viviendas y en ocasiones permanecen muchos años en la madera de muebles.

• **Hylotrupes bajulus L. 1758** (taladro de las casas viejas) (Fig. 1-D)

Tamaño 15 - 25 mm., color negro o castaño gris oscuro, cubierto por pubescencia clara, larga y densa. Las hembras oviponen dentro de grietas en la corteza; eligen casi exclusivamente madera de coníferas, en especial abetos, pinos y sobre todo alerces. El estado larval puede llegar a durar hasta 3 a 6 años dependiendo de la temperatura y humedad. Distribución: ampliamente distribuida en el Viejo Mundo e introducida en Australia, Sud África, América del Norte y América del Sur (Cannon & Robinson, 1981).

*Daños:* Constituye la plaga más importante en medio urbano ya que la utilización de madera blanda como el pino en construcciones ha incrementado su difusión y dispersión. La larva produce el mayor daño a través de las galerías elípticas que excava al seguir el sentido de las fibras de la madera de coníferas. Cuando no se adoptan medidas adecuadas de control, pueden transformar el interior de la madera en aserrín pulverizado, colapsando tirantes y techos. Se han constatado ataques en encina, álamo, sauce, arce y castaños. Esta especie es considerada mundialmente como la más importante plaga de las maderas blandas elaboradas después de las termitas (Rojas y Gallardo, 2004).

Algunos miembros de otras familias de Coleoptera están asociados con la madera elaborada en forma indirecta u ocasional. Los pequeños insectos de la familia Dermestidae se alimentan de materia orgánica de origen animal (hueso, plumas) y /o vegetal y son accidentalmente xilófagos. Las larvas de *Dermestes maculatus* (De Geer, 1774), especie cosmopolita, son halladas en bibliotecas atacando encuadernaciones de cuero y pergamino, y pueden horadan ocasionalmente galerías en la madera de

estantes de bibliotecas para formar cámaras pupales (Ciro Díaz et al., 2008). La especie *Ptinus fur* (L., 1758) es una de las más conocida de la familia Ptinidae citada para la Argentina (Philips, 2008), conocida como “escarabajos araña” causan daño en encuadernaciones y otros elementos de las bibliotecas y presenta la particularidad de construir cámaras en la madera para empupar (Brewer & Sosa, 1996).

• **ORDEN ISOPTERA** (del griego ισός isos = igual y ptera = ala)

Conocidos comúnmente como “termitas” u “hormigas blancas”, presentes en todas las zonas tropicales y templadas del mundo. De tamaño variable de 3 a 10 mm., cutícula blanda y generalmente poco pigmentada, aparato bucal masticador, antenas generalmente moniliformes (10-32 artejos). Ojos compuestos bien desarrollados, reducidos o ausentes; ocelos presentes o ausentes, en algunas especies el impar reemplazado por una depresión o fontanela donde desemboca la glándula frontal (defensa). Protórax bien desarrollado y libre, meso y metatórax más o menos fusionados. Su nombre hace referencia a que poseen las alas iguales o sub iguales, cuando están presentes. Hemimetábolos, las ninfas se asemejan al adulto y poseen el mismo hábito alimenticio y comparten el mismo hábitat.

Lucífugas, forman sociedades bisexuales con castas polimórficas que realizan un trabajo definido, pudiendo alcanzar las colonias entre 1.000 y un millón de individuos. Las nidificaciones excavadas en la madera son consideradas las más primitivas, mientras que las especializadas son subterráneas, epígeas o arbóreas; están formadas por galerías y celdas tapizadas con restos de madera y elementos del medio aglutinados con secreciones salivales, rectales o excrementos. La casta reproductora está representada por el rey y la reina de color castaño claro, cabeza más oscura y alas membranosas iridiscentes que luego del vuelo nupcial desprenden al encontrar un lugar propicio donde fundarán la nueva colonia. La casta estéril está formada por obreras y soldados ápteros y despigmentados a excepción de la cabeza de los últimos que está bien esclerotizadas ya que salen de los nidos para defender las colonias. Las obreras son las encargadas de la construcción del nido y la búsqueda del alimento (Torales, 1998).

Se alimentan de madera viva o muerta, sana o en putrefacción, gramíneas, hierbas, humus, estiércol, restos vegetales del suelo o detritívoras, pudiendo algunas especies ser plagas de cultivos y otras juegan un rol ecológico muy importante en la naturaleza al convertir la materia vegetal muerta en el humus y contribuir así al reciclaje de nutrientes e incremento de la fertilidad del suelo.

La dieta xilófaga es considerada primitiva y

conservada por la mayoría de las termitas inferiores, son responsables de causar severos efectos negativos en la economía humana por ocasionar daños en árboles y maderas, constituyendo severas plagas en construcciones edilicias y elementos confeccionados con la misma. En general son de difícil erradicación ya que no son visibles externamente hasta que la infestación está avanzada. Las obreras producen los daños al roer con sus mandíbulas para alimentarse y construir galerías, si bien la mayoría de las especies consumen el alimento “in situ”, otras construyen túneles o galerías alimentarias que salen del nido principal en búsqueda del mismo. De acuerdo al contenido de humedad de la madera que atacan se clasifican en: de la madera seca, de la madera húmeda y subterráneas formadoras de montículos (Torales, 1998).

• **Familia Kalotermitidae** (termitas de la madera seca)

De hábitos crípticos y consideradas las más primitivas por su morfología, organización social y nidificación. Los nidos consisten en un sistema irregular de galerías interconectadas excavadas discretamente en el interior de la madera -de preferencia blanda- de árboles vivos o muertos, la cual constituye su fuente nutricia. Las colonias son pequeñas y requieren poca humedad para sobrevivir la cual obtienen de la madera o de los procesos metabólicos. Forman pellets fecales de forma ovalada que son excedentes de madera masticada no degradada y aglomerada con las deyecciones, los cuales son acumulados en el interior de las galerías y ocasionalmente son expulsados junto con aserrín al exterior por perforaciones pequeñas circulares u ovaladas.

*Daños:* El ataque es muy difícil de detectar a tiempo ya que generalmente no hay evidencia externa del mismo, sólo cuando expulsan pellets fecales y aserrín. Los daños son ocasionados por el roído superficial hasta la destrucción total de la madera, quedando prácticamente pulverizada y sin resistencia mecánica. Si son detectados a tiempo son fáciles de erradicar ya que los nidos se instalan dentro de las viviendas (Torales et al., 2005).

• **Cryptotermes brevis** (Walker, 1853) (termita de los muebles)

Los adultos alados son de color castaño claro, cabeza castaño y presencia de ocelo. Soldados escasos, de color blanquecino, con la cabeza oscura y aplanada y mandíbulas relativamente pequeñas. Es considerada como una de las plagas estructurales más destructivas en otros países, pero en la Argentina su ataque sólo fue constatado en la provincia de Corrientes. Distribución: nativa de la región Neotropical y actualmente extendida en los trópicos y subtropicos de todo el mundo (Coronel et al., 2014).

• **Familia Rhinotermitidae** (termita de la madera húmeda)

Las colonias son pequeñas y muy dependientes de la humedad. Realizan nidificaciones difusas y discretamente bajo tierra, generalmente en zonas de jardines próximos a edificios o viviendas. Los nidos consisten en cámaras y galerías subterráneas siempre en relación a leños, raíces, troncos secos o piezas de madera sana o en descomposición dispuestas sobre el suelo húmedo.

Para acceder a maderas que no están en contacto con el suelo, las obreras construyen túneles con tierra y madera parcialmente digerida que cementan con sus excretas, lo que les permite además conservar cierto tenor de humedad en la madera atacada. No han sido registradas para la provincia de Buenos Aires.

*Daños:* Son las más peligrosas por el tipo de nidificación, difíciles de detectar y de erradicar (Torales, 1998).

• **Heterotermes longiceps** (Snyder, 1924)

Soldados con el borde del pronoto piloso, notablemente dimórficos en cuanto al tamaño, con mandíbulas castaño oscuro. Coloniza troncos en descomposición y huecos de ramas secas. Cuando invaden edificios ocasionan daños considerables como así también en piezas de patrimonio histórico cultural con infestaciones en museos y talleres de artesanía. Distribución: región Neotropical.

• **Heterotermes tenuis** (Hagen, 1858)

Soldados semejantes a la especie anterior, con la superficie del pronoto piloso. Ataca distintos objetos de edificación, libros diarios, debajo de corteza y árboles vivos. En cultivos puede atacar simultáneamente la misma planta con *H. longiceps*. Distribución: región Neotropical.

• **Familia Termitidae** (termitas subterráneas formadoras de montículos y arbóreas) (Lámina 1, Figs. 5 y 6)

Las nidificaciones subterráneas son realizadas en varias etapas, la primera es hipógea, luego semihipógea, semiepígea y finalmente epígea. Se alimentan de madera, humus o suelo, para lo cual realizan tubos con excrementos y secreciones, que se tornan ascendentes al encontrar obstáculos tales como cimientos y muros. No dejan “aserrín” ni forman “pellets fecales” ya que los excrementos son muy húmedos y quedan dentro de la madera atacada. Las nidificaciones arbóreas son construidas con cartón, el cual es elaborado por las obreras con madera y heces.

Se localizan en la base del tronco, huecos, ramas primarias y secundarias, establecen contacto entre el suelo y los distintos sectores del árbol se mediante túneles o pasadizos cubiertos construidos con el mismo cartón o con tierra (Torales, 1998).

*Daños:* Las especies subterráneas forman nidos primarios fuera de edificaciones a las que luego acceden a través de tuberías, o conducciones eléctricas, fisuras, rajaduras, etc., para fundar nidos secundarios donde siguen construyendo tubos de alimentación y atacando las maderas disponibles. Ocasionalmente severos perjuicios en viviendas, edificios y monumentos históricos (Torales, 1998). (Lámina 2, Figs. 2, 3 y 4).

• **Amitermes amifer** Silvestri, 1901

Soldados con mandíbulas bien desarrolladas con un diente interno y con una glándula cefálica que secreta sustancias repelentes que abre en una fontanela circular en la frente. Construyen nidos subterráneos y montículos, pero también fue hallada en troncos muy degradados semienterrados, árboles vivos (poco frecuente) y postes. Por medio de tubos de alimentación alcanzan las viviendas y edificaciones donde se alimentan de madera triturada y detritos vegetales. Distribución: región Neotropical (Cuezzo, 2005).

• **Nasutitermes corniger** (Motsschulky, 1855)

Soldados “nasuti” que poseen una proyección frontal donde desemboca una glándula de defensa. Construyen nidos arbóreos de tamaño mediano, de aspecto papiráceo, 3-10 m. sobre el nivel del suelo. Considerada la de mayor incidencia económica ya que es muy frecuente en domicilios y construcciones donde ataca maderas y paneles de cartón prensado, además fue hallada en árboles verdes y secos. Distribución: región Neotropical.

• **Microcerotermes strunkii** (Sørensen, 1884)

Soldados con mandíbulas prominentes y bien desarrolladas. Se alimenta de madera dura. Construyen pequeños nidos de cartón de tamaño mediano, de superficie rugosa y aspecto vermicular, con cámaras muy irregulares, túneles muy finos que forman un reticulado (Torales y Coronel, 2004). Distribución: región Neotropical.

• **ORDEN HYMENOPTERA** (del latín hymeno = membrana y ptera = ala)

Insectos de tamaño pequeño a grande, 0.3-120mm, color y forma variable, con aparato bucal masticador los más primitivos, lamedor los más evolucionados. Su nombre alude a la presencia de dos pares de alas membranosas, hialinas. La mayoría

con un pedicelo o cintura formada por el segundo segmento abdominal. Hembras con el ovipositor funcional en forma de sierra, terebra o transformado en órgano de defensa (aguijón) y asociado a una glándula de veneno. Holometábolos, las larvas en los más primitivos con seis a ocho pares de patas, en los más evolucionados ápodas y vermiformes. Solitarios, semisociales o eusociales. Estos últimos forman colonias perennes con solapamiento de generaciones, división reproductiva del trabajo y cuidados parentales. Sus individuos se comunican y reconocen entre sí mediante feromonas, compuestos químicos que están implicados en la regulación de las castas, la integración social y división del trabajo.

Las familias relacionadas con daños en madera elaborada en la República Argentina pertenecen a las familias Formicidae y Apidae. No se alimentan de la madera sino que nidifican y construyen galerías produciendo un perjuicio para la misma.

• **Familia Formicidae (hormigas)**

La mayoría son eusociales y forman colonias integradas por una a varias reinas y machos fértiles y alados; obreras estériles y ápteras, las cuales están encargadas de la alimentación, defensa, reparación del nido, cuidado y atención de las crías y la reina. La mayoría de los nidos son subterráneos y están formados por túneles y cámaras interconectados, también los realizan en maderas, debajo de piedras o troncos, tallos y huecos de árboles. Pocas especies son nómadas y no construyen estructuras permanentes.

Comprenden un grupo ecológico muy diverso y dieta alimenticia variada: fitófagas, nectarios, depredadoras u omnívoras. Algunas especies son consideradas plagas debido a la capacidad adaptativa de sus colonias, la modificación de sus hábitats, aprovechamiento de recursos y a su defensa, que las hace difíciles de erradicar y eliminar. Están distribuidas prácticamente en todas las regiones del mundo, en la región Neotropical están representadas el 40% de la mirmecofauna mundial (Cuezzo, 1998).

Las dos especies aquí citadas pertenecen al género *Camponotus* y se conocen como hormigas carpinteras, son omnívoras ya que se alimentan de animales y vegetales construyendo en ocasiones sus nidos en la madera de construcciones.

• **Camponotus punctulatus** (Mayr, 1868) (hormiga carpintera) (Fig. 1-G)

Tamaño mediano, 0.6-1.9 cm, coloración negro o grisáceo oscuro con bandas gris claro en el abdomen. Son omnívoras con mandíbulas robustas para alimentarse de vegetales, animales vivos y muertos. Construyen sus nidos en la madera de edificaciones, aunque también en el suelo en ecosistemas rurales.

Distribución: nativa de la República Argentina.

*Daños:* Es la hormiga más frecuentemente hallada en edificaciones a las que acceden por alambrados, ramas en contacto con las paredes, estableciéndose en ventanas, marcos, techos, etc. Construyen los nidos en madera de aspecto limpio y liso, realizan galerías en el sentido de la veta de la madera y llevan los restos de la excavación al exterior formando pequeños montículos que delatan su presencia (Ricci et al., 2005).

- **Camponotus mus** (Roger, 1863) (hormiga carpintera)

Tamaño mediano, hasta 0.9 cm; cabeza y tórax de color negro opaco y abdomen aterciopelado pardo amarillento. Vive en llanuras y áreas boscosas y nidifica en troncos de madera blanda y húmeda. Sus hormigueros no están en un solo lugar, ya que poseen localizaciones múltiples, distribuyéndose en dos o tres árboles o en varias viviendas, en estas últimas prefiere lugares húmedos y con filtraciones de los techos, generalmente entre el machimbre y la cubierta externa (Kusnezov, 1951). Distribución: región Neotropical.

*Daños:* Son de predadoras, pueden alimentarse de las larvas de “bicho taladro” motivo por el cual es común que nidifiquen en madera donde se encuentran las mismas, la cual van ahuecando y eliminando excrementos semejante a virutas de distinto tamaño (Strang y Kigawa, 2009).

#### • Familia Apidae

Esta familia agrupa a las abejas que son consideradas las más importantes polinizadores de Angiospermas. Dentro de la misma, los miembros de la subfamilia Xylocopinae son denominados abejas carpinteras debido a su preferencia por nidificar en la madera, aprovechando muchas veces agujeros de troncos o cavidades de cañas, tallos con médula blanda y madera de construcción dura y maciza como pino o eucaliptus.

Los nidos constan de una o varias galerías adyacentes, excavadas con las mandíbulas cortas y dentadas, conectadas con el exterior por medio de una entrada de forma circular o elíptica. Son solitarias o con comportamiento semi social donde la hembra fundadora del nido convive por un tiempo con la progenie y en algunos casos se establecen nidos con dos o más hembras en los que se presenta división del trabajo. En general no causan mayor

daño a las estructuras cuando son atacadas por pocos individuos ya que los túneles suelen ser superficiales. Distribución: región Neotropical.

- **Xylocopa Latreille** (abejas carpinteras grandes o abejorros)

De tamaño mayor a 2 cm, aspecto similar al de los abejorros (*Bombus* sp.) del que se diferencian por ser de color negro, verde o azul metálico y a menudo con pubescencia en tórax, patas y abdomen a excepción de la superficie dorsal; en algunas especies los machos pueden ser castaño claro. Nidifican en madera dura, maciza, decadente de árboles muertos, troncos caídos, cañas o madera de construcción como pino o eucaliptus. Los nidos constan de una o varias galerías adyacentes excavadas con las mandíbulas, donde se disponen celdas de cría provistas de polen y néctar. Se conectan con el exterior por medio de una entrada de forma circular o elíptica. Pueden convertirse en plagas económicas si su anidación tuviera lugar en maderas estructurales. Tres especies son las de mayor incidencia (Lucia et al., 2014)

- **Xylocopa (Neoxylocopa) augusti Lepeletier**, 1841 (Lámina 1, Fig. 8)

De tamaño grande aproximadamente 2,6 cm; coloración de cuerpo negro contrastando con la conspicua franja lateral de pubescencia ferruginosa en el abdomen.

- **X. (Neoxylocopa) frontalis** (Olivier, 1789)

De tamaño grande aproximadamente 3 cm; coloración de cuerpo negro con notorias bandas ferruginosas sobre el dorso del abdomen.

- **X. (Schonherria) splendidula Lepeletier**, 1841

De tamaño mediano a pequeño, aproximadamente 1,6 cm, y coloración de cuerpo negro con fuertes tintes azules.

*Daños:* La actividad cavadora de un par de abejas carpinteras en una madera es leve, pero de varias durante algunos años puede llegar a significar un daño considerable. A menudo atacan marcos de puertas y ventanas, aleros, y maderas en exteriores. La infestación se detecta al observar los agujeros que hacen en la madera y por la presencia de aserrín cayendo desde los mismos que son las entradas de las galerías. Rara vez atacan a la madera pintada o barnizada (Lucía et al., 2014). ) (Lámina 2, Fig. 6).

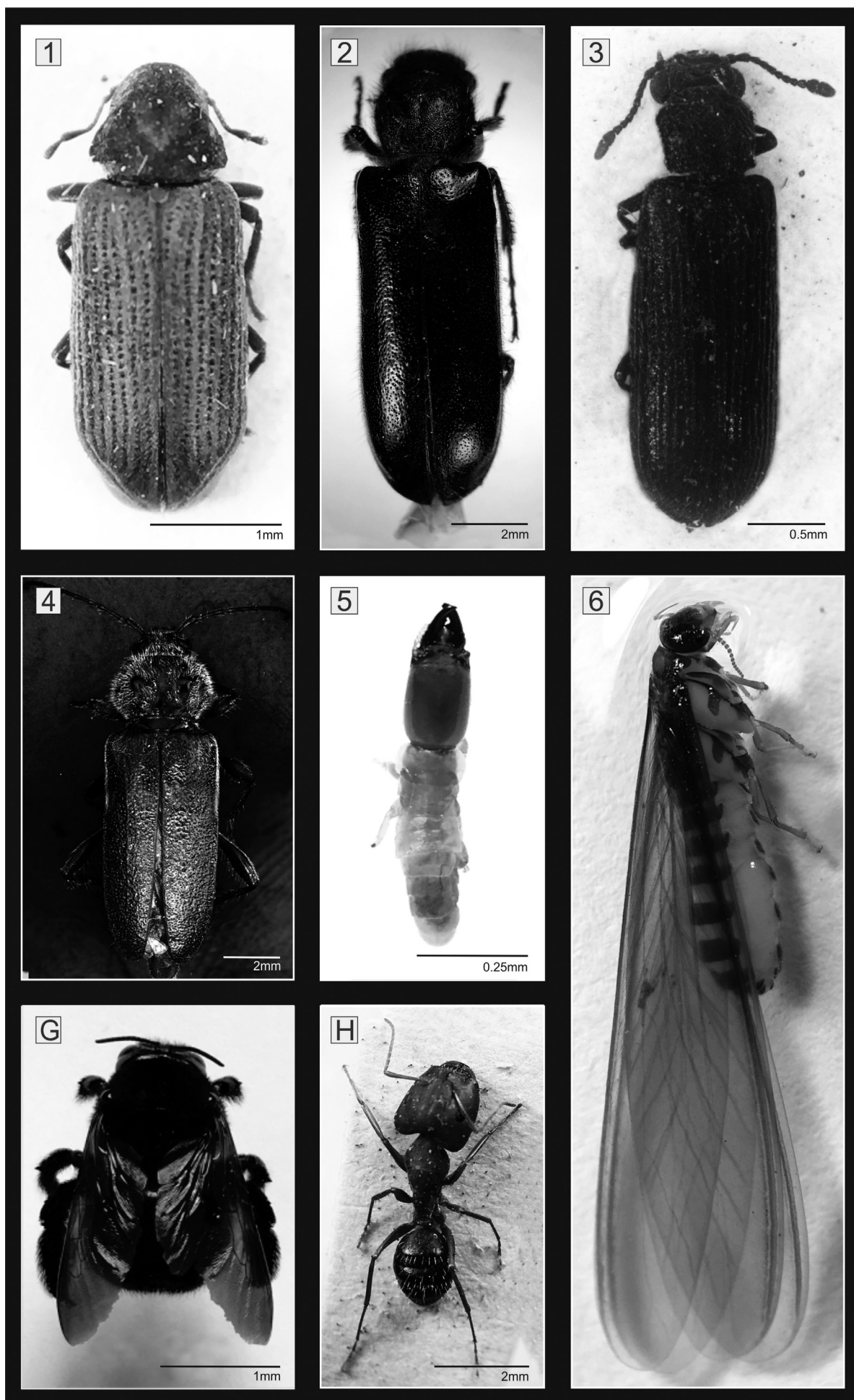


Lámina 1. Figura A) *Anobium punctatum* adulto vista dorsal; Figura B) *Polycanon chilensis* adulto vista dorsal. Figura C) *Lyctus brunneus* adulto vista dorsal; Figura D) *Hylotrupes bajulus* adulto vista dorsal; Figura E) Termitidae soldado vista dorsal; Figura F) Termitidae adulto alado vista lateral; Figura G) *Camponotus punctulatus* adulto vista dorsal; H) *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *augusti* adulto vista dorsal.

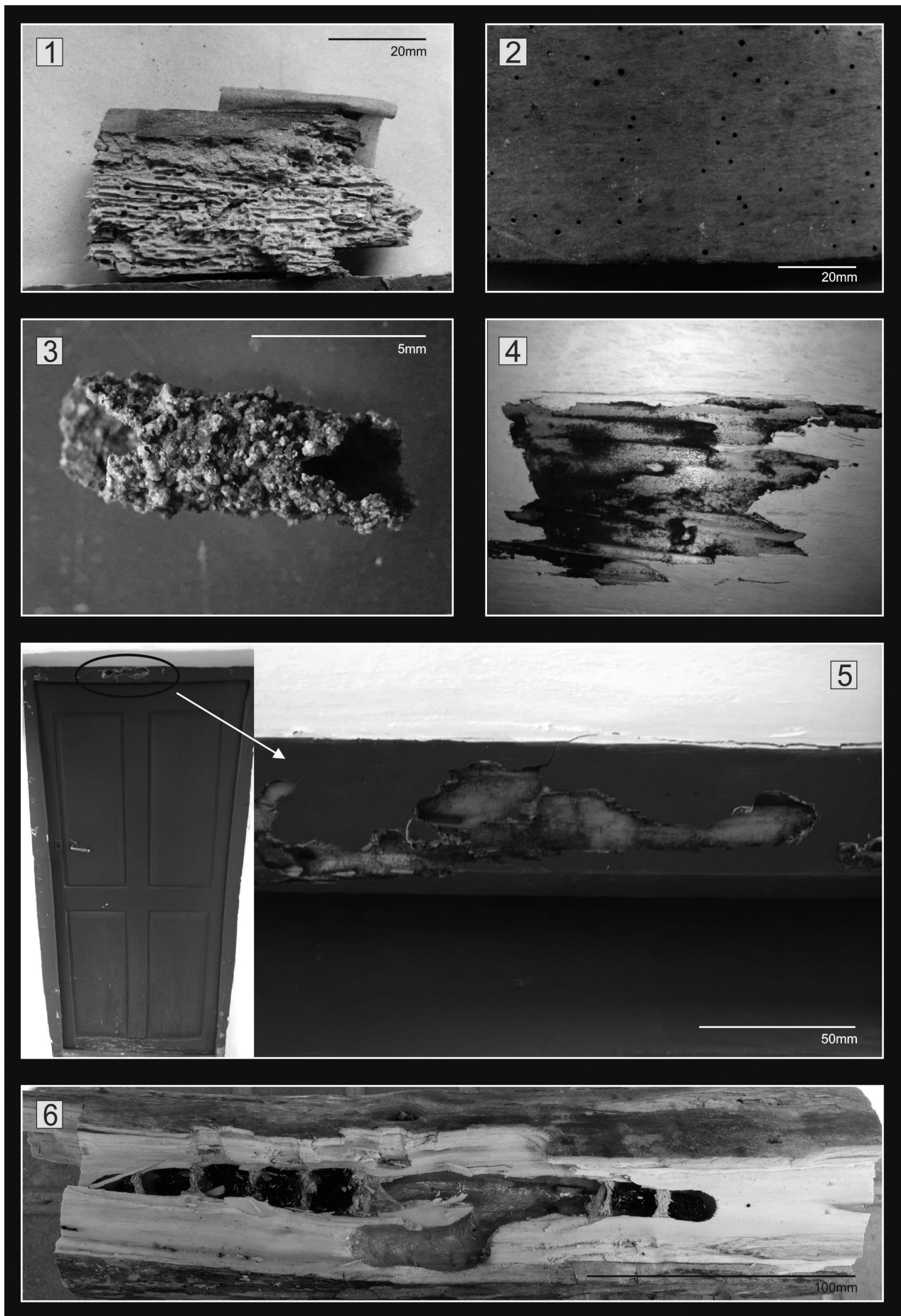


Lámina 2. Figura 1) Daño causado por *Anobium punctatum*; Figura 2) Orificios de emergencia de *Anobium punctatum*; Figura 3). Tubo alimenticio de *Termitidae*; Figura 4). Daños y tubos alimenticios en un techo causados por *Termitidae* (Foto Dra. A. Igareta); Figura 5). Daños en una puerta y el detalle causados por *Termitide*; Figura 6). Daños en un tirante causado por *Xylocopa* sp.(Foto Dr. M. Lucía)

## CONSIDERACIONES FINALES

En general el estudio de los daños que provocan las especies xilófagas como así también su control y metodologías a aplicar, tienen que incluir además un análisis de la contaminación del ambiente y un diagnóstico de las alteraciones (Igareta y Mariani, 2015). Los métodos empleados para prevenir el biodeterioro deben considerar tanto la inhibición del crecimiento de los organismos y su actividad metabólica, como la modificación de las características del ambiente donde se desarrolla el proceso de deterioro.

En general los protocolos de actuación deben considerar los siguientes ítems: identificación de las zonas afectadas y condiciones del entorno como así también aquellas de máximo riesgo de ser atacada; identificación de las especies xilófagas que afectan a la zona concreta; estudio de las medidas de control más adecuadas (protocolos de actuaciones aprobados); estado de las estructuras afectadas por xilófagos; realización de los seguimientos que garanticen la efectividad de los tratamientos efectuados; protección preventiva de la madera.

## BIBLIOGRAFIA

- Brewer, M. M y Sosa, C. A. (1996). Insectos en bibliotecas y archivos. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy. 6 (35), 39-45.
- Brugnoli, H. C. (1980). Plagas Forestales. Zoofitófagos que atacan a las principales especies forestales naturales y cultivadas en la República Argentina. Argentina: Hemisferio Sur. 216 pp.
- Cannon, K. F. & Robinson, W. H. (1981). Wood consumption and growth of *Hylotrupes bajulus* (L.) larvae in the environments. Environmental Entomology. 10, 458-461.
- Ciro Díaz, W., Anteparra, M. y Hermann, A. (2008). Dermestidae (Coleoptera) en el Perú: revisión y nuevos registros. Revista Peruana de Biología. 15(1), 15-20.
- Coronel, J. M., Laffont, E., Godoy, C., Etcheverry, C. & Obregón, M. (2014). New distribution record of *Cryptotermes brevis* (Isoptera, Kalotermitidae) in Argentina. Acta biológica Colombiana. 19 (2), 305-308.
- Cuezco, C. (2005). Citas nuevas de Isoptera para el Chaco semiárido argentino. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina. 64 (1-2), 106-108.
- Cuezco, F. (1998). Formicidae. En: Biodiversidad de Artrópodos Argentinos. Una Perspectiva Biotaxonómica. Morrone, J. J. y S. Coscarón (Ed.) Ediciones Sur. 1, 452-462.
- Igarreta, A. y Mariani, R. (2015). Acciones de conservación preventiva en depósitos de la División Arqueología del Museo de La Plata. Revista Conversa Voces en la Conservación. 3 (1), 95-104.
- Kusnezov, N. (1951). El género *Camponotus* en la Argentina (Hymenoptera: Formicidae). Acta Zoológica Lilloana. XII, 183-252.
- Lucía, M., Álvarez, L. J. & Abrahamovich, A. H. (2014). Large carpenter bees in Argentina: systematics and notes on the biology of *Xylocopa* subgenus *Neoxylocopa* (Hymenoptera: Apidae). Zootaxa. 3754 (3), 201-238.
- Mariani, R. y Igarreta, A. (2014). Avances en el registro de agentes de biodeterioro de material arqueológico y estrategias básicas implementadas para su control Actas Reunión sobre Biodeterioro y Ambiente de la Provincia de Buenos Aires, 6 pp.
- Peters, B. C., Creffield, J. W. & Eldridge, R. H. (2002). Lyctine (Coleoptera: Bostrichidae) pests of timber in Australia: A literature review and susceptibility testing protocol. Australian Forestry. 65 (2), 107-119.
- Pinniger, D. & Winsor, P. (2001). Integrated pest management. A guide for museums, libraries and archives. England: Museum Library and Archives Council. 40 pp
- Ricci, M., Benítez, D., Padín, S. y Maceiras, A. (2005). Hormigas argentinas: comportamiento, distribución y control. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 27 pp.
- Ripa, R. y R. Luppichini (2004). Coleópteros xilófagos presentes en la madera en servicio en Chile. En: Termitas y otros insectos xilófagos en Chile: especies, biología y manejo. Ripa, R. y P. Luppichini (Eds.) Colección Libros INIA 11: 19-39.
- Rojas, E. y Gallardo, R. (2004). Manual de insectos asociados a maderas en la zona sur de Chile. Servicio agrícola y ganadero, División protección agrícola. Proyecto vigilancia y control de plagas forestales. Ministerio de Agricultura de Chile. 65 pp.

- Strang, T. y Kigawa, R. (2009). Combatiendo las plagas del patrimonio cultural. (Iccrom, Trad., ed. español.). Ottawa, Canadá: Canadian Conservation Institute. 76 pp. Recuperado de: [http://www.cncr.cl/611/articles-56474\\_recurso\\_6.pdf](http://www.cncr.cl/611/articles-56474_recurso_6.pdf)
- Torales, G. J. (1998). Isoptera En: Biodiversidad de Artrópodos Argentinos. Una Perspectiva Biotaxonómica. Morrone, J.J. y Coscarón, S. (Ed.). Ediciones Sur. 1, 48-66.
- Torales, G. J. & Coronel, J. M. (2004). Qualitative and quantitative composition of colonies of *Microcerotermes strunckii* Sörensen (Isoptera, Termitidae). *Sociobiology*. 43 (3), 523-34.
- Torales, G. J., Laffont, E. R., Godoy, M. C., Coronel, J. M. & Arbino, M. O. (2005). Update on taxonomy and distribution of Isoptera from Argentina. *Sociobiology*. 45 (3), 853-886.
- Yela J. L. (1997). Insectos causantes de daños al patrimonio histórico y cultural: caracterización, tipos de daño y métodos de lucha (Arthropoda: Insecta). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*. 20, 111-122.



# DURABILIDAD DE LAS MADERAS

*Dra. Ing. Ftal. Spavento E., Lic. Biol. Murace M.<sup>1</sup>*

## **Durabilidad de las maderas: definición y factores determinantes**

La expresión “durabilidad de las maderas” refiere a la capacidad intrínseca de las maderas para resistir el ataque de hongos, bacterias, insectos y perforadores marinos como también el desgaste químico, mecánico y el intemperismo [1]. Distintos autores limitan su significado a la resistencia al ataque biológico como también al ataque fúngico que posee este material [2, 3, 4]. Eaton & Hale (1993, tomado de [3]) definen la durabilidad natural como la resistencia a la degradación que presentan ciertos durámenes.

La durabilidad es una propiedad altamente variable entre especies, producto de sus rasgos químico-anatómicos y entre individuos de una misma especie, producto del potencial genético de cada uno de ellos, de las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrollan, del tratamiento silvicultural al que están expuestos, entre otros. La durabilidad, además, varía dentro de un ejemplar; aumenta en sentido radial, hacia el duramen externo y, en sentido axial, hacia la base del fuste [5].

Los extraíbles de la madera, presentes a modo de depósitos en los lúmenes celulares y de compuestos que impregnan las paredes, contribuyen con la durabilidad [6]. Los extraíbles de naturaleza fenólica y los compuestos derivados de los terpenoides son considerados los principales responsables de la resistencia de las maderas al ataque biológico [7,1,8].

Los extractivos también limitan la permeabilidad y humectación de las maderas, tornándolas un sustrato menos favorable para el biodeterioro, en particular el de origen fúngico, deterioro frecuente y notablemente agresivo en la madera en servicio [9]. Asociado a esto, los contenidos también limitan los fenómenos de contracción e hinchamiento [10], cambios dimensionales que en caso de ser acentuados y recurrentes conducen a la generación de grietas/hendiduras/vías de entrada para los agentes bióticos de deterioro y para la acción en profundidad de los agentes atmosféricos (intemperismo). En el campo del tratamiento químico de las maderas, los extraíbles disminuyen la impregnabilidad del material, rasgo

que se utiliza como orientativo de la clase de durabilidad [11]. Además, muchos de estos depósitos (cristales, resinas, bolsas de kino) contribuyen con la dureza del leño atenuando el desgaste mecánico [12]. Respecto de la lignina, su disposición alrededor de los carbohidratos de la pared y difícil biodegradación (los hongos responsables de pudrición blanca son los únicos capaces de lograr la completa mineralización o transformación de la lignina en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O) determinan su rol de “barrera química protectora” de la fracción polimérica más susceptible (celulosa y hemicelulosas) [13]. Dichos aspectos sumados a una elevada cantidad y/o concentración de lignina y al tipo predominante (la lignina tipo guayacil es considerada la más resistente) contribuyen positivamente con la durabilidad de las maderas [9, 13, 14, 15].

La cantidad de albura presente en una pieza de madera afecta la durabilidad. La albura es altamente susceptible a las distintas formas de deterioro. La ausencia de los extractivos típicos del duramen y la presencia de carbohidratos contribuyen con ello, particularmente frente al deterioro biológico. Los azúcares libres favorecen la reproducción de ciertos insectos xilófagos y la colonización fúngica [5]. Debido a que la edad de los individuos influye en el contenido de extraíbles y volumen de duramen, dicho rasgo suele ser considerado un factor determinante de la resistencia al deterioro [1]. Otros aspectos relacionados con la susceptibilidad de la madera al biodeterioro son: altos porcentajes de nitrógeno; el tratamiento de la madera húmeda con calor (el calor volatiliza o desnaturaliza sus extractivos); la exposición a la radiación gama; exposición a una excesiva humedad (la humedad puede provocar el lavado de los extractivos tóxicos hidrosolubles, los cuales también pueden ser detoxificados por acción fúngica); los bajos valores de crecimiento y consecuente mayor proporción de leño tardío aportan resistencia al deterioro [1].

## **Importancia de conocer la durabilidad de las maderas**

Conocer la durabilidad de las maderas (tanto maciza como la de los productos derivados de la

<sup>1</sup> Laboratorio de Investigaciones en Maderas (LIMAD) Facultad Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP

madera: tableros<sup>2</sup>) permite utilizarlas en una clase/situación de uso acorde a su capacidad resistente. El uso adecuado de las maderas evita los costos que implican su reposición como también permite preservar el recurso, consecuencia del aumento de su vida útil en servicio [16].

### **Métodos de evaluación de la durabilidad de las maderas**

La durabilidad de las maderas o productos derivados puede ser estimada mediante ensayos en laboratorio y a campo. Ambos métodos son ampliamente utilizados para llevar a cabo este tipo de determinaciones y su establecimiento está estandarizado. Los resultados obtenidos en laboratorio orientan acerca de la durabilidad que habría de esperarse para una madera en una situación de uso considerada extrema (uso exterior, sin protección, por encima del suelo; madera en contacto con el suelo). Los ensayos a campo permiten estimar la vida útil de una madera en una determinada ubicación geográfica. Si bien los resultados obtenidos por ambas metodologías suelen ser equivalentes, sólo aquellos provenientes de ensayos a campo pueden ser considerados verdaderamente confiables [8, 17, 18].

A nivel mundial, las normas europeas (EN) y americanas (ASTM: American Standard of Testing Materials; AWWA: American Wood Protection Association) son las que frecuentemente se aplican para estimar la durabilidad de las maderas. A modo de ejemplo, en la Norma española UNE-EN (350) [11] son citadas las normas de consulta a considerar para la determinación, en laboratorio, de la resistencia de las maderas y productos derivados frente a los agentes biológicos. Esta norma aporta además consideraciones en torno al muestreo, características y repeticiones del material a ensayar, especies xilófagas a emplear como también una escala clasificatoria de clases de durabilidad (CD) para cada tipo de ensayo.

En nuestro país, la Norma IRAM 9518 [19] propone una metodología que permite determinar la durabilidad natural y adquirida de las maderas (maderas tratadas químicamente) como también la toxicidad y permanencia de un preservante. En este último caso, la madera tratada es expuesta a intemperismo simulado en laboratorio (10 ciclos sucesivos de lavado, estacionamiento a temperatura de 25 °C y calentamiento en estufa a 50 °C). Esta particularidad de los preservantes debe tenerse en cuenta al momento de definir el uso de la madera tratada; su pérdida por lavado puede conducir a caídas en su concentración por debajo de los niveles requeridos para contrarrestar el biodeterioro. Un producto puede ser tóxico, pero no permanente como lo son aquellos con boro en su composición

[20, 21], característica que limita la situación de uso del material.

### **Hongos xilófagos como principales agentes de deterioro**

Los hongos xilófagos provocan el tipo de deterioro más agresivo en la madera en servicio. Estos organismos colonizan y degradan eficientemente la madera en períodos de tiempo relativamente cortos. Su fase vegetativa miceliar y capacidad para sintetizar un sistema enzimático ectocelular especializado para la descomposición de la fracción polimérica de la pared contribuyen con ello [22]. El ataque a la matriz lignocelulósica provoca la alteración de las propiedades físico-mecánicas del material debido a la estrecha relación entre ellas. La naturaleza de la celulosa y lignina, el tipo de enlaces entre sus componentes, su organización espacial y grado de polimerización determinan el comportamiento de las maderas. La lignina aporta resistencia a la compresión y rigidez; su contenido afecta la densidad. La celulosa (en particular su disposición respecto del eje longitudinal de las células o ángulo microfibrilar) contribuye con la resistencia a la tracción, a la flexión y con la estabilidad dimensional. De acuerdo con ello, a modo de generalidad, las maderas afectadas por este tipo de deterioro reducen su masa (peso), volumen (en particular aquellas expuestas a pudrición castaña) y consecuentemente su densidad; alteran su higroscopicidad (inicialmente cambios vinculados con el ataque a los sectores para-cristalinos de las fibrillas, luego con la exposición de los grupos oxidrilos de la celulosa cristalina); se tornan más inestables (acentúan los cambios dimensionales); aumentan su permeabilidad (por la destrucción de las punteaduras y los agujeros que generan los hongos en la pared); disminuyen su capacidad resistente (la dureza y la flexión dinámica son las más afectadas, en particular en las etapas iniciales del proceso de degradación causado por hongos de pudrición castaña, pérdida no proporcional con la pérdida de masa, asociada a la degradación de la holocelulosa), entre otros perjuicios [1, 23, 24, 25, 26]. La intensidad de estos cambios y la consecuente vida útil de una madera dependerá del tipo de leño (características químico-anatómicas), de la propiedad considerada, tipo de pudrición y especie fúngica responsable, de la aplicación/del uso/de la función que se le esté dando a dicha madera y de la situación de uso [1].

### **Durabilidad adquirida**

La durabilidad adquirida es la resistencia que presenta una madera tratada con un producto protector aplicado mediante tratamiento preservante [27].

### **Métodos tradicionales de protección**

Los tratamientos preservantes son aplicados a la

madera con la finalidad de aumentar su vida útil en servicio. Los métodos más empleados, por su mayor efectividad, son los que implican impregnación profunda. Este tipo de tratamiento es particularmente considerado cuando la situación de uso de una madera se corresponde con las clases 3, 4 y 5, donde existan riesgos de humedad, o del ataque de termitas (si correspondiera en la zona) [28]. La norma UNE-EN 460 [29] establece un cuadro guía de tratamientos según clase de riesgo-clase de durabilidad de la madera.

Los tratamientos en autoclave, empleando diversos períodos de vacío y presión según el método, son los únicos de carácter industrial que pueden garantizar la penetración y retención apropiada del producto protector, logrando con ello una eficacia preventiva permanente [28]. Entre ellos, el más utilizado en Argentina es el método de Bethell, también conocido como “célula llena”, ya que se consigue llenar las cavidades celulares con solución preservante, logrando así retenciones máximas [28, 30].

### **Productos químicos y procesos tradicionales de protección de madera**

Tradicionalmente, el área de la protección de la madera estuvo caracterizada por la utilización de productos químicos con distinto grado de toxicidad y especificidad, dependiendo de la clase de riesgo a la que fuera expuesta la madera. En Argentina, el producto más utilizado para impregnación es el CCA (Arseniato de Cobre Cromatado), sal hidrosoluble, no lixiable y de alta efectividad preservante. En Uruguay la situación es similar en cuanto a la aplicación de este preservante, aunque se tiende a su restricción para madera en contacto con personas, animales o alimentos (Ibañez, 2018-comunicación personal). En Europa su utilización se encuentra restringida desde el año 2004 [28] y prácticamente prohibida en la actualidad (Acuña, 2018-comunicación personal). En todos los casos, su uso es cuestionado, principalmente, por los efectos nocivos del arsénico para la salud humana y el medio ambiente.

Además del producto, otros parámetros son considerados para atender a las situaciones de uso: retención (cantidad de principio activo que queda en la madera, en Kg/m<sup>3</sup>), penetración (profundidad de ingreso del preservante), absorción bruta (cantidad total de solución preservante que ha ingresado en la madera al finalizar la etapa de presión y evacuación del autoclave) y absorción neta (cantidad real de solución preservante que ha quedado dentro de la madera al finalizar la etapa de vacío final). En la norma IRAM 9600 [31], se presentan los valores de retención por clase de riesgo, producto preservante y especie maderera.

### **Productos y procesos alternativos de protección de madera.**

Actualmente existe mucho interés en el reemplazo del CCA por soluciones más “amigables” con el medio ambiente y la salud humana, como así también por el desarrollo de nuevas formulaciones, basadas fundamentalmente en compuestos naturales, y por la implementación de otras alternativas de procesos [32], algunas de las cuales se describen a continuación.

### **Modificación térmica-termotratamiento**

En la búsqueda de alternativas de mejora tecnológica de la madera, de mayor sustentabilidad ambiental, diferentes líneas de acción hacia la modificación de las propiedades de la madera han sido encaminadas. Entre dichas líneas cabe mencionar a los métodos de termo-modificación o termotratamiento (TM), los cuales consisten en exponer a la madera a diferentes temperaturas (T°), tiempos y condiciones de atmósfera [33]. Dichos métodos constituyen una opción para incrementar, entre otras propiedades, la resistencia de la madera al biodeterioro [34].

Si bien el interés por el uso del TM data de hace varias décadas [34], en los últimos años este proceso ha sido reconsiderado, e incluso industrializado, como consecuencia de la creciente escasez de maderas con características tecnológicas apropiadas, del incremento de la demanda de materiales constructivos sostenibles, de la alta tasa de deforestación en particular de especies tropicales (y con durabilidad natural superior) y de las crecientes regulaciones gubernamentales para el uso de productos químicos [35].

De acuerdo con la norma UNE-CEN TS 15679 EX [36], la madera modificada térmicamente (MMT) es aquella en la cual la composición de las paredes celulares y las propiedades físicas se modifican por exposición a una temperatura mayor de 160 °C y a condiciones de disponibilidad reducida de oxígeno. La madera se modifica de tal forma que como mínimo algunas propiedades quedan alteradas de forma permanente, en toda la sección de la pieza. La norma UNE-EN 350 [11], considera a la MMT como un material derivado de la madera.

Entre las propiedades de la madera que son modificadas por este método, se destaca la durabilidad natural. Si bien los resultados encontrados en la bibliografía, mayoritariamente en madera de coníferas, son variables acordes al proceso empleado (temperatura, tiempos, humidificación, entre otros), los agentes biológicos y la especie maderera, las principales modificaciones asociadas al TM se encuentran principalmente relacionadas a transformaciones

químicas, producto de la degradación de los componentes de la pared celular y extractivos. Estas transformaciones, junto con la modificación del pH generarían un bloqueo/reducción de la actividad enzimática fúngica [34].

Las hemicelulosas constituyen el primer componente afectado, incluso a bajas T°. Su degradación comienza por desacetilación; la transformación catalizada por el ácido acético conlleva a la formación de formaldehído, furfural, entre otros, con la consecuente deshidratación y decrecimiento de los grupos hidroxilos de la hemicelulosa. Las moléculas de furfural junto con la lignina forman un sustrato complejo, no reconocido por las enzimas fúngicas, y a causa de ello, la mayor resistencia de la madera al deterioro fúngico [34, 37].

La celulosa es menos afectada por el TM. La degradación de la celulosa amorfa disminuye las zonas de mayor accesibilidad a la molécula de agua (zona paracristalina; grupos -OH), lo cual disminuye el contenido de humedad de equilibrio higroscópico y consecuentemente, el punto de saturación de las fibras (PSF), contribuyendo a la resistencia a la degradación fúngica [34, 37].

Respecto a la lignina, diversos autores sugieren que existe una reacción de policondensación con otros componentes de la pared celular, resultando en un sistema complejo (cross-linking) que contribuye a incrementar el “contenido aparente de lignina” Tjeerdsma and Militis, 2005; Boonstra and Tjeerdsma, 2006; Esteves et al., 2008b (tomado de [34]), mejorando de este modo la resistencia al biodeterioro [35]. Los extractivos, en su mayoría, desaparecen o se degradan durante el TM, especialmente los más volátiles, pero pueden aparecer nuevos componentes como resultado de la degradación de la fracción polimérica de la pared celular [34] interviniendo en la resistencia a la degradación [35].

La mayoría de los estudios relacionados con la resistencia al biodeterioro de la MMT, contemplan la resistencia a la degradación fúngica. Los estudios sobre insectos xilófagos son menos abundantes y con conclusiones menos promisorias [33,38,34,39,40,41].

### **Estudios en madera cultivada termotratada<sup>3</sup>**

Actualmente las investigaciones están orientadas a la aplicación TM a maderas de especies cultivadas como alternativa menos nociva para la mejora de diferentes propiedades tecnológicas. En esta instancia se abordarán las investigaciones establecidas en torno al TM como estrategia de mejora de las propiedades tecnológicas y de la durabilidad de *Populus x canadensis* (euramericana) I-214 (álamo) de origen español y argentino. En los ensayos realizados hasta la fecha se consideró la combinación

de 4 temperaturas (80-120-160-200 °C) y 4 tiempos (45-90-135-180 minutos). La durabilidad frente a hongos xilófagos (*Trametes versicolor*, agente de pudrición blanca y *Coniophora puteana*, agente de pudrición parda) fue determinada mediante pérdida de masa, PM (%) (CEN/TS 15083-1 [42]) y frente a termitas (*Reticulitermis grassei*) mediante grado de ataque (GA) (UNE-EN 117 [43]). La clase de durabilidad (CD) y de uso (CU) fue estimada en base a la norma UNE-EN 350 [11] y UNE-EN 335 [44], respectivamente.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que, en términos generales, el TM aplicado a madera del álamo I-214 presenta un comportamiento aceptable pero variable dependiendo del agente xilófago. En el caso de la pudrición blanca, el comportamiento de la MMT (PM %) a temperaturas más bajas (80° y 120°), contrariamente a lo expresado en la bibliografía [45, 46, 35, 34], mejoró su CU pasando de CU 1-2 (interior o bajo cubierta) [38] a CU 3 (exterior sin contacto con el suelo). Dicho comportamiento podría estar vinculado a la degradación de la lignina; a medida que la temperatura aumenta, la lignina es gradualmente degradada, lo cual facilita la colonización y degradación fúngica. En el caso de los hongos de pudrición parda, si bien el TM no mejoró la CU, se evidenció una mejora en la CD (de CD 5: no durable a CD 4: poco durable) con las temperaturas superiores (160°C y 200°C) y una reducción aproximada al 50% de PM (%) comparando la temperatura menos y más agresiva (80°C y 200°C, respectivamente). Dicho comportamiento podría estar relacionado con la menor concentración de grupos hidroxilos con capacidad de absorber agua (estos hongos atacan selectivamente celulosa y hemicelulosas; la lignina sólo es modificada por oxidación) [35, 34]. Para termitas el TM no logró mejorar la CD con respecto al testigo, según la evaluación visual (grado de ataque). La mayor disponibilidad de humedad en la MMT con temperaturas más bajas, podrían ser la causa de la mayor tasa de supervivencia de termitas. En este contexto, existen estudios con resultados contradictorios en cuanto a la facilidad de esta termita, de comportamiento subterráneo, para obtener agua directamente de la madera [47, 48]. Un análisis más exhaustivo considerando los CH (%) hallados en cada TM podría ayudar a entender dicho comportamiento.

### **Nanotecnología<sup>4</sup>**

La nanotecnología se ha definido como el desarrollo y aplicación de materiales, dispositivos y sistemas que se encuentran comprendidos en un rango de tamaños de 1 a 100 nm con nuevas propiedades y funciones debido a su tamaño y estructura. Esta disciplina tiene múltiples usos y aplicaciones, entre ellas, la protección de la madera [49, 50, 51, 52].

## Bibliografía

- 1.- Zabel, R.A. & Morrell, J.J. (1992). Wood microbiology. Decay and its prevention. (1° ed). California: Academic Press Inc., 476 pp.
- 2.- Acker, J.V.; Militz, H. & Stevens, M. (1999). The significance of accelerated laboratory testing methods determining the natural durability of wood. *Holzforschung*, 53, 449-458.
- 3.- Råberg, U.; Edlund, M.L.; Terziev, N. & Land, C.J. (2005). Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe – an overview. *Journal of Wood Science*, 51, 429–440.
- 4.- Plaschkies, K.; Jacobs, K.; Scheiding, W. & Melcher, E. (2014). Investigations on natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 1: Laboratory tests. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 90, 52–56.
- 5.- Taylor, A.; Gartner, B.L. & Morrell, J.J. (2002). Heartwood formation and natural durability. A review. *Wood and Fiber Science*, 34(4), 587-611.
- 6.- Bamber, R.K. & Fukazawa, K. (1985). Sapwood and heartwood: A review. *Forest Abstract*, 46(9), 567-580.
- 7.- Scheffer, T. & Cowling, E.B. (1966). Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Annual Review of Phytopathology*, 4, 147-168.
- 8.- Jebrane, M.; Pockrandt, M. & Terzie, N. (2014). Natural durability of selected larch and Scots pine heartwoods in laboratory and field tests. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 91, 88-96.
- 9.- Walker, J.C.F. (2006). Primary Wood Processing. Principles and Practice. (2° ed). Netherlands: Springer, 589 pp.
- 10.- Hillis, W.E. (1987). Heartwood and tree exudates. Germany: Springer-Verlag-Berlin Heidelberg, 268 pp.
- 11.- 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 de la madera y de los productos derivados de la madera. Asociación Española de Normalización. , 61 pp.
- 12.- Rivera, S.M. & Lenton, M.S. (1999). La xilología y las propiedades mecánicas de cinco maderas nativas argentinas. *Quebracho*, 7, 72-78.
- 13.- Blanchette, R.A. (1995). Degradation of the lignocellulose complex in wood. *Canadian Journal of Botany*, 73(Suppl. 1), 999-1010.
- 14.- Chávez-Sifontes, M. & Domine, M.E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15-46.
- 15.- Skyba, O.; Douglas, C.J. & Mansfielda, S.D. (2013). Syringyl-rich lignin renders poplars more resistant to degradation by wood decay fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(8), 2560–2571.
- 16.- Diaz, B.; Murace, M.; Peri, P.; Keil, G.; Luna, M.L. & Otaño, M. (2003). Natural and preservative treated durability of *Populus nigra* cv *Italica* timber grown in Santa Cruz Province, Argentina. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 52(1), 43-47.
- 17.- Meyer, L.; Brischke, C. Melcher, E.; Brandt, K.; Lenz, M.T. & Soetbeer, A. (2014). Durability of English oak (*Quercus robur* L.) – Comparison of decay progress and resistance under various laboratory and field conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 86, 79-85.
- 18.- Meyer, L.; Brischke, C. & Preston, A. (2014). Testing the durability of timber above ground: a review on methodology. *Wood Material Science & Engineering*, 11(5), 283-304.
- 19.- IRAM 9518. (1962). Toxicidad, Permanencia y Eficacia de Preservadores de Madera. Instituto Argentino de Normalización, 12 pp.
- 20.- Thévenon, M.F.; Tondi, G. & Pizzi, A. (2010). Environmentally friendly wood preservative system based on polymerized tannin-resin-boric acid for outdoor applications. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 12(3), 253-257.
- 21.- Murace, M.; Saparrat, M.; Maly, L. & Keil, G. 2016. Evaluación del comportamiento de soluciones con potencialidad funguicida mediante ensayos de biodegradación en laboratorio y FT-IR. *Ciencia e Investigación Forestal*, 22(2), 45-61.
- 22.- Gamauf, C.; Metz, B. & Seiboth, B. (2007). Degradation of plant cell wall Polymers by fungi. In: *The Mycota. IV Environmental and Microbial Relationships*. (2nd edit.). Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 325-340.
- 23.- Wilcox, W.W. (1978). Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. *Wood and Fiber*, 9(4), 252–257.

- 24.- Winandy, J. & Morrell, J.J. (1993). Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of Douglas – Fir heartwood. *Wood and Fiber Science*, 25(3), 278–288.
- 25.- Curling, S; Clausen, C.A. & Winandy, J.E. (2002). Experimental method to quantify progressive stages of decay of wood by Basidiomycetes fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 49, 13–19.
- 26.- 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*, 18(1,2), 37-46.
- 27.- Lebow, S. (2010). *Wood Preservation*. Chapter 15. Handbook. 328-356.
- 28.- Vignote Peña & Martínez Rojas. (2006). *Tecnología de la madera*. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. 678 pp.
- 29.- UNE-EN 460 (1995). Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Guía de especificaciones de durabilidad natural de la madera para su utilización según las clases de riesgo. Asociación Española de Normalización y Certificación. 12 pp.
- 30.- Andía, I.; Keil, G. (2004). Biodegradación y preservación de la madera. Procesos y Equipos. Universidad Nacional de Comahue. 12 pp.
- 31.- IRAM 9600. (1998). Preservación de maderas. Maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave. Instituto Argentino de Normalización. 23 pp.
- 32.- Singh, T.; Singh, A.P. (2012). A review on natural products as wood protectant. *Wood Sci. Technol.* 46, 851–870.
- 33.- Spavento, E.; G. Keil; M. Murace; C. Taraborelli; M.T. de Troya; L. Acuña. (2017). Termotratamiento en madera de Álamo como alternativa de mejora de su resistencia al biodeterioro. *Jornadas de Salicáceas 2017-“Oportunidades para el desarrollo productivo y energético de los álamos y sauces”-V Congreso Internacional de Salicáceas en Talca, Chile*. ISSN 1850-3543. Pp: 386-394.
- 34.- Esteves, B., Pereira, H. 2009. Wood modification by Heat treatment: a review. *BioResources* 4(1): 370-404.
- 35.- Boonstra, M. 2008. A Two-stage Thermal Modification of Wood. Ph.D. 299 pp.
- 36.- UNE-CEN TS 15679 EX (2018). Madera modificada térmicamente. Definiciones y características. Asociación Española de Normalización. 21 pp.
- 37.- Weiland, J.; Guyonnet, R. (2003). Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 61. 216-220.
- 38.- Spavento, E. 2015. Caracterización y mejora tecnológica de *Populus x euramericana I-214*, austral y boreal, con fines estructurales. Tesis doctoral. 380 pp.
- 39.- Westin, M.; Rapp, A.; Nilsson, T.(2006). Field test of resistance of modified wood to marine borers. *Wood Mater. Sci. Eng.* 1(1). 34-38.
- 40.- Nunes, L.; Nobre, T.; Rapp, A. (2004). Thermally modified wood in choice tests with subterranean termites. COST E37, Reinbeck.
- 41.- Militz H. (2002). Thermal treatment of wood: European Processes and their background. In: *International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes*, N° IRG/WP 02-40241.
- 42.- CEN/TS 15083-1. 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. 19 pp.
- 43.- UNE-EN 117:2012. Protectores de la madera. Determinación del umbral de eficacia contra las especies de reticulitermes (termitas europeas): método de laboratorio. 24 pp.
- 44.- UNE-EN 335:2013. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera. 16 pp.
- 45.- Esteves, B.; Domingos, I.; Pereira, H. 2007a. “Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200°C,” *For. Prod. J.* 57 (1/2): 47-52.
- 46.- Esteves, B.; Velez Marques, A.; Domingos, I.; Pereira, H. 2007b. “Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood,” *Wood Sci. and Technol.* 41:193-207.
- 47.- Ramirez, J.C.; Lanfranco, D. 2001. Descripción de la biología, daño y control de las termitas: especies existentes en Chile. *BOSQUE* 22(2): 77-84.

48.- Randall, C. 2000. Management of termites and other Wood destroying pest. Michigan State University, 114 pp.

49.- Silva-Castro, I.; Casado-Sanz, M.; Alonso-Cortés, Martín-Ramos, P.; Martín-Gil, J.; Acuña-Rello, L. (2018). Chitosan-based coatings to prevent the decay of *Populus* spp. wood caused by *Trametes versicolor*. *Coatings*, 8, 415. 15 pp.

50.- Goddio, M.F.; Mancini, S.; Gervasio, S.; López, G. (2013) Nanotecnología aplicada a la preservación de maderas 13º Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales. Simposio Internacional sobre materiales lignocelulósicos. 7 pp.

51.- Clausen, C. 2012. Enhancing Durability of Wood-Based Composites with Nanotechnology. General Technical Report FPL–GTR-218. p 8-12.

52.- Matsunaga, H.; Kiguchi, M.; Evans, P.D. (2009) Microdistribution of copper-carbonate and iron oxide nanoparticles in treated wood. *J Nanopart Res* 11:1087–1098



# ACCIÓN DEL BIOFOULING SOBRE MADERAS SUMERGIDAS

M. Pérez<sup>1,2</sup>, E. Gámez<sup>1</sup>, A. Paola<sup>1,2</sup>, G. Blustein<sup>1,3</sup>

El biofouling (o incrustaciones biológicas) se define como la acumulación de micro y macroorganismos sobre cualquier sustrato sumergido. Algunas de las numerosas especies que pueblan los mares y las aguas continentales son llevadas por las corrientes y deben encontrar una superficie dura para fijarse con el propósito de completar sus ciclos de vida. La escasez de sustratos duros naturales trae como consecuencia que cada espacio disponible sea disputado y cubierto por una variedad de organismos que buscan los sustratos tanto para su asentamiento como para alimento y refugio.

Dado que el biofouling es un proceso natural, afecta tanto a sustratos naturales como a estructuras que fueron sumergidas con alguna finalidad, como por ejemplo, boyas, pilotes, cables, cascos de embarcaciones, plataformas off-shore, cañerías, etc.

Esta comunidad se desarrolla y crece ocasionando graves pérdidas económicas como consecuencia de su fijación y el deterioro de los materiales. La fijación de la comunidad incrustante modifica la hidrodinámica de las embarcaciones generando un aumento en el consumo de combustible en los barcos, desestabiliza estructuras oceánicas sumergidas (por ejemplo, plataformas de extracción de gas y petróleo) como consecuencia del aumento del peso, puede disminuir drásticamente el intercambio de calor en torres de enfriamiento, bloquear tuberías e impedir la apertura y cierre de compuertas en centrales hidroeléctricas (Yebra et al., 2004).

Las características de la comunidad resultante, el espesor de la incrustación y el grado de biodeterioro dependen de diversos factores, fundamentalmente la naturaleza del sustrato (metal, madera, plástico, vidrio), la disponibilidad y diversidad de los colonizadores, la eficiencia de su fijación y los eventos bióticos/abióticos que ocurren durante y después de la fijación.

La fase larval es un importante factor de dispersión para los organismos bentónicos con una fase adulta sésil y se encuentra afectada por factores tales como

la duración de la fase nadadora, el comportamiento y la plasticidad fisiológica, todos ellos necesarios para adaptarse a cambios del entorno como temperatura del agua y variaciones en el pH (Scheltema, 1986, Wares et al., 2001). Los organismos adultos tienen potencialmente la capacidad de “navegar” grandes distancias adheridos a sustratos naturales u objetos artificiales tales como cascos de barcos comerciales y/o recreacionales o en el agua de balasto. Estos mecanismos adicionales de dispersión y migración favorecen a su vez la transferencia de especies invasoras (Sheets et al., 2016).

La descomposición biológica en maderas saturadas de agua se observa en embarcaciones de madera en servicio, barcas, barcos hundidos, maderas enterradas y anegadas, troncos almacenados después de la cosecha de árboles o bajo rocíos constantes de agua, madera en pilotes de cimentación, postes de señalización, madera en muros de contención expuestos a humedad constante, muelles, pilotes, torres de enfriamiento y granjas para acuicultura, entre otros.

## - La madera como material de construcción

Entre los materiales de construcción históricamente más empleados se encuentra la madera, utilizada para la fabricación de embarcaciones, pilotes, muelles y postes.

La madera tiene una serie de ventajas que la convierten en un material competitivo para estructuras frente al mar y el agua dulce aunque su utilización a menudo se encuentra limitada debido al deterioro producido por organismos que afectan tanto su integridad como su durabilidad. Es un material preferido sobre otros en función de su disponibilidad, buena resistencia específica, bajo costo y fácil manejo.

Desde la antigüedad, los usos de la madera mojada o sumergida fueron muy diversos. Los egipcios empapaban madera seca hasta convertirla en húmeda como método para extraer trozos enormes de roca granítica para sus obeliscos. Los vikingos

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (CIDEPINT)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP)

<sup>3</sup> Facultad de Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP)

quemaban la parte externa de sus naves de madera para hacerlas resistentes al agua y al deterioro por organismos sin conocer que en realidad estaban proporcionando hidrofobicidad. Son numerosos los restos arqueológicos sumergidos que se encuentran en riesgo por el ataque de distintos organismos perforantes. De las historias de naufragios, se sabe que los antiguos egipcios y chinos usaron revestimientos protectores como resinas, brea o pintura para el casco de sus barcos, además de retirarlos del agua y secarlos en la playa (Steinmayer & Turfa, 1997). Estos métodos en cierta manera resultaron efectivos, aunque con el inicio de los viajes de exploración en el siglo XV utilizando grandes barcos de madera se presentaron nuevos desafíos. En reportes de la época se afirma que las carabelas de Colón se protegieron con sebo y alquitrán en tanto que las embarcaciones de Vasco da Gama con carbón. La actividad destructiva de los organismos taladradores de madera fue un gran obstáculo para los navegantes y se transformó en un problema de estado cuando hacia 1730 los Países Bajos se vieron amenazados por una inundación masiva como producto de la enorme destrucción causada en los diques. Esta perspectiva generó un enorme interés en el estudio y control de los organismos perforadores de madera.

Si bien actualmente la madera no es el material más empleado para la fabricación de embarcaciones, en ciertas regiones del mundo como Turquía sobre las costas del Mar Negro, en Italia y en el sudeste asiático aún se continúa utilizando (Singh & Sasekumar, 1996, Sivrikaya et al., 2012, Palanti et al., 2015).

#### • Biodeterioro de la madera

Dado que las estructuras sumergidas tanto en las costas marítimas como fluviales fabricadas en madera se encuentran expuestas al deterioro producido por micro y/o macroorganismos, es imprescindible su identificación y conocer el rol que cumplen en los procesos de biodeterioro a fin de implementar metodologías efectivas para su control.

Las bacterias son los primeros microorganismos que colonizan la madera expuesta en ambientes húmedos, han sido encontradas en maderas sumergidas en agua salada y dulce y en contacto con el suelo. Otros organismos que degradan la madera son los hongos de pudrición blanda, que pueden tolerar un rango amplio de condiciones de temperatura, humedad y pH. Si bien hongos y bacterias deterioran la madera, particularmente los hongos basidiomicetos son considerados los más agresivos. Las bacterias son en general aún más tolerantes que los hongos a condiciones extremas o desfavorables, como por ejemplo, a altos contenidos de lignina, alta carga de preservantes y bajos niveles de oxígeno (Singh & Butcher, 1991). En los casos en que las células de la madera están saturadas de agua, la disminución

en la concentración de oxígeno actúa como factor limitante de la actividad de los microorganismos e influye en la velocidad de degradación.

Entre los macroorganismos que intervienen en el biodeterioro de la madera se encuentran aquellos que la utilizan como sustrato para completar sus ciclos de vida adhiriéndose a la superficie y aquellos que ingresan en su interior causando daños físicos rápidos. Estos últimos son los organismos perforadores que afectan seriamente la integridad estructural de instalaciones costeras convirtiendo pilares sólidos, muelles, marinas y embarcaciones en estructuras débiles y frágiles (Rao et al., 2011).

La comunidad intertidal de organismos que atacan la madera está compuesta por un grupo heterogéneo de representantes que incluyen principalmente bacterias, hongos, bivalvos (Fam. Teredinidae y Pholadidae) y crustáceos de los órdenes Isopoda (Fam. Limnoriidae y Sphaeromatidae) y Anfípoda (Fam. Cheluridae). Estos organismos utilizan la madera no sólo para refugiarse sino también como fuente de alimento, su desarrollo y crecimiento depende de distintos factores abióticos como la concentración de oxígeno, la temperatura del agua y la salinidad.

Seguidamente se detallarán las características más importantes de la colonización y consecuente biodeterioro que causan los distintos organismos en maderas sumergidas y los principales mecanismos que intervienen en la degradación.

#### • Bacterias

Durante mucho tiempo se consideró que los hongos eran los principales agentes de biodegradación de la madera. Sin embargo, dependiendo de la etapa de degradación y condiciones ambientales, se demostró que las bacterias cumplen también un rol fundamental. En este sentido, funcionan como colonizadores primarios favoreciendo la sucesión microbiana que conduce al deterioro pudiendo actuar de forma sinérgica con otros organismos (Soo Kim & Singh 2000, Berrocal Jiménez, 2007).

La causa biológica del deterioro es la sucesión, es decir, la formación del biofouling, en el que las bacterias que colonizan el sustrato inician la degradación modificando las condiciones para la llegada de microorganismos más complejos. Una evidencia de este mecanismo es la degradación de la pared celular y la presencia de células bacterianas muertas que proporcionan la fuente de nitrógeno (de baja concentración en la madera) que funciona como importante nutriente fúngico.

El análisis de los patrones de descomposición de la madera sumergida resulta complejo, dependiendo tanto de las variables ecológicas y biogeográficas

como de características fisicoquímicas del sustrato (tipo de madera, volumen, dureza, degradación exterior e interior, pH, potencial redox, concentración de iones específicos, oxígeno) (Jordan, 2001).

Las bacterias deterioran la madera degradando la pared celular. Asimismo, degradan la membrana de las punteaduras (lo cual provoca un aumento de la permeabilidad) o bien atacan los preservantes, incrementando la susceptibilidad a organismos perjudiciales. En general, sus enzimas degradan la celulosa transformándola sucesivamente en celobiosa, hidrógeno, metano, anhídrido carbónico y ácidos grasos dependiendo la velocidad y grado de degradación de las condiciones de exposición y conservantes presentes en la madera.

De acuerdo al tipo de deterioro, las bacterias pueden agruparse en cuatro categorías principales. 1. Aquellas que afectan la permeabilidad de la madera sin alterar significativamente las propiedades mecánicas. 2. Las que atacan la pared celular afectando las propiedades de resistencia. 3. Las que constituyen la microbiota total contribuyendo a la descomposición definitiva de la madera. 4. Las bacterias colonizadoras “pasivas” que aún sin tener efecto sobre la madera, actúan como antagonistas sobre las poblaciones que naturalmente habitan allí.

Desde el punto de vista estructural, se reconocen tres formas de descomposición bacteriana: por erosión, tunelización y cavitación (Soo Kim & Singh, 2000). La erosión bacteriana se produce sobre la cara expuesta de las paredes celulares de la madera y se considera de tipo “estriada” cuando desde el lumen de las células degradan la pared produciendo canales paralelos a los microfibrillas de celulosa. Los canales pueden ser superficiales en la laminilla terciaria (ataque por bacilos) o formar depresiones profundas que progresan desde el lumen a la pared celular secundaria (ataque por cocos). Ambos tipos de erosión pueden ser simultáneos. La erosión “cónica” es de difícil detección dado que las bacterias degradan la madera formando canales de erosión en forma de “V” invertida que se amplían dando como resultado su coalescencia. En general, la erosión bacteriana se distingue de la descomposición fúngica por la presencia de residuos de lignina (Singh et al., 1990).

El túnel bacteriano es un patrón inusual de descomposición. La degradación se produce en el interior de las paredes celulares produciendo túneles que crecen en distintas direcciones presentando un aspecto sinuoso. En este caso, se metabolizan todos los componentes de la pared celular, incluida la lignina (Soo Kim & Singh, 2000).

La cavitación bacteriana es menos conocida, se focaliza dentro de las paredes celulares de la

madera, formando cavidades perpendiculares al eje longitudinal de las células, que crecen en forma de diamante y luego convergen resultando en formas variadas. Esta degradación se extiende hacia grandes áreas de la pared celular alrededor de las colonias bacterianas, en forma similar a la pudrición marrón de la madera producida por hongos.

Cuando la madera está saturada de agua es colonizada por bacterias que atacan y destruyen los componentes no lignificados en alrededor de quince días, varios meses después ocurre el ataque por bacterias degradantes de lignina. Bajo estas condiciones las bacterias y los hongos de pudrición blanda desempeñan un papel importante produciendo una degradación lenta, lo que ha favorecido la conservación de bosques arqueológicos recuperados de aguas o sedimentos oceánicos que habían estado expuestos durante cientos o miles de años.

Muestras muy antiguas de madera de construcción de distinta procedencia, tales como estacas, tableros de pisos, tablones y madera anegada de naufragios, demuestran una erosión bacteriana generalizada, con algunos ataques de bacterias de túnel y hongos de pudrición blanda que forman cavidades. Recientemente se han desarrollado estudios sobre maderas sumergidas a grandes profundidades en el Mar Mediterráneo que revelaron una alta diversidad de bacterias fermentadoras y microorganismos involucrados en el ciclo del azufre y en la producción de metano (Fagervold et al., 2014).

En ambientes dulciacuícolas, los hongos son más relevantes que las bacterias en la degradación de madera sumergida. En estos casos se demostró que la lixiviación de compuestos orgánicos solubles y la fragmentación, es decir la ruptura por factores bióticos o abióticos, cumplen una función importante en la degradación y que la diversidad bacteriana aumenta a lo largo de la descomposición (Jones et al., 2019).

#### • Hongos

Los hongos son organismos eucariotas con nutrición heterótrofa absorptiva, pared celular compuesta por quitina, reproducción sexual o asexual mediante esporas y cuerpo unicelular o filamentoso (Alexopoulos, 1979). Estos organismos debido a su plasticidad ecológica presentan una distribución cosmopolita que abarca tanto el medio terrestre como el acuático.

La existencia de hongos acuáticos se conoce desde el siglo XIX, pero fue a partir de mediados del siglo XX que comienzan a estudiarse en profundidad (Enríquez et al., 2003). En los últimos treinta años se han incrementado las investigaciones sobre la taxonomía, diversidad, distribución, ecología y

biotecnología de los hongos lignícolas (Kane et al., 2002, Sudheep & Sridhar, 2011). Sin embargo, son pocos los estudios sobre aspectos fisiológicos realizados en este grupo y han sido dirigidos hacia determinadas especies.

Los hongos tienen gran importancia en el ambiente acuático por sus funciones en la degradación de materia orgánica y de compuestos que no pueden ser utilizados por otros organismos como la celulosa y la lignina, cuya acumulación podría convertirse en una causa de contaminación en los ecosistemas marinos y de agua dulce (Hyde et al., 2016). Por tanto, contribuyen al reciclaje de nutrientes, a la mineralización de las fuentes de carbono absorbidas de sus alrededores y al movimiento de materia y energía en su medio circundante (Agrawal et al., 2018). De esta manera, hongos que degraden madera o la usen como sustrato son considerados como lignícolas. Ciertos hongos ascomicetos y deuteromicetos asociados generalmente con bacterias causan la pudrición blanda de la madera. Los hongos de pudrición blanda en la madera de gimnospermas dan lugar a la formación de cavidades orientadas paralelamente a los microfibrillas de celulosa en tanto que en las angiospermas se caracterizan por erosionar la pared celular.

En la costa marítima y en lagunas de la provincia de Buenos Aires se encuentran diversas estructuras de madera que pueden estar parcial o totalmente sumergidas. Consecuentemente, la micobiota acuática lignícola potencialmente contribuye al biodeterioro de estas estructuras de madera, lo que ocasiona daños estéticos al material y pérdidas económicas. La nutrición heterótrofa absorptiva de estos hongos comprende aspectos tales como la secreción de exoenzimas al medio circundante, degradación del sustrato por parte de estas enzimas hasta convertirlos en sus sillares estructurales y la incorporación al interior del cuerpo fúngico. Dentro de la batería enzimática presente en los hongos acuáticos lignolíticos se encuentran exoenzimas con actividad celulítica (celulasas) y ligninolíticas (peroxidasas ligninolíticas) que atacan la celulosa y lignina de la madera, respectivamente (Gutiérrez & Martínez, 1996).

Los hongos marinos filamentosos superiores incluyen 530 especies distribuidos en 321 géneros, pertenecientes al Phylum Ascomycota y Phylum Basidiomycota (Pang et al. 2016). En la provincia de Buenos Aires (Argentina), se reportaron hongos marinos Pyrenomycetes lignícolas en maderas atascadas en la zona del mesolitoral de Mar del Plata (38°00'S, 57°33'O) (Malacalza & Martínez, 1971). En estudios posteriores se amplió la distribución de hongos Ascomycota y se citan por primera vez para América del Sur a *Chadefaudia corallinarum*, *Halosphaeria salina* y *Corollospora marítima*, esta

última especie registrada para San Clemente del Tuyú (36°21'S, 56°43'O) (Kohlmeyer, 1976).

Por otra parte, se realizaron estudios sobre paneles experimentales de madera en la zona intermareal de Mar del Plata cuyos resultados ampliaron la lista de especies de la micobiota lignícola para la región. Asimismo, se confeccionó una clave dicotómica para la identificación de hongos marinos filamentosos en la provincia de Buenos Aires teniendo en cuenta características de los propágulos (Peña et al., 1996, Peña & Arambarri, 1998, Peña, 2000).

Los hongos lignícolas dulciacuícolas son un grupo taxonómicamente muy diverso en su mayoría y pertenecen a las clases Dothideomycetes y Sordariomycetes del Phylum Ascomycota (Li et al., 2018). Los aportes referentes a la presencia de hongos en ambientes dulciacuícolas en la provincia de Buenos Aires se atribuyen a las especies encontradas por primera vez en las lagunas Alsina (36°49'S, 62°13'O), La Blanca y Chis-Chis (35°46'S, 57°57'O) (Steciow, 1998).

#### • Moluscos

Entre los moluscos perforadores de madera el bivalvo *Teredo* es el más estudiado (Figuras 1-4). Su distribución es amplia ya que habita en mares con temperaturas que oscilan entre 14°C y 20°C, salinidades entre 20 y 30 ppt pero también puede tolerar muy bajas salinidades del orden de 5 ppt, lo que le permite desarrollarse bajo condiciones estuariales (Borges et al., 2014). Si bien su aspecto es vermiforme, es un bivalvo cuya parte anterior está cubierta por dos pequeñas conchillas trilobuladas que utiliza para taladrar la madera, el sistema de perforación se completa con una fuerte apófisis y un pie muscular. Los movimientos laterales imprimidos a las valvas por los músculos aductores provocan la abrasión de la madera y, a medida que va formando las galerías, secreta carbonato de calcio con las que las tapiza en su interior (Figuras 2-4). La cavidad paleal es alargada, acaba en un sifón inhalante y otro exhalante en el extremo posterior del cuerpo y por medio de un par de paletas se eliminan las partículas de madera fuera del tubo. En el estómago se acumula la madera ingerida y allí numerosos amebocitos fagocitan y digieren las partículas leñosas, a su vez la digestión se completa con la intervención de celulasas que degradan la celulosa. Estas enzimas son aportadas por grandes concentraciones de bacterias simbiotes capaces de degradar la celulosa y fijar nitrógeno que conforman la glándula de Deshayes (Quayle, 1992).

Por lo general miden un centímetro de diámetro y alrededor de 20 cm de longitud aunque se han encontrado especímenes de hasta 58 cm (NIMPIS, 2011).

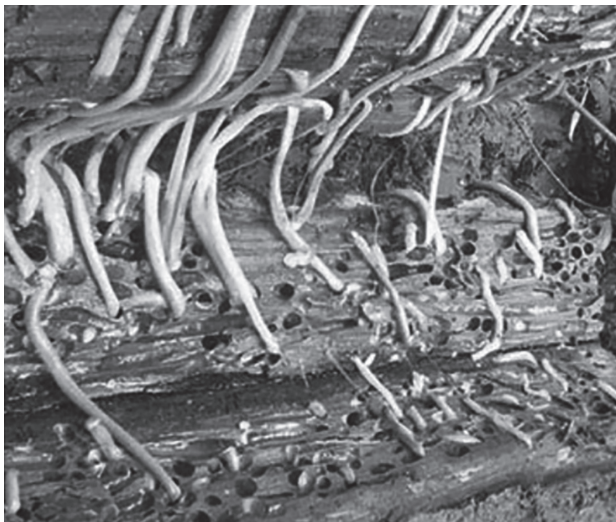


Figura 1. Pilote infestado por Teredo. Fotografía cortesía de Exponav (Fundación Raúl Vila).

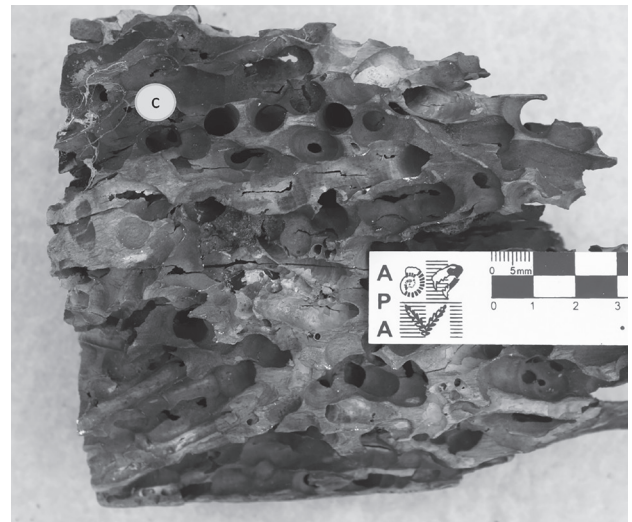


Figura 4. Vista en corte longitudinal del pilote.



Figura 2. Trozo de pilote sumergido en la costa de Patagonia (Argentina), a: zona de ingreso del molusco perforador *Teredo* sp., las flechas indican los orificios de ingreso de las larvas del molusco, b: corte transversal de la madera del pilote.

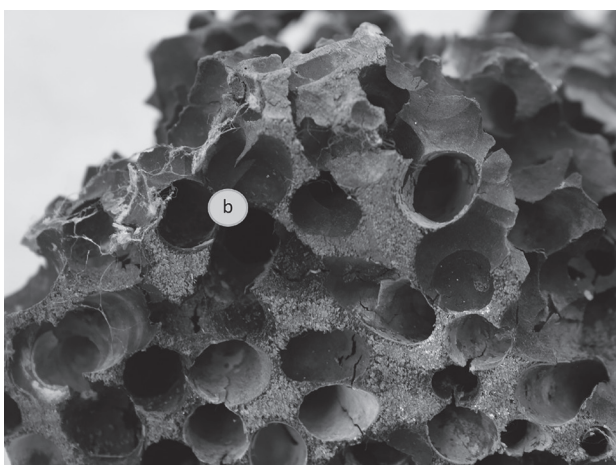


Figura 3. Detalle del corte transversal donde se observan los túneles.

Algunas especies de esta familia pueden producir hasta 100 millones de huevos por desove (Borges, 2014). La larva de Teredo es anatómicamente semejante a otras larvas de bivalvo y penetra la madera una vez que ésta se encuentra completamente saturada de agua (Bastida et al., 2002). Las especies de teredínidos presentan una fase larvaria planctónica prolongada que se desarrolla durante 3 a 4 semanas, lo que les permite la dispersión siendo arrastradas por las corrientes o inclusive en el agua de balasto de los barcos.

Una organización similar se encuentra en *Bankia*, otro molusco teredínido perforador de madera que puede alcanzar un largo total que varía entre 38 mm y 610 mm con una tasa de crecimiento entre 10 mm y 74 mm por mes dependiendo de factores abióticos, el grado de infestación y el tipo de madera colonizada (Quayle, 1992). La colonización por parte de este molusco es muy rápida habiéndose reportado la construcción de túneles de 16-18 cm de longitud en apenas 90 días (Shipway, 2013).

La tasa de crecimiento de los túneles del teredínido *Lyrodus pedicellatus* es de 74 mm por mes (Findlay, 2013). Los túneles se construyen gracias a la acción combinada del pie muscular, la parte anterior del céfalo, la presión hidrostática y el movimiento raspador de las valvas (Quayle, 1992). A su vez, se ha sugerido que el túnel avanza siguiendo la disposición de las traqueidas, células que conducen savia bruta y una vez maduras transportan agua, esto ayuda a ablandar la madera manteniendo la presión hidrostática y la limpieza y lubricación de las valvas encargadas del corte. Las traqueidas están alineadas longitudinalmente y la entrada de agua de mar que ingresa cargada de bacterias que degradan celulosa y hongos, facilita el progreso del túnel por ablandamiento de la madera. A su vez, otra característica interesante en la construcción de las galerías es la capacidad de cambio de dirección, que

puede ocurrir al acercarse a la interfaz madera/agua o en las cercanías con otro túnel, en ese caso bloquean el túnel desocupado con un revestimiento calcáreo y continúa el avance (Board, 1970). Una vez instalado en su túnel, el “teredo” queda confinado allí y la dispersión de la especie dependerá de la condición en que se encuentre la madera, esto es, si está flotando libremente o está quieta formando, por ejemplo, parte de alguna estructura. En este último caso la dispersión se llevará a cabo por liberación de sus larvas al plancton.

La industria maderera con la acumulación, almacenaje y transporte de troncos para construcción contribuye a la proliferación de los “teredos”, lo que ubica al efecto antropogénico como uno de los principales factores de diseminación e infestación. Asimismo, los desechos generados por las industrias relacionadas aportan a la propagación de estas especies.

Otro bivalvo perforador es *Xylophaga*, originalmente descrito como teredínido, pero actualmente perteneciente a la familia *Xylophagidae*. Es de destacar la amplia distribución vertical de las especies de este género, dado que se han registrado colonizando maderas sumergidas desde 15 m hasta grandes profundidades mayores a los 7000 m (Voight, 2009, Gaudron et al., 2016).

Dentro de la familia *Pholadidae* *Martesia striata* es una especie dominante en India que causa severos daños a las estructuras de madera. Se caracteriza por su gran resistencia a cambios en la salinidad, a la concentración de oxígeno y su capacidad de soportar prolongados períodos de desecación durante la baja marea (Yennawar et al., 1999).

#### • Crustáceos

Los crustáceos involucrados en la destrucción de la madera son isópodos de la familia *Limnoriidae* y *Sphaeromatidae* y Anfípodos de la familia *Cheluridae*.

A diferencia de los moluscos que ingresan y atacan la madera internamente, los crustáceos inician su ataque desde el exterior. La acción de crustáceos que destruyen maderas está íntimamente relacionada con la temperatura, la salinidad y la disponibilidad de alimento, y estas condiciones son las que limitan su área distribución alrededor del planeta. Por ejemplo, los limnóridos se distribuyen solamente en aguas templadas a frías (Peñaflares Ramírez, 2008), *Limnoria* y *Chelura* sólo pueden vivir en concentraciones salinas altas y no sobreviven en agua dulce. En contraste, *Sphaeroma* tolera un amplio rango de salinidades, aunque está confinado a temperaturas tropicales y elige aquellas zonas con menor penetración de la luz (Cragg et al., 1999).

Los isópodos son crustáceos aplanados dorso-ventralmente y muy pequeños, rara vez sobrepasan los 5 mm de longitud. *Limnoria* (“gribble”) se dispersa siguiendo señales químicas, fundamentalmente metabolitos de hongos (Cragg et al., 1999). Si bien la penetración de *Limnoria* en la madera nunca supera los 2 cm, los procesos erosivos que se inician producen un deterioro en los pilotes que adquieren un aspecto de “punta de lápiz”. Para ingresar en la madera, *Limnoria* efectúa un movimiento de raspado por la acción masticadora de sus mandíbulas dando forma a su madriguera. Luego se lleva a cabo la degradación de la celulosa, acción que ocurre exclusivamente por acción enzimática en el intestino, esto es, no poseen una microbiota acompañante para realizar esta función (Naylor, 1972). A su vez, se ha demostrado que la hemocianina contribuye notablemente a la digestibilidad por parte de las celulasas, dado que tiene actividad ligninolítica, es portadora de oxígeno y ha sido encontrada en el sitio de la digestión de la madera (Besser, et al., 2018).

Los limnóridos tienen una fecundidad muy baja y el número de huevos fertilizados oscila entre 5 y 30 según las especies. Se mantienen en bolsas de cría durante este período y luego se liberan en las galerías parentales por lo cual se encuentran protegidos de condiciones adversas maximizando la supervivencia. Desde los túneles de los progenitores, excavan sus propios túneles en forma perpendicular, provocando un alto deterioro biológico en la madera infestada.

Se estima que, en el pasado, el principal medio de dispersión de los limnóridos fue probablemente a través de los cascos de los barcos de madera. Actualmente, se considera que es mediante el movimiento de maderas flotantes (Borges, 2014).

Por otra parte, otros isópodos taladradores de madera como *Sphaeroma terebrans*, *Paracerceis caudata*, *Dynamenella* sp. y *Phycolimnoria clarkae*, consumen y dañan las raíces tanto aéreas como sumergidas de los manglares que crecen en las regiones del Atlántico occidental y el Caribe, reduciendo en algunos casos la tasa de crecimiento relativo de la raíz en un 55% (Ellison & Farnsworth, 1990, Baratti et al., 2011).

Los isópodos del género *Sphaeroma* atacan las maderas generando un tipo de deterioro semejante a un panal de abejas. Las heridas causadas por estos crustáceos son la vía de entrada de bacterias y hongos que dan continuidad al proceso de descomposición siendo, a su vez, su fuente de alimento.

Por su parte, los anfípodos de la fam. *Cheluridae* también forman túneles cuyo diámetro oscila alrededor de 6 mm. Por lo general se encuentran en asociación con los limnóridos y cumplen un rol fundamentalmente “reciclador” de la madera ya

que se alimentan de sus propias heces y de las de Limnoria y solo ocasionalmente de la madera en sí (Green Etxabe, 2013).

#### • Mecanismos involucrados en la biodegradación de la madera

Como se expresara anteriormente, la madera en ambientes húmedos es atacada y degradada tanto por hongos de pudrición blanda como por bacterias (Soo Kim & Singh, 2000). Dado que estos organismos son menos agresivos que los hongos basidiomicetos, la madera en ambientes húmedos puede sobrevivir durante un tiempo relativamente largo. Los patrones de degradación dependen si la madera se encuentra en contacto directo con el agua (es decir, sumergida, anegada o “waterlogged”), o bien si está enterrada en un sedimento marino u oceánico (“buried”).

Los datos disponibles sobre la química de las maderas en ambientes húmedos sugieren que, preferencialmente, primero se degrada la hemicelulosa seguida por la celulosa, la lignina de madera dura y finalmente la lignina de madera blanda. Las características micromorfológicas, como la degradación preferencial de la capa S2, la pérdida de birrefringencia de las paredes celulares de la madera y la presencia de la lámina media relativamente intacta en maderas degradadas y anegadas respaldan los datos químicos.

#### - Maderas arqueológicas anegadas

##### *Degradación de los polisacáridos*

Las maderas arqueológicas anegadas mostraron una mayor cantidad de extractivos con un 1% de extracción alcalina en comparación con la madera reciente. Dado que algunos polisacáridos fácilmente solubles y hasta cierto punto la celulosa degradada se extraen con un 1% de álcali, se asume que la solubilidad alcalina es un buen indicador de la descomposición de la madera por ataques microbianos. La gran cantidad de sustancias extractivas en las maderas arqueológicas anegadas después de la extracción alcalina sugiere pérdidas en los polisacáridos de bajo peso molecular y una proporción de holocelulosa a lignina muy baja. Por ejemplo, se ha informado que gran parte de la fracción de polisacáridos fue eliminada de la parte exterior de los tablones de *Pinus massonia* de veleros chinos (chinese junks) de unos 700 años de antigüedad, mientras que la composición química de la parte interna fue casi similar a la de la madera reciente. Esto también fue válido para otras maderas como *Quercus* sp., *Bischofia polycarpa* y *Prumnopitys ferruginea*.

##### *Degradación de la lignina*

Los estudios ultraestructurales de maderas anegadas también han proporcionado evidencia de cambios en

la lignina. La reducción de la intensidad de la tinción e incluso la descomposición de la laminilla media sugieren estas modificaciones.

La lignina de muestras de madera arqueológica anegada mostró un cambio en las bandas de absorción en los espectros ultravioleta, infrarrojo y de resonancia magnética nuclear. La disminución de unidades de metiloxi y unidades de siringilo en maderas duras antiguas y la eliminación de lignina de tipo siringilo (lignina de madera dura) preferentemente a lignina de tipo vainillilo (lignina de madera blanda) fue reportada en bosques arqueológicos empapados atacados por hongos de pudrición blanda. Estos hallazgos coinciden con los resultados de que la guaiacil-lignina es más estable que la siringil-lignina durante el proceso de envejecimiento.

##### *Degradación de los extractivos*

En general, los extractos orgánicos incrustados en la pared celular ayudan a proteger los polímeros de la madera de la hidrólisis enzimática y la biodegradación. La alta durabilidad de los extractivos de madera se comprobó en un estudio sobre alquitranes antiguos, se demostró que la composición del alquitrán en barriles de *Pinus sylvestris* de un naufragio ruso de fines del siglo XVIII era prácticamente la misma que la del material recién preparado. También se ha observado una alta concentración de taninos y compuestos polifenólicos en el parénquima y vasos de maderas arqueológicas anegadas que aparentemente habían sido degradadas por microorganismos.

#### - Madera arqueológica enterrada

##### *Degradación de los polisacáridos*

La composición química de la madera enterrada es notablemente similar a la de las maderas anegadas. Se ha encontrado que la tasa de degradación de celulosa en muestras de madera enterrada muy degradada fue más pronunciada que la de la hemicelulosa. La explicación proporcionada fue que la degradación preferencial de la celulosa en maderas arqueológicas enterradas se debe al ataque microbiano, mientras que las mayores pérdidas en hemicelulosas se producen por hidrólisis no biológica.

Sin embargo, está bien documentado que la degradación de la hemicelulosa es más grave que la de la celulosa en la madera arqueológica. Esta discrepancia puede atribuirse a las condiciones de enterramiento de las maderas, incluida la química de los sitios de enterramiento y a las especies de madera. La extensión de la degradación de la madera no solo se relaciona con la duración del enterramiento, sino también con el medio. Las condiciones ambientales de los sitios de enterramiento como por ejemplo, pH, temperatura y salinidad del agua de mar, son factores

que deben considerarse para evaluar las causas de la degradación de maderas arqueológicas.

### *Degradación de la lignina*

De un modo similar a las maderas arqueológicas anegadas, también se ha informado una disminución en las unidades de metiloxi y siringilo para maderas enterradas antiguas, también se observó una menor proporción de siringilaldehído a vainillina. En contraste, el rendimiento de vainillina de la madera blanda de *Torreya* de unos 6000 años de antigüedad fue casi el mismo que el de la madera reciente. Estos hallazgos están respaldados por estudios de infrarrojo sobre la lignina de pino reciente (*Pinus sylvestris*) y madera de pino de 2000 años de suelo húmedo. Esto también sugiere que la lignina de gimnosperma se degrada en menor medida que la lignina de angiosperma.

### - Cambios de contenido de cenizas

Por otra parte, tanto las maderas arqueológicas anegadas como enterradas mostraron un contenido de cenizas anormal. En algunos casos, el contenido inorgánico de las maderas anegadas degradadas es más de veinte veces el valor de la madera reciente. Si bien un aumento en el contenido de cenizas es una característica de casi todas las maderas arqueológicas anegadas, se han detectado casos en los que partículas del suelo penetraron en la madera por las grietas. Por lo tanto, la determinación del contenido de cenizas debe tener en cuenta la contaminación durante el enterramiento.

### • Conclusión

Indudablemente, la elección adecuada de maderas para la construcción marítima y fluvial, así como el desarrollo de métodos de protección debe considerar el conocimiento de los organismos presentes en el área y su colonización a lo largo del año. La adaptabilidad de estos grupos a distintas condiciones del entorno impone la continuación de estudios de aislamiento e identificación de las cepas bacterianas y fúngicas, así como de los macroorganismos a fin de prevenir la infestación que atenta contra la integridad de las estructuras fabricadas en madera.

Respecto de la susceptibilidad de las maderas al ataque por organismos dependerá de su dureza y composición química, principalmente de las resinas y contenido de alcaloides. Los nudos son sitios con madera muy dura, particularmente difíciles de proteger con métodos clásicos de prevención, son colonizados por los teredínidos pero no así por los limnóridos que son incapaces de horadarlos.

Aún en la actualidad y a pesar de legislaciones internacionales de protección del medio ambiente,

las maderas sumergidas se protegen del ataque de organismos con productos altamente contaminantes como por ejemplo mezclas a base de cobre, cromo y arsénico. Sin embargo, se ha detectado la presencia de bacterias resistentes a esta mezcla tóxica lo que indica que no resultan totalmente efectivas.

Es importante y necesaria la búsqueda de nuevas pinturas y recubrimientos igualmente efectivos, de amplio espectro, basados en compuestos biodegradables y que se incorporen naturalmente a los ciclos biogeoquímicos. En este sentido, la tendencia actual es hallar nuevos compuestos antiincrustantes de origen natural, identificar las moléculas bioactivas y detectar las estructuras privilegiadas responsables de la actividad a fin de poder sintetizarlas en laboratorio.

### Bibliografía

- Agrawal, S., Adholeya, A., Barrow, C., Deshmukh, S. (2018). Marine fungi: An untapped bioresource for future cosmeceuticals. *Phytochem. Lett.*, 23,15-20.
- Alexopoulos, C. (1979). Introducción a la Micología, 3ra. EUDEBA, Buenos Aires.
- Baratti, M., Filippelli, M., Messana, G. (2011). Complex genetic patterns in the mangrove wood-borer *Sphaeroma terebrans* Bate, 1866 (Isopoda, Crustacea, Sphaeromatidae) generated by shoreline topography and rafting dispersal. *JEMBE*, 398, 1-2, 73-82.
- Bastida, R., Elkin, D., Grosso, M., Trassens, M., Martín, J. (2002). La corbeta de guerra inglesa HSM Swift (1770): un caso de estudio sobre los efectos del biodeterioro en el patrimonio subacuático cultural de la Patagonia. Actas de las Jornadas Científico Tecnológicas sobre Prevención y Protección del Patrimonio Cultural Iberoamericano del Biodeterioro Ambiental, 119-143. La Plata.
- Berrocal Jiménez, A. 2007. Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 4, 10.
- Besser, K., Malyon, P., Eborall, W., da Cunha, G., et al. (2018). Hemocyanin facilitates lignocellulose digestion by wood-boring marine crustaceans. *Nature comm.*, 9, 5125.
- Board, P. (1970). Some observations on the tunnelling of shipworms. *J. Zool. Lond.* 161, 193-201.
- Borges, L. (2014). Biodegradation of wood exposed in the marine environment: Evaluation of the hazard posed by marine wood-borers in fifteen

- European sites. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 96, 97-104.
- Borges, L., Merckelbach, L., Sampaio, I., Cragg, S. (2014). Diversity, environmental requirements, and biogeography of bivalve woodborers (Teredinidae) in European coastal waters. *Front. Zool.*, 11, 13.
  - Cragg, S., Pitman, A., Henderson, S. (1999). Developments in the understanding of the biology of marine wood boring crustaceans and in methods of controlling them. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 43, 4, 197-205.
  - Ellison, A., Farnsworth, E. (1990). The ecology of Belizean mangrove-root fouling communities. I. Epibenthic fauna are barriers to isopod attack of red mangrove roots. *JEMBE*, 142, 91-104.
  - Enríquez, D., González, M., Ruiz, G., et al (2003). Marine fungi diversity in beaches of Havana City. *Ser. Oceanol.* 1, 1-9.
  - Fagervold S., Romano C., Kalenitchenko D., Borowski, C., Nunes-Jorge A., Martin, D., Galand, P., Dee A. Carter, Editor. 2014. Microbial communities in sunken wood are structured by wood-boring bivalves and location in a submarine canyon. *PLoS One*, 9, e96248.
  - Findlay, G. Preservation of timber in the tropics. *IT echnology & Engineering*, 2013.
  - Gaudron, S., Haga, T., Wang, H., Laming, S., Duperron, S. (2016). Plasticity in reproduction and nutrition in wood-boring bivalves (*Xylophaga atlantica*) from the Mid-Atlantic Ridge. *Mar. Biol.*, 163, 213.
  - Green Etxabe, A. The wood boring amphipod *Chelura terebrans*. Thesis. 2013.
  - Gutiérrez, A., Martínez, A. (1996). Mecanismo de biodegradación de la lignina. *Rev. Iberoam. Micol.*, 18-23.
  - Hyde, K., Fryar, S., Tian, Q., et al (2016). Lignicolous freshwater fungi along a north-south latitudinal gradient in the Asian/Australian region, can we predict the impact of global warming on biodiversity and function? *Fungal Ecol.*, 19, 190-200.
  - Jones J., Heath, K., Ferrer, A., Brown, S., Canam, T., Dalling, J. (2019). Wood decomposition in aquatic and terrestrial ecosystems in the tropics: contrasting biotic and abiotic processes. *FEMS Microbiology Ecology*, 95.
  - Jordan, B. (2001). Site characteristics impacting the survival of historic waterlogged wood: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 47, 47-54.
  - Kane, D., Tam, W., Jones, E. (2002). Fungi colonising and sporulating on submerged wood in the River Severn, UK. *Fungal Divers*, 10, 45-55.
  - Kohlmeyer, J. (1976). Marine fungi from South America. *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín*, 8, 33-39.
  - Li, W., Luo, Z., Liu, J., Bhat, D., Bao, D., Su, H. (2018). Lignicolous freshwater fungi from China I: *Aquadictyospora lignicola* gen. et sp. nov. and new record of *Pseudodictyosporium wauense* from northwestern Yunnan Province. *Mycosphere*, 8, 1587-1597.
  - Malacalza, L., Martínez, A. (1971). Ascomycetes marinos de Argentina. *Boletín Soc. Argentina Botánica*, XIV, 57-72.
  - Naylor, E. (1972). British marine Isopods. *Synopses of the British Fauna* No. 3.
  - NIMPIS, 2011. *Teredo navalis*, general information. National Introduced Marine Pest Information System. <http://adl.brs.gov.au/marinepests/index.cfm?fa=main.spDetailsDB&sp=6000016293>.
  - Palanti, S., Feci, E., Anichini, M. (2015). Comparison between four tropical wood species for their resistance to marine borers (*Teredo* spp. and *Limnoria* spp.) in the Strait of Messina. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 104, 472-476.
  - Pang, K., Overy, D., Jones, E., et al (2016) 'Marine fungi' and 'marine-derived fungi' in natural product chemistry research: Toward a new consensual definition. *Fungal Biol. Rev.*, 30, 163-175.
  - Peña, N. (2000). Clave de los hongos marinos filamentosos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Darwiniana*, 38, 291-298.
  - Peña, N., Arambarri, A., Negri, R., Hibbett, D. (1996). Hongos marinos lignícolas de Mar del Plata (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *I. Darwiniana*, 34, 267-273.
  - Peña, N., Arambarri, A. (1998). Hongos marinos lignícolas de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *IV. Darwiniana*, 35, 69-74.

- Peñaflores Ramírez, N., (2008). Patrimonio cultural sumergido: Un modelo metodológico: la Sonda o Banco de Campeche. Colección Científica, Serie Arqueología, 523.
- Quayle, D. (1992). Marine woodborers in British Columbia. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 115.
- Rao, M., Pati, S., Swain, D., Sharma, R. (2011). Marine Wood Borers. Checklist of Indian Fauna. Zoological Survey of India.
- Scheltema, R. (1986). On dispersal and planktonic larvae of invertebrates: an eclectic overview and summary of problems. Bull. Mar. Sci., 39, 290-332.
- Sheets, E., Sarah Cohen, C., Ruiz, G., da Rocha, R. (2016). Investigating the widespread introduction of a tropical marine fouling species. Ecology and Evolution, 6, 8, 2453-2471.
- Shipway, R. (2013). Thesis. Aspects of the life history strategies of the Teredinidae. University of Portsmouth.
- Singh, A., Nilsson, T., Daniel, G. (1990). Bacterial attack of *Pinus sylvestris* wood under near-anaerobic conditions. J. Inst. Wood Sci., 11, 237-249.
- Singh, A., Butcher, J. (1991). Bacterial degradation of wood cell walls: a review of degradation patterns. J. Inst. Wood Sci., 12, 143-157.
- Singh, H., Sasekumar, A. (1996). Wooden Panel Deterioration by Tropical Marine Wood Borers. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 42, 755-769.
- Sivrikaya, H., Hafizoglu, H., Cragg, S., Carrillo, A., Militz, H., Mai, C., Borges, L. (2012). Evaluation of wooden materials deteriorated by marine-wood boring organisms in the Black Sea. Maderas. Ciencia y tecnología, 14, 79-90.
- Steciow, M. (1998). Hongos acuáticos (Chytridiomycota, Oomycota) de La Laguna Vitel y tributarios (Buenos Aires, Argentina). Darwiniana, 36, 101-106.
- Steinmayer, A., Turfa, J., 1997. Shipworms and ancient Mediterranean warships- a response. Int. J. Naut. Archaeol., 26, 345-346.
- Soo Kim, Y. & Singh A., 2000. Micromorphological characteristic of wood biodegradation in wet environments: a review. IAWA Journal, 21, 135-155.
- Sudheep, N., Sridhar, K. (2011). Diversity of lignicolous and ingoldian fungi on woody litter from the River Kali (Western Ghats, India). Mycology 2, 98-108.
- Voight, J. (2009). Diversity and reproduction of near-shore vs offshore wood-boring bivalves (Pholadidae: Xylophaginae) of the deep eastern Pacific ocean, with three new species. Journal of Molluscan Studies, 75, 2, 167-174.
- Wares, J., Gaines, S., Cunningham, C. (2001). A comparative study of asymmetric migration events across a marine biogeographic boundary. Evolution, 55, 295-306.
- Yebra, D., Kiil, S., Dam-Johansen, K. (2004). Antifouling technology-past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. Prog. Org. Coat., 50, 75-104.
- Yennawar, P., Thakur, N., Anil, A., Venkat, K. and Wagh, A. (1999). Ecology of the wood-boring bivalve *Martesia striata* (Pholadidae) in Indian waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 49, 123-130.

# DURABILIDAD DE MADERAS: IMPACTO DE LOS HONGOS EN EL PROCESO Y SUS DAÑOS

Nitíu, D.S.<sup>1,6</sup>, Demaría, M.<sup>2</sup>, Mallo, A.C.<sup>1,7</sup>, Parfajt, L.<sup>1,6</sup> y Saparrat, M.C.N.<sup>3,4,5,6</sup>

## INTRODUCCIÓN

El hombre y la tecnología han evolucionado a lo largo de su existencia de forma paralela. La necesidad de dominar el medio le confirió al hombre el descubrimiento y conocimiento de los materiales que la naturaleza le ofrecía. Es evidente que la nunca nombrada, Edad de la Madera fue incluso anterior a la Edad de Piedra, subsistiendo hasta nuestros días. El uso de la madera además de facilitar armas para la guerra y la caza, le sirvió para construir sus primeras cabañas, y sobre todo le permitió mantener encendidas las hogueras que se originaban por procesos naturales. La madera es el material que de forma ininterrumpida ha acompañado al ser humano desde la más remota antigüedad hasta nuestros días, quedando su historia íntimamente ligada a la humanidad (Rodríguez 1998). La madera acompañó al hombre en los albores de su existencia, cuando éste comienza a desarrollar la tecnología mecánica. Blanchette et al. (2005) agregan que los elementos históricos construidos con este material son importantes objetos culturales, los cuales proporcionan valiosa información acerca del pasado de algún lugar del mundo.

Todos los materiales tienen una tendencia natural a deteriorarse a través del tiempo. Además, los seres vivos, y en especial los microorganismos, son capaces de colonizar madera y modificarla, alterando sus propiedades y contribuyendo a su biodeterioro. El conocimiento de estos procesos es clave ya que posibilita el desarrollo de estrategias para la prevención y protección de los bienes patrimoniales albergados en soportes de madera con el fin de alargar su vida, conservándolos para la posteridad.

Pero ¿qué es el Biodeterioro? Hueck (1965) lo definió como “cualquier cambio indeseable en las propiedades de un material causado por la actividad de los seres vivos”. En el campo del patrimonio,

ejemplos de biodeterioro podrían ser la destrucción de soportes pictóricos por el crecimiento de hongos o bacterias, la erosión superficial de documentos por pequeños insectos, la destrucción de muebles de madera por termitas, la coloración-decoloración de edificaciones por el crecimiento de algas, la disgregación de soportes pétreos por plantas vasculares, la oxidación de esculturas metálicas por excrementos de palomas, incluso las pintadas y actos vandálicos llevados a cabo por el ser humano sobre los monumentos.

## LA MADERA

La biodegradación es el proceso de descomposición mediado principalmente por microorganismos o sus enzimas (Smicht 2006). Tal es el caso de los hongos que atacan diferentes materiales a base de madera y así generan alteraciones en su estructura y por lo tanto modificaciones de sus propiedades. Esto puede ser solo a nivel superficial, afectando su apariencia externa, o provocar daños que comprometen su composición estructural.

La resistencia natural de la madera contra el biodeterioro está determinada por diferentes variables incluyendo aquellas de tipo genético y que son dependientes de las fuentes botánicas de procedencia. La resistencia de las maderas y su durabilidad responden principalmente a su tenor en lignina así como también a la presencia de taninos y otros fungicidas fenólicos que se depositan en las células de la madera y sus paredes durante su formación. Entre las maderas duras se destacan aquellas de procedencia tropical. La durabilidad de la madera también varía dentro de una especie; entre árboles individuales y diferentes partes de la extensión de su tronco, así como también es dependiente de la agresividad del agente potencial causante de biodeterioro. Las dimensiones de la madera, los tratamientos superficiales y el período

<sup>1</sup> Cátedra de Palinología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

<sup>2</sup> Universidad del Museo Social Argentino. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

<sup>3</sup> Instituto de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

<sup>4</sup> Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

<sup>5</sup> Instituto de Botánica Carlos Spegazzini, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

<sup>6</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>7</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. (CIC PBA).

de exposición también afectan la durabilidad de la misma (Berrocal 2007).

La madera por ser un material de origen orgánico está expuesta a una serie de ataques ya sea por microorganismos (bacterias y hongos), insectos, o por causas no biológicas como el fuego, desgastes mecánicos y acción de la intemperie.

Los hongos xilófagos son aquellos que se relacionan directamente con la madera y se puede mencionar a los “mohos”, los hongos manchadores de la madera y los hongos causantes de pudrición. El ataque de los mismos se inicia cuando encuentran condiciones favorables para la germinación de sus propágulos y la posterior colonización de la madera, generalmente cuando el contenido de humedad es superior al 20 %, siendo los factores que tienen mayor influencia en el crecimiento fúngico la humedad, la temperatura y la presencia de aire (oxígeno).

Los “mohos”, representados principalmente por hongos pertenecientes al Orden Mucorales y al phylum Ascomycota, se nutren a partir de material orgánico simple asociado al lumen celular. Se detectan principalmente a nivel superficial a consecuencia de la diferenciación de colonias, estromas y/u otras estructuras portadoras de esporangios/esporas, las cuales son evidenciables a simple vista por una coloración diferencial respecto a la madera no deteriorada.

Los hongos manchadores de madera o cromógenos, al igual que los “mohos”, sólo se alimentan de compuestos simples de la madera, no teniendo habilidad para usar a los polímeros constituyentes de la pared celular vegetal como fuente de C y energía y por lo tanto no afectan las propiedades mecánicas de la madera. Adicionalmente, se caracterizan porque su colonización está asociada a alteraciones en el color de la madera.

Los hongos causantes de pudriciones tienen habilidades distintivas para degradar en forma notoria alguno o varios de los polímeros estructurales de la madera, pudiendo incluso reducir significativamente su masa. Sin embargo, existen diferentes tipos de pudriciones. Los hongos penetran la madera y aunque ellos no son evidentes en ella en los estados iniciales del ataque, el tipo de pudrición solo se puede reconocer en etapas avanzadas, cuando se han manifestado cambios detectables a simple vista en el color y apariencia de la madera y/o la aparición de estructuras vegetativas o fructificaciones macroscópicas. En estados avanzados la madera pierde masa, se estima que una pérdida en el orden del 4 % representa una disminución en la resistencia mecánica (28 %). La remoción de los cuerpos fructíferos no detiene la degradación de la madera dado que las hifas inmersas en ella mantienen su

acción degradadora. Según va avanzando el área de la pudrición se va acentuando el cambio de color (sea blanco/parduzco) y la madera empieza a perder masa e incrementar su contenido de humedad. En la fase final del proceso se llega a la disgregación total de la estructura de la madera con una pérdida importante de sus características físico - mecánicas.

### **DAÑOS ESTÉTICOS DE LA MADERA POR LA ACTIVIDAD DE HONGOS.**

El concepto de daño estético es subjetivo, y esta expresión es utilizada frecuentemente para indicar toda serie de alteraciones en el aspecto externo de la madera debidas a diferentes factores externos, incluyendo unos biológicos asociados a su colonización y actividad. Bajo este concepto se agrupan efectos como, por ejemplo, los cambios debidos a alteraciones cromáticas, la aparición de pátinas biológicas o el impedimento visual de su superficie por el desarrollo de una capa superior producto de la colonización biológica y el biodeterioro resultante (Caneva et al. 1994).

Los daños estéticos en maderas producidos por la actividad de hongos pueden tener dos efectos contrarios sobre la utilización de las mismas. Por una parte puede producir un cambio de coloración indeseado disminuyendo su valor económico y la restricción de su uso como materia prima. Por otro lado, estas mismas coloraciones pueden utilizarse con fines estéticos, ya que a nivel general no afecta la parte estructural de la madera. No obstante, el cambio de coloración producido por los hongos es un claro indicio de un almacenamiento inadecuado de la madera, incluyendo su secado y que puede favorecer la colonización de otros tipos de hongos más problemáticos, como los que causan daños estructurales.

Los hongos manchadores de la madera que colonizan la madera), que se propagan a través de insectos (por ejemplo, *Ophiostoma*) o por el aire (Ortiz et al. 2011), y otros hongos microscópicos (comúnmente llamados “mohos” - que crecen sobre la superficie de la madera), no son capaces de despolimerizar la celulosa y otros polímeros estructurales de las paredes celulares de la madera. Estos hongos metabolizan los azúcares simples y el almidón presente en las células del radio y lúmenes de células axiales. Entre los manchadores podemos señalar a *Alternaria alternata*, *Aureobasidium pullulans* y *Ceratocystis pilifera*, entre otros, los cuales sintetizan pigmentos que son responsables del cambio de color en las maderas a tonalidades en el espectro: azul, amarillo, naranja, púrpura y/o rojo. Algunos de estos hongos también son conocidos por ser capaces de causar pudriciones blandas en la madera colonizada bajo condiciones óptimas, tal como representantes del género *Phialophora* (Reinprecht 2010).

*Aspergillus niger*, *Penicillium brevi-compactum* y *Trichoderma viride*, entre otros, que ejemplifican a los “mohos” se caracterizan por producir masas de esporas coloreadas en las superficies de la madera en asociación a la secreción de pigmentos difusibles (Reinprecht 2010). La problemática de este tipo de biodeterioro es que a pesar de que no disminuyen la resistencia de la madera, eliminarlos de la superficie, que tiene generalmente un alto grado de porosidad, resulta dificultoso y prácticamente ineficaz, a la vez que constituye un reservorio potencial para otras especies de hongos, como los de pudrición, en respuesta a estar asociado a la retención de un mayor contenido de humedad.

## DAÑOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA POR LA ACTIVIDAD FÚNGICA

Los daños estructurales producidos por los hongos causantes de pudrición son variables y dependientes del tipo de hongo involucrado en interacción con el sustrato atacado y las condiciones ambientales. Los hongos involucrados pueden secretar enzimas extracelulares que actúan sinérgicamente en la degradación de ciertos polímeros de la pared celular vegetal (Schmidt 2006).

### TIPOS DE PUDRICIÓN

No todos los hongos degradan la madera de la misma forma. Existen tres tipos básicos de pudrición - blanca, parda y blanda – que son características. Estos tipos de pudrición son el producto de diferentes formas de ataque a la madera que generalmente tienen también un patrón morfológico distintivo. Algunos hongos xilófagos pueden generar más de un tipo de pudrición en un mismo huésped. Hay también tipos diferentes de pudrición blanca, los cuales constituyen un modelo característico de pudrición en la madera en base a la velocidad de degradación de sus polímeros constituyentes. El ataque del hongo en la madera, involucrando diferentes mecanismos y sistemas enzimáticos, es clave en el tipo de pudrición que el mismo genera. Por ejemplo, los hongos causantes de pudrición blanca tienen habilidad ligninolítica que conduce principalmente a la reducción de la resistencia a la compresión de la madera, mientras que la pudrición parda y la blanda están caracterizadas por solo involucrar la disminución del tenor de polisacáridos de la madera atacada, aun cuando leve en este último caso (Wilcox 1978). Para más información consultar Schwarze et al. (2000) y Luley (2005), que proporcionaron información detallada de cómo es el progreso de los diferentes tipos de pudriciones fúngicas de la madera y cómo la afectan.

#### Pudrición blanca

La madera consiste principalmente de tres polímeros

componentes, lignina, celulosa y hemicelulosas. La celulosa es un polímero de anhídrido glucosa con uniones  $\beta$  1-4. Las hemicelulosas consisten de polímeros ramificados con glucosa y otras hexosas y/o pentosas y de menor grado de extensión (polimerización), con otras uniones o polímeros de monosacáridos diferentes a la glucosa. La lignina es un polímero complejo de unidades fenólicas. La madera de coníferas en general tiene un mayor contenido de lignina (27-35 %) mientras que en la madera de angiospermas dicotiledóneas o “maderas duras” el tenor está entre el 19 y el 24 %.

Cuando la madera es atacada por un hongo causante de pudrición blanca, en términos generales, este sustrato leñoso se vuelve fibroso y toma un color blancuzco, desmenuzándose con facilidad. El polímero clave que se degrada en este tipo de pudrición es la lignina, a través de un proceso de despolimerización oxidativa (Eaton y Hale 1993; Anagnost 1998; Carlile et al. 2001; Schwarze et al. 2004; Schwarze 2007).

Básicamente se pueden distinguir dos patrones de pudriciones blancas:

- Pudrición blanca simultánea, donde la lignina, las hemicelulosas y la celulosa son atacadas a la misma velocidad dejando las paredes de las células adelgazadas, e incluso a veces perforadas.
- Pudrición blanca selectiva, donde existe un ataque preferencial por la lignina y las hemicelulosas dando un aspecto de desfibrado por la desaparición de la laminilla media cementante.

Las especies fúngicas más importantes causantes de pudriciones blancas, representadas por taxa del phylum Basidiomycota, son: *Coriolus versicolor*, *Fomes* sp., *Ganoderma applanatum*, *Pholiota* sp., *Pleurotus* sp. *Polystictus versicolor*, *Schizophyllum commune* y *Trametes* spp.

#### Pudrición parda

Este tipo de pudrición es el resultado de un proceso complejo en el cual se remueve selectivamente la celulosa y las hemicelulosas, quedando la lignina altamente oxidada. A partir del lumen los hongos causantes de la pudrición parda degradan la celulosa en las capas S1 y S2. Aunque la capa S3 queda intacta o poco modificada, la madera se torna quebradiza en sentido transversal y perpendicular al eje mayor de la estructura de los elementos celulares axiales de la madera y se torna de color pardo-café (Schwarze 2007).

Estos hongos, que también pertenecen al phylum Basidiomycota, solo atacan los polisacáridos. En

estadios tempranos ya se evidencia una reducción de la fuerza mecánica de la madera, aunque no necesariamente pérdida de peso seco. El proceso involucra un mecanismo con la participación de especies reactivas de oxígeno, incluyendo el radical libre \*OH, que es el más reactivo en la degradación oxidativa de los polisacáridos de la madera. También cantidades significativas de ácido oxálico y otros metabolitos de bajo peso molecular están implicados. Como indicado, existe modificación de la lignina, principalmente a través de reacciones de demetoxilación y la consecuente aparición de grupos cromóforos de neo formación.

Los taxa fúngicas que producen este daño corresponden a representantes del phylum Basidiomycota con ejemplos como: *Coniophora puteana* (syn. *Coniophora cerebella*), *Laetiporus sulphureus* y *Phaeolus schweinitzii*, *Poria* spp. y *Serpula lacrimans* (syn. *Meriulus lacrymans*). (Canella et al. 2000).

### **Pudrición blanda**

Este tipo de pudrición es causada principalmente por hongos pertenecientes al phylum Ascomycota que a consecuencia de su colonización en la madera y el desarrollo de colonias superficiales generan un material leñoso con aspecto blando y amarronado.

La formación de cavidades en la capa S2 de la pared es el rasgo morfológico característico de este tipo de pudrición y que está influida por el tipo de madera.

Hay dos tipos de pudrición blanda:

- Tipo I (común en coníferas), se observan cadenas de cavidades romboidales dentro de la S2, normalmente alineadas con las microfibrillas de celulosa (se hipotetiza que la formación de las cavidades es el resultado de fases de crecimiento oscilatorio de las hifas que penetran en la pared celular, seguida por la degradación de la pared celular secundaria que las rodea).
- Tipo II (común en angiospermas), se observa una erosión gradual de toda la pared secundaria, aunque la laminilla media persiste aún en estadios avanzados del deterioro (ésta se distingue de la pudrición blanca simultánea, ya que en esta última la laminilla media se erosiona e incluso puede destruirse completamente; (Worrall et al. 1997; Schwarze 2007).

La pudrición blanda es causada por un amplio rango de hongos, incluyendo representantes de los géneros *Alternaria*, *Coniothyrium*, *Chaetomium*, *Humicola*, *Stemphylium* y *Ustulina* entre otros. .

Factores que condicionan el biodeterioro de madera.

Es importante precisar que mayoritariamente los modelos de biodeterioro están relacionados con procesos deficientes de mantenimiento, lo cual ha permitido en parte el desarrollo de este tipo de microorganismos, y cuyo efecto directo en el material es una significativa disminución de las propiedades mecánicas de los elementos componentes, aun cuando su presencia haya sido imperceptible (Ortiz et al. 2011).

La susceptibilidad al biodeterioro de la madera está condicionada por diferentes factores que pueden favorecer el crecimiento de los hongos. Ellos incluyen a la humedad relativa, el contenido en agua, oxígeno, temperatura, pH, entre los más significativos. También existen influencias biológicas que generan efectos recíprocos entre diferentes organismos como antagonismo y sinergia (Schmidt 2006).

La humedad en la madera existe en dos formas diferentes. Se distingue un agua ligada o higroscópica dentro de la pared celular que se asocia por medio de puentes de hidrógeno a los grupos hidroxilo, principalmente en la celulosa y las hemicelulosas, y en menor medida en la lignina. La otra forma es el agua libre o capilar en forma líquida que también se encuentra en el lumen celular (Schmidt 2006).

Como la degradación fúngica de la madera involucra mayoritariamente la acción de enzimas, que son activas en sistemas acuosos, y debido a que las hifas consisten de hasta un 90% de agua, no hay dudas sobre los requerimientos de agua por los hongos de la madera. Se considera en líneas generales que la humedad de la madera debe estar comprendida entre el 20 % y el 100 % para promover la colonización fúngica de la madera y su biodeterioro. Mientras que por debajo del 20 % los hongos probablemente no crecen, por encima del 100 % no existe el oxígeno suficiente para su metabolismo.

En conjunto, el agua y el contenido de humedad de la madera, son los factores más importantes para la degradación de la madera por hongos y, por lo tanto, también para la protección de la madera. Con respecto a la humedad óptima para el crecimiento de los hongos se considera que debe ser del orden del 25 % y en cuanto a la temperatura el rango está entre 5 °C y por encima de 55 °C.

El valor del pH de la solución asociada a la madera también influye en la germinación de las esporas, el crecimiento micelial y la actividad de las enzimas en el proceso de degradación, así como en la formación de las fructificaciones que los hongos pueden diferenciar sobre la madera que deterioran. El pH óptimo para el crecimiento de los hongos en la madera es entre 5 - 6. Aunque estos parámetros son estándares, no siempre pueden aplicarse de manera directa para predecir la probabilidad de la infección y

colonización de los hongos sobre madera y su avance en el sustrato, ya que el ambiente donde se encuentra la madera en análisis está también expuesto a otras múltiples variables que pueden favorecer o no su biodeterioro.

## **CONTROL DE LOS HONGOS QUE DETERIORAN MADERA**

Siempre en conservación de bienes culturales se pretende evitar la intervención sobre los objetos. Por lo tanto se apunta a la conservación preventiva que es una estrategia de conservación del patrimonio cultural que propone un método de trabajo sistemático para identificar, evaluar, detectar y controlar los riesgos de deterioro de los objetos, colecciones, y por extensión cualquier bien cultural. Su objetivo fundamental es eliminar o minimizar dichos riesgos, actuando sobre el origen de los problemas, que generalmente se encuentran en los factores externos a los propios bienes culturales, evitando con ello su deterioro o pérdida y la necesidad de acometer drásticos y costosos tratamientos aplicados sobre los propios bienes. Los factores medioambientales, por tanto, juegan un papel decisivo puesto que las reacciones del metabolismo microbiano se verifican en el medio en el que existen las condiciones adecuadas.

La contaminación microbiológica de los organismos básicamente está condicionada por la capacidad de retención de agua de los materiales atacado (humedad ambiental, humedad del propio material) además de las características propias de cada material (porosidad, rugosidad, superficie, etc.) Vaillant Callot & Valentín (1996). Por lo tanto tener un ambiente ventilado en condiciones adecuadas controlando que la temperatura sea estable y eliminando las fuentes de humedad que permitieron el desarrollo de los hongos, sería una de las medidas principales a realizar. También hay que tener en cuenta que la ausencia de notorios cambios en la temperatura y la humedad relativa del entorno no solo ayudará a evitar que los hongos activen sus propágulos de infección, avancen en su colonización y acción en la degradación, sino que mantendrá también estable a la madera, que puede ser el vehículo de otros hongos o de sus propágulos de dispersión. La susceptibilidad que tiene una madera al ataque producido por microorganismos depende, sobre todo, de su contenido de humedad. La madera es un material higroscópico y su contenido de humedad está en equilibrio con la humedad relativa del ambiente. El ataque por parte de microorganismos se produce cuando el contenido de humedad es superior al 20 %.

La aplicación de métodos químicos, como biocidas, físicos, radiación ultravioleta, rayos gamma, para el control de los hongos que deterioran la madera, pueden ser de utilidad en determinados casos. Siempre hay que analizar las características del

objeto, es decir, si tiene pintura, herrajes, patinas, incrustaciones, etc. Además la misma madera, más allá de los organismos que pueda tener asociados y por lo tanto inactivados, puede sufrir daños por ese tipo de tratamientos.

La presencia de estructuras fúngicas y su carga en sitios donde se custodian colecciones biológicas o piezas de importancia histórica utilizando soportes leñosos representan una potencial amenaza tanto para el material como para el personal involucrado (Caneva et al. 1994). El análisis microbiológico del aire puede ser relevante para establecer el riesgo potencial que existe para la salud de las personas y para la conservación de las maderas en estudio. En este caso, los microorganismos pueden ser utilizados como bio indicadores de la situación de riesgo de las condiciones ambientales.

Finalmente, la falta de mantenimiento del edificio, las restauraciones inadecuadas y la limpieza escasa o nula de la madera en servicio también pueden contribuir al deterioro, causando en muchos casos, daños irreparables.

## **Perspectivas**

Existe un registro de información sobre hongos xilófagos asociados con el deterioro de árboles, la Base Internacional de Datos sobre Fracturas de Árboles (ITFD), on-line en <http://ftcweb.fs.fed.us/natfdb>, donde se promueve a los especialistas a informar sobre el tipo de pudrición de la madera y la presencia e identificación de hongos xilófagos. La actualización de esta información tiene utilidad para diversas disciplinas donde la madera es su principal objeto de estudio.

Es importante continuar y profundizar los estudios acerca de la diversidad y daños estéticos y estructurales que los hongos xilófagos pueden generar tanto en soportes activos de madera como en obras de arte que ellos albergan con el objetivo de generar estrategias para minimizar los riesgos de pérdida o deterioro de los mismos.

Hoy en día, se dispone de prometedoras tecnologías que permiten realizar con precisión diagnósticos de alteraciones y diseñar soluciones altamente eficaces. No obstante, debe tenerse en cuenta que la conservación de la madera requiere de un enfoque multidisciplinar imprescindible para conseguir un auténtico avance en su preservación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo financiero concedido por: Proyecto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de La Plata (N897) (2019-2022); ANPCyT (PICT 2015-1620, M.S.)

## BIBLIOGRAFIA

- Anagnost, S.E. (1998). Light microscopic diagnosis of wood decay. *IAWA Journal* 19: 141-167
- Blanchette, R., Jurgens, J., Held, B., Arenz, B., Smith, J. (2005). Decay of historic and archeological wooden structures: degradation processes and molecular characterization of Wood destroying fungi. En: X REUNIÓN SOBRE investigación y desarrollo en productos forestales – International Academy of Wood Science Meeting: 14-17 de Noviembre de 2005. Concepción, Chile.
- Berrocal Jimenez, A. (2007). Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 4(10)
- Blanchette, R., Jurgens, J., Held, B., Arenz, B., Smith, J. (2005). Decay of historic and archeological wooden structures: degradation processes and molecular characterization of Wood destroying fungi. En: X REUNIÓN SOBRE investigación y desarrollo en productos forestales – International Academy of Wood Science Meeting: 14-17 de Noviembre de 2005. Concepción, Chile.
- Caneva, G.; Nugari, M.P.; Salvadori, O. (1994). *La biología en la restauración*. Ed. NEREA, S.A., 2000. España. 275p.
- Carlile, M.J., Watkinson, S.C. & Gooday, G.W. (2001). *The Fungi*. Academy Press, London, 588p
- Eaton, R.A. & Hale, M.D.C. (1993). *Wood: decay, pests and protection*. Chapman & Hall, London, 546p
- Hueck H.J. (1965) "The biodeterioration of materials as part of hylobiology" *Mater Org* 1:5-34.
- Jennings DH & Lysek G (1999) *Fungal biology*, 2nd edn. Bios, Oxford
- Luley, C.J. 2005. *Wood Decay Fungi Common to Urban Living Trees in the Northeast and Central United States*. Urban Forestry LLC. Naples, NY.
- Ortiz, R.Z, 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*. Volumen 10 No 2.
- Reinprecht, L. (2008): *Ochraha dreva /Wood protection/*. Handbook, Technical University in Zvolen - Slovakia, 453 p.
- Rodríguez, J. (1998) *Patología de la Madera*. Fundación del Valle de Salazar. Editorial Mundi Prensa. España. 349 p.
- Schmidt, O. (2006). *Wood and Tree Fungi. Biologi, Damage, Protection and Use*. Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 336p.
- Schwarze, F.W.M.R., Engels, J. & Mattheck, C. (2000). *Fungal Strategies of Wood Decay in Trees*. Springer, New York, NY.
- Schwarze, F.W.M.R., Mattheck, C. & Engels, J. (2004). *Fungal strategies of wood decay in trees*. Springer, Heidelberg, 185 p.
- Schwarze, F.W.M.R. (2007). Wood decay under the microscope. *Fungal Biology Reviews* 21: 133-170.
- Vaillant Callol, M.& Valentín, R. (1996). *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*. Ministerio de Educación y Cultura, Madrid.
- Wilcox, W.W. (1978). Review of the literature on the effects of early stages of decay on wood strength. *Wood and Fiber* 9:252-257
- Worrall, J.J., Anagnost, S.E. & Zabel, R.A. (1997). Comparison of wood decay among diverse lignicolous fungi. *Mycologia* 89(2): 199-219.

# ESTUDIOS Y SERVICIOS TECNOLOGICOS SOBRE MADERA REALIZADOS EN EL LEMIT

L. P. Traversa, F. H. Iloro, G. A. Molinari <sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

La madera, uno de los materiales históricamente utilizados en la construcción tanto con fines estructurales como funcionales y estéticos, tiene una estructura tubular de conductos paralelos conformados a base de lignina y celulosa, que le confiere un comportamiento mecánico óptimo en el sentido de las fibras, dada su naturaleza anisótropa (que ofrece distintas propiedades cuando se examina o ensaya en direcciones diferentes).

Dadas sus cualidades, origen y el tratamiento recibido previa, durante y posteriormente a su utilización como elemento constitutivo de una determinada obra, la madera es un material proclive al deterioro hasta grados de irreversibilidad. Entre los agentes destructores de la madera se pueden distinguir dos tipos: bióticos y abióticos:

Los agentes abióticos, en la mayoría de las ocasiones, producen daños leves a la madera a excepción del fuego prolongado. El peligro de estos radica en que en muchas ocasiones son la vía de entrada de agentes bióticos tales como hongos o insectos. Los agentes abióticos son:

- El agua: produce merma, esponjamiento y pudrición de la madera.
- El sol: es el fenómeno que se conoce como fotodegradación.
- El fuego: que destruye progresivamente la albura y el duramen.
- Agentes mecánicos, físicos y químicos.

Dentro de los principales agentes bióticos se destacan, según su naturaleza:

- Bacterias
- Hongos cromógenos o de pudrición parda, blanca o cúbica
- Insectos xilófagos (que roen la madera): coleópteros: carcoma y polilla; isópteros: termitas; lepidópteros: mariposas; himenópteros: hormigas.
- Aves (pájaro carpintero, etc.)

## Principales patologías de la madera

• *Daños producidos por el agua:* El agua, en contacto con la madera, penetra a través de las fibras saturando los poros tubulares y cuando alcanza grados de humedad entre el 25-35% produce la hinchazón de la misma. Afecta al duramen y, sólo en algunas ocasiones, a la albura creando las condiciones idóneas para la aparición de hongos de pudrición y mantener las condiciones de hábitat de insectos xilófagos, termitas y carcoma. La pérdida por desecación de esta humedad produce merma en la madera con la consiguiente aparición de grietas y fendas.

• *Daños producidos por el sol:* Este tipo de ataque viene originado por la acción de los rayos ultravioletas sobre la lignina, atacando la albura y produciendo desfribramiento superficial con la consiguiente aparición de crestas (periodo otoño-invierno), valles (primavera) y manchas de tonos grisáceos originadas por la fotodegradación. Estos daños afectan a elementos vistos y sólo tienen trascendencia estética.

• *Daños producidos por variaciones de temperatura:* La madera soporta bien los cambios de temperatura siempre y cuando sean lentos y progresivos, ya que de no ser así podrían originar fendas o grietas creando vías de entrada de humedad y favoreciendo la aparición de hongos e insectos xilófagos.

• *Daños producidos por el fuego:* El fuego ataca de forma relativamente lenta y progresiva. Por debajo de los 275°, sólo se desprende vapor de agua, desecando la madera y dificultando el ataque del fuego. Por encima de los 275° la reacción es exotérmica y cuando se alcanzan los 450° se empieza a originar residuo sólido en forma de carbón, susceptible de quemar y por tanto de causar colapso estructural. Debido al bajo coeficiente de dilatación de la madera, una vez desecada y carbonatada superficialmente ésta queda protegida relativamente de la acción del fuego, habiendo casos de inmuebles que han sufrido incendios y la estructura de madera ha conservado el duramen de sus escuadrías intacto y por tanto su capacidad resistente.

<sup>1</sup> Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT), CICPBA. Calle 52 e/121 y 122. (1900) La Plata. Buenos Aires. Argentina.. patrimonio@lemit.gov.ar.

• *Daños por agentes bióticos:* Debido al origen orgánico de la madera, este material puede sufrir el ataque de agentes xilófagos como hongos de pudrición y termitas (la principal plaga de la madera), que disminuyen su resistencia mecánica. Sin embargo, para la acción de la mayoría de estos organismos se requieren contenidos de humedad y/o estados de la madera que no deberían ser frecuentes en estructuras bien diseñadas, construidas y protegidas.

Los principales agentes degradadores de la madera son los hongos e insectos xilófagos. Los hongos xilófagos son de dos tipos: hongos cromógenos y de pudrición.

Los hongos cromógenos se alimentan del contenido celular de las células vivas de la madera, pero no de la pared celular. El único efecto importante que producen sobre la madera es un cambio de coloración (azulado) pero en general no afectan a la resistencia mecánica, ya que no alteran la pared celular, responsable de la resistencia de la madera.

Los hongos de pudrición sí se alimentan de la pared celular, por lo que producen una pérdida de resistencia de la madera. Estos hongos pueden ser de pudrición parda o de pudrición blanca. Los primeros se alimentan de celulosa y no atacan la lignina, que se caracteriza por un color más oscuro. Con su ataque, la madera se rompe y deja cubos o formas paralelepípedas, por lo que a veces se denominan también hongos de pudrición cúbica.

Los hongos de pudrición blanca se alimentan de lignina y no atacan la celulosa, caracterizada por un color más claro. Con su ataque, la madera se rompe en fibras, por lo que a veces se les denomina también hongos de pudrición fibrosa.

Las condiciones higrotérmicas que favorecen el ataque de estos hongos xilófagos son:

a) Humedad de la madera: ésta debe estar comprendida entre el 20% y el 100%. Por debajo del 20% el hongo no puede desarrollarse y por encima del 100% no existe el suficiente oxígeno para que éste viva. El desarrollo óptimo de la mayoría de los hongos xilófagos se alcanza al 40% de humedad.

b) Temperatura: la temperatura óptima para el desarrollo de los hongos oscila entre 3 y 40°C, encontrándose su óptimo alrededor de los 25°C.

En el mundo existe una gran diversidad de insectos que se alimentan de madera, siendo los siguientes tipos de insectos xilófagos los más habituales:

• Los líctidos (polillas) tienen larvas que se alimentan del almidón contenido en la pared celular. Sus galerías son de 1 mm de diámetro con

serrín; los orificios que dejan en la madera al salir de ella como insectos adultos son también de 1 mm de diámetro. En ocasiones atacan la madera dos veces por año. Atacan principalmente la madera seca de frondosas de vasos grandes y con importante contenido en almidón (roble, castaño, nogal, fresno, olmo). Los daños que producen son principalmente estéticos, no estructurales.

- Los anóbidos (carcoma fina) tienen larvas que se alimentan de la celulosa de la pared celular. Sus galerías son de 2-3 mm de diámetro con serrín menos fino que el de la polilla y los orificios que dejan en la madera al salir de ella como insectos adultos son también de 2-3 mm de diámetro. Atacan madera -de todo tipo- cada año, tanto de frondosas como de coníferas. Los daños que causan son más importantes que los de la polilla, pero son estéticos, no estructurales.
- Los cerambícidos (carcoma gruesa) tienen larvas que se alimentan de la celulosa de la pared celular. Sus galerías son de 6 mm de diámetro con serrín muy basto, los orificios que dejan en la madera al salir de ella como insectos adultos son también de 6 mm de diámetro y tienen forma elíptica. Atacan la madera cada varios años (de 3 a 11), preferentemente la de coníferas. Los daños que producen afectan su resistencia y pueden debilitarla notablemente si el número de insectos es elevado.
- Las termitas (en nuestro país, sobre todo la especie *Reticulitermes lucifugus*) son la plaga más peligrosa de la madera, pues son insectos que atacan masivamente la madera y pueden ocasionar su completa degradación. Los ataques de termitas son producidas por las denominadas obreras adultas. Viven en termiteros en el interior del suelo, normalmente a 4-5 m de profundidad. Cuando alcanzan la madera objetivo, se alimentan de la celulosa, para lo cual practican galerías en dirección de la fibra, dejándolas libres de serrín, dado que todos los días vuelven al termitero. No suelen dejar huellas exteriores de sus ataques (no existen orificios de salida), y habitualmente su presencia se detecta sólo cuando la madera se rompe por falta de resistencia. Necesitan humedad para vivir, pero atacan perfectamente a las maderas secas, para lo cual llevan humedad del suelo o de zonas húmedas de paso hasta la madera.

## CASOS DE ESTUDIO

A continuación se presentan los casos más relevantes estudiados en el LEMIT vinculados con la caracterización y técnicas de protección de maderas que conforman bienes patrimoniales de la provincia de Buenos Aires.

Se presentan los estudios ejecutados sobre el Ícono de la Rosa, existente en la iglesia San Francisco de Asís de la ciudad de La Plata; casas de madera del período fundacional en La Plata y Berisso; Colonia Hinojo de alemanes del Volga (Olavarría); Palacio de Tribunales (La Plata), estancia Luis Chico (Punta Indio) y en una lápida del cementerio judío de Algarrobo (Carlos Casares).

### **1.- ÍCONO DE LA ROSA, Iglesia San Francisco de Asís, La Plata**

El Complejo parroquial abarca la manzana comprendida entre la Avenida 13 y las calles 12, 68 y 69 de la ciudad de La Plata. Perteneciente a la Orden Franciscana está compuesto por: la Iglesia Nuestra Señora de la Asunción de San Francisco de Asís, la Casa Parroquial, el Convento, el Colegio Fray Francisco de Paula Padre Castañeda, un campus deportivo, locales destinados al Grupo Scout Nuestra Señora de Luján y a la Liga de Madres de Familia y también una sala de teatro.

En 1884, al instalarse las primeras autoridades civiles de la provincia de Buenos Aires, la Orden de los Frailes Menores solicitó al Gobernador Dardo Rocha los terrenos para un convento y, en respuesta a ello, le fue cedida una manzana de tierra frente al “Parque de las Aguas” (actual Parque Saavedra). El Gobernador D’Amico, en la escritura de concesión, ratifica la donación a fin de establecer un colegio, una iglesia y un convento, bajo la jurisdicción de la Gran Provincia Argentina Franciscana.

Comenzaron entonces los trabajos de construcción de los locales primitivos (salón de actos, salas contiguas, habitaciones interiores y la iglesia) levantados con el apoyo de la comunidad, algunos aportes provinciales y colaboración de la mano de obra de los cinco frailes residentes. Las obras concluyeron en 1889.

Los planos originales de la iglesia fueron encomendados por el Convento de Orden Franciscana de la ciudad de Buenos Aires al arquitecto francés León Meusnier pero el proyecto de estilo neogótico fue descartado por su alto costo. Es entonces cuando el Ing. Batillana reformula el templo en una pequeña edificación que respondiera a las necesidades perentorias del momento. Cabe mencionar que no se encontraron registros fotográficos de esta construcción.

A finales de siglo XIX se inauguró la primera escuela franciscana bajo los reglamentos del Estado, contando con una matrícula de 60 alumnos. Con el fin de ampliar las precarias instalaciones, los frailes recolectaban donaciones, muchas de ellas en especias (ladrillos, cal, arena) y otras en útiles escolares concedidos por la Dirección de Escuelas y el Consejo Escolar de la Provincia de Buenos Aires.

En abril de 1902 la iglesia fue destruida por un incendio, quedando sólo en pie las paredes laterales y el frontispicio, improvisándose un altar en la esquina de las calles 12 y 68 para las misas y ceremonias. Los periódicos locales narran la forma en que se recolectaron fondos: kermeses, espectáculos líricos y formación de comisiones y asociaciones religiosas en pos a la reconstrucción. En noviembre de ese mismo año, el templo de una sola nave se reinaugura, manteniendo los elementos morfológicos del templo original, como los tres arcos, la doble puerta y el rosetón del frontis. En 1922 se convierte en la cuarta parroquia platense.

La restauración y ampliación de la iglesia, a cargo del arquitecto Ciochini, se hizo efectiva mediante un subsidio acordado por el Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, la Dirección General de Arquitectura, el Jockey Club de la Provincia de Buenos Aires y la Acción Católica. Con los mismos fondos la casa franciscana de la Asunción de la Santísima Virgen se convertiría en un “noviciado” para las nuevas vocaciones de la Orden.



Figura 1. Iglesia San Francisco de Asís, La Plata.

El 10 de diciembre de 1945 se celebró la ceremonia religiosa de enlace del entonces Coronel Juan Domingo Perón y Eva Duarte. Debido a este suceso, en 1974 el templo es declarado Sitio Histórico de la Provincia de Buenos Aires. Durante el Gobierno de

facto (1976-1983) la Junta Militar lo excluye de esta lista siendo reincorporado luego del restablecimiento de la democracia.

En julio de 1946 la manzana aún figuraba como terreno fiscal de la ciudad de La Plata, gestionándose ese mismo año la escritura definitiva del Convento. La Provincia canceló las deudas de las obras a través de subsidios provinciales del Plan Trienal en 1947.

En marzo de 1951 se incorporó un valioso ícono de estilo bizantino proveniente, según información disponible, de Constantinopla y datado a finales

del siglo XIV. Se trata de la Virgen de La Rosa, donada por la Orden Ecuéstre de los Caballeros del Santo Sepulcro de Jerusalén de la antigua abadía benedictina de San Simpliciano en Milán, Italia.

*Descripción del ícono de la Virgen de la Rosa:* se trata de una tabla de dos encastres con cuatro travesaños posteriores de madera y tres travesaños metálicos de sujeción colocados posteriormente en una intervención de restauración para evitar el pandeo de las maderas. Tradicionalmente preparada con colas animales y yeso (no se pudo comprobar la existencia del tradicional entelado), pintada al temple





Iniciales: D E P

Inscripción: Milano 10/11/50 ITALIA

sobre un fondo de lámina de oro, bruñida a la piedra y barnizada, se halla encofrada en una caja de bronce con su frente finamente repujado y porta aplicaciones metálicas coronando las figuras principales.

- Examen visual con luz natural (Tabla 1)
- Examen visual con luz rasante, iluminando desde un solo lado y con un ángulo de incidencia superior a los 80° respecto de la superficie (Tabla 2).

El año del encofrado se halla inscripto con lápiz de grafito en el contramarco posterior izquierdo, sitio y fechas de la probable última intervención de restauración. Se desconoce el autor del icono, pero en el ropaje de la figura de la Virgen aparecen tres letras capitales que probablemente pertenezcan al nombre del iconógrafo.

Los alcances del relevamiento no incluyeron el análisis a través de Rayos X por la imposibilidad de trasladar el icono. Para los estudios de laboratorio de microorganismos se retiraron muestras de los contramarcos para analizar los posibles ataques biológicos, además de inspeccionar a lupa toda la superficie pictórica.

La tonalidad del cuadro se encuentra oscurecida y posee las incrustaciones de dos coronas de metal y piedras (manufacturadas especialmente para la entronización en el camerino).

En la Tabla 3 se resume el estado de conservación antes de la intervención.

**Relevamiento de patologías:** se pudo apreciar una pátina oscura que cubría toda la superficie y una incorrecta iluminación que reflejaba en el vidrio de protección haciendo dificultosa la lectura de la imagen. Para un análisis detallado se retiró el icono del gabinete y se realizaron fichas de comprobación de estado de la obra teniendo en cuenta las técnicas de análisis del soporte por medio de las cuales puede realizarse una correcta programación de intervención para su preservación:

**Procedimiento de conservación preventiva y limpieza superficial:** Se procedió a retirar la presencia de suciedades superficiales: partículas de polvo fijadas por las fuerzas de adhesión que formaban un “velo gris” sobre la capa de barniz, en combinación con el polvo provocado por el desprendimiento de partículas en la zona de craquelado de los barnices que formaban “lagunas blanquecinas”.

Las partículas de polvo, generalmente poco adheridas a la superficie, fueron retiradas en seco (limpieza mecánica) mediante el uso de pinceles de pelo de marta. En una segunda instancia se procedió a retirar

Tabla 1: Examen visual en luz normal.

Tablas de soporte	Tipo de corte. Desbastes en el reverso. Travesaños, bastidores. Alabeos y pandeos. Ataques biológicos. Tipo de unión. Separaciones, rajaduras, fisuras. Injertos.
Travesaños	Tipo de corte. Tipo de amarre: clavos de forja, tarugos, zanja, cola. Deformaciones. Separaciones, rajaduras, fisuras. Ataque biológico.
Capa de preparación	Presencia de tela de encolado, fibras de refuerzo. Faltantes. abolsados

Tabla 2: Examen visual con luz rasante.

Reverso	Evidencia de anillos de crecimiento. Nudos, malformaciones. Evidencia el uso de herramientas. Separaciones, rajaduras, fisuras. Injertos. Faltantes. Desprendimientos. Intervenciones posteriores.
Anverso	Estudio de la capa pictórica. Alabeos y pandeos. Ataques biológicos. Separaciones, rajaduras, fisuras. Injertos. Faltantes. Desprendimientos. Intervenciones posteriores.

Tabla 3: Informe del Análisis del Estado de Conservación.

Soporte	Detalle
Tamaño original	se observa un recorte en el lado inferior de la obra, quedando también la imagen afectada tras esta intervención, donde las figuras allí presentes se ven cercenadas en comparación con las superiores.
Ataques de parásitos	se observan oquedades en el lado posterior de la tabla ocasionadas por insectos xilófagos (de los estudios realizados se concluye la inactividad de los mismos, presuponiendo una intervención con biocidas con antelación).
Abombamiento	presentan alabeos las tres tablas que componen la obra.
Grietas	las dos juntas, que hoy se observan abiertas en la superficie que abarca desde la mitad a la parte baja de la obra, muestran intervenciones de encolado en una intervención de restauración.
Reparaciones provisionales de la madera	no observable.
Reforzamiento de las juntas	presentes en el dorso con la inclusión de tres barras metálicas atornilladas en 6 puntos (las barras presentan un pintura tipo sintética en color negro, por lo que se deduce que esta intervención podría ser contemporánea al enmarcado de 1951).
Protección en el dorso	presenta una mano de pintura oscura que cubre casi la totalidad de la obra, ya que conforma parte de una imagen en negativo de la cruz del calvario rodeada de signos.

suciedades grasas por medio de limpieza húmeda mediante el uso de un tensoactivo de pH neutro e hisopos siempre controlando, para no dar ingreso de humedad a la capa pictórica.

En el anverso del icono se detectó una oquedad producida por un insecto xilófago. Para la desinsectación se procedió a la aplicación de un tóxico ligero que contiene como base esencia de trementina clarificada.

El contramarco de madera, que separa el icono del cofre de bronce, presentaba manchas de suciedad. Descartado el posible ataque de microorganismos, y a modo de prevención, se procedió a la limpieza e impregnación con un biocida compuesto por aceite de linaza doble cocido clarificado y aceite de trementina. Ante la presencia de oquedades de insectos xilófagos en el reverso del icono fueron utilizados los mismos criterios de limpieza y desinsectación.

Una vez concluidos los trabajos de conservación preventiva, el icono fue reintegrado a su gabinete previa limpieza y refuerzo del sistema de sujeción.

## 2.- CASAS FUNDACIONALES DE MADERA EN LA PLATA

El LEMIT inició, durante el año 2008, el relevamiento y estudio de bienes arquitectónicos patrimoniales de madera de la ciudad de La Plata. El estudio incluye la determinación del estado general de los bienes como así también el grado de deterioro que presentan.

Uno de los bienes relevados es la Casilla de Madera rescatada a mediados del siglo pasado de los fondos de un predio adquirido por el comerciante Carlos Servente quien la donara al municipio. Actualmente

forma parte del conjunto patrimonial platense por decreto sancionado en 1986 mientras que en 1990 fue declarada Monumento Histórico Provincial por la Ley 10.926. Durante años sufrió constantes ataques vandálicos e incluso se incendió en dos oportunidades, por lo que se perdió gran parte de su estructura original.

Se trata de una de las pocas viviendas de la época fundacional, importada desde los Estados Unidos, que se mantienen en pie. Pese a que por decreto el entonces gobernador Dardo Rocha estableció que las casas de La Plata deberían ser de cal y ladrillos revocados, ante la escasez de materiales y la urgencia de poblar la nueva ciudad se decidió comprar en Estados Unidos una remesa de casas prefabricadas



Casillas de madera para empleados, 1885. Foto: Tomás Bradley



Casilla existente en el Parque Saavedra, 2019

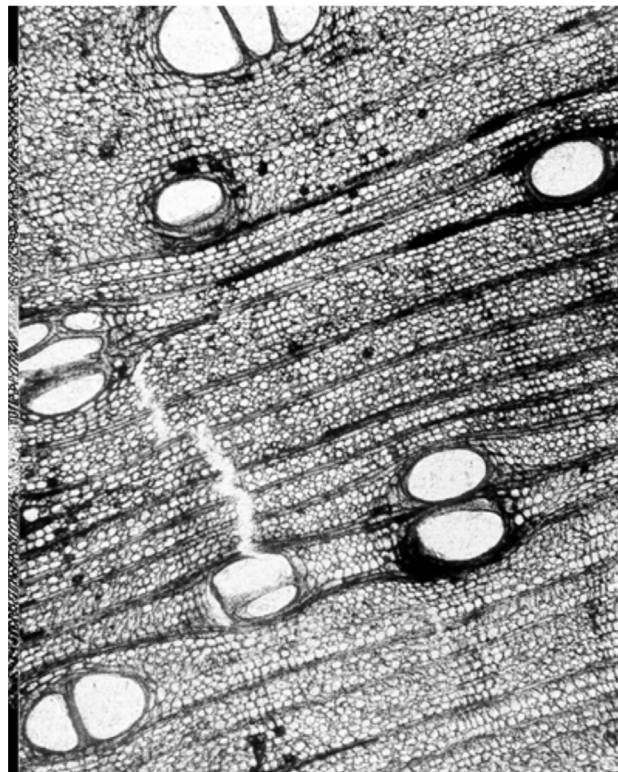
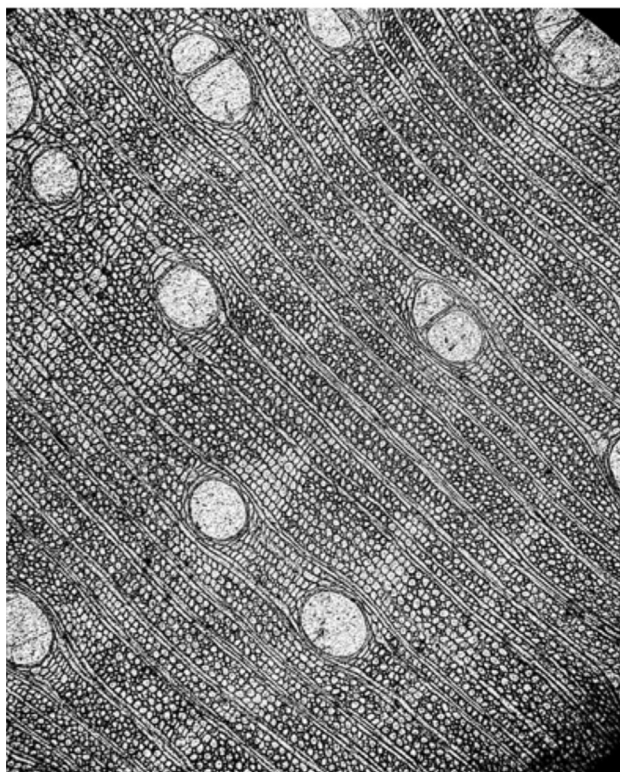
del estilo constructivo “balloon frame”, armazón de maderas clavadas entre sí, que llegaron al puerto de La Plata en marzo de 1884 y fueron destinadas a funcionarios y empleados públicos, según los registros periodísticos de la época.

Durante el relevamiento se fotografió y se sacaron muestras para ver el estado de deterioro de la madera. Para esto fue necesario identificar el sector original de la casilla de donde se obtuvo la muestra y mediante técnicas de microscopía óptica desarrolladas en el laboratorio, donde se permite plasmar en un corte el estado real de la muestra, sin modificarla, se puede observar la degradación real. Además, a partir de estos cortes se detectó que la especie de madera corresponde a roble (quercus sp.) y se determinó

la presencia de organismos biológicos, datando un proceso de biodeterioro activo. La especie determinada confirma que la muestra analizada ha sido importada, casi con seguridad, de Estados Unidos.

Complementariamente se estudió metalográficamente un clavo cilíndrico, liso, con cabeza ovalada de 50 mm de largo y 2 mm de diámetro el cual se encuentra corroído. Como conclusión sobre los estudios realizados se puede concluir que el clavo extraído de la casilla es moderno, de fines del siglo XIX o principios del XX.

El acero fue producido por el proceso de convertidor soplado con aire, acero Bessemer, debido al bajo



Microscopía óptica.



Clavo en estado original (oxidado).



Clavo limpio por medio de abrasión mecánica.

contenido de carbono que se observa, (el acero Bessemer se empezó a usar en 1860-1870), y por la forma del clavo, cabeza y cuerpo cilíndrico es decir industrializado, se infiere que dicho clavo corresponde al período histórico antes mencionado.

### 3.- CASAS DE MADERA. Hilandería de Berisso

La Sociedad Anónima The La Plata Cold Storage Company Limited se hace presente en el terreno conocido como “Saladero” hacia 1911, con la construcción de un barrio para el personal superior de su frigorífico instalado en el Gran Dock del Puerto de La Plata. El barrio, que en realidad había nacido como un conjunto habitacional, educacional y deportivo, estaba conformado por casas de madera; una Escuela; un Hotel (presumiblemente para los empleados solteros) e instalaciones deportivas y complementarias.

Las casas de madera fueron posteriormente reubicadas, una de las cuales se encuentra todavía en uso y con estado de conservación adecuado, mientras que la que se localizaba lindera a la iglesia María Auxiliadora, fue desmantelada hace pocos años.

Debe mencionarse que fue posible observar que los solados de madera de la planta superior del Hotel se encuentran afectados por putrefacción debido

a la exposición al agua e infectados con plaga de insectos. Toda la carpintería es de madera de pinotea, observándose alteraciones por ataques de insectos en las ventanas de planta baja y en los marcos.

### 4.- COLONIA HINOJO, Olavarría

En el transcurso del siglo XIX, el vasto territorio de la Provincia se reconocía propicio para la explotación agrícola-ganadera y por esa razón su ocupación fue fomentada por sucesivos gobiernos con la finalidad, entre otras, de fortalecer los vínculos comerciales con el resto del mundo. Es en ese marco que se implementaron diversas políticas y estrategias por parte de los gobiernos de turno para consolidar la ocupación de las tierras. Desde comienzos del siglo XIX y durante más de cincuenta años, un sinnúmero de campañas se llevaron a cabo con la finalidad de conquistar, dominar y explotar el “desierto” territorio bonaerense. Durante la presidencia de Nicolás Avellaneda fue expreso interés del gobierno la colonización del territorio nacional con el aporte extranjero, asociándolo a la producción agropecuaria. En ese contexto y con ese objetivo fue sancionada, en octubre de 1876, la Ley de Inmigración y Colonización (Ley Avellaneda) que establecía las condiciones que debería reunir todo interesado en ingresar al país (acreditar su buena conducta y actitud para cualquier industria, arte u oficio útil...) y



Casa sobre calle 7 y casa lindera a la Iglesia María Auxiliadora (demolida).

Detalles de alteraciones de los pisos de madera.

las ventajas con que gozaría (ser alojado y mantenido a expensas de la Nación, durante el tiempo fijado [...] ser colocado en el trabajo o industria existente en el país, a que prefiriese dedicarse [...] ser trasladado a costa de la Nación, al punto de la República a donde quisiese fijar su domicilio...). La puesta en marcha de esta Ley implicó la creación de diversas comisiones, en el país y en el extranjero, que serían las encargadas de difundir, fomentar y controlar los medios de la deseada inmigración.

En este contexto surgieron gran cantidad de colonias agrícolas en el país y, en mayor escala en la provincia de Buenos Aires, como producto de la gestión de comisiones creadas ad hoc. Entre éstas la Jewish Colonization Association creada y dirigida por el Barón Mauricio Hirsch (que diera origen a la "Colonia Mauricio", primera colonia judía organizada por la J.C.A. en el país, actualmente constituida por los pueblos rurales de Smith, Moctezuma, Mauricio Hirsch y el Paraje Algarrobos) y la comisión integrada por Andreas Basgall, Santiago Lechmann, Juan Berger y Adán Weimann que propiciaron la llegada de un primer contingente de alemanes del Volga.

Es gracias a esta gestión que surgió la primera colonia de alemanes del Volga en Argentina: "Colonia Santa María de Hinojo" (hoy Colonia Hinojo), fundada el 5 de enero de 1878. La nueva colonia era referida como Kamenka por los colonos en alusión a la aldea de la cual provenían las familias.

Una de las viviendas más antiguas de Colonia Hinojo, construida cerca de 1880, constituye un ejemplo del tipo clásico de las viviendas ejecutadas en la colonia se reproducen algunos elementos arquitectónicos transculturados de Rusia.

Las viviendas están construidas en mampostería de ladrillos y algunos sectores de servicio, ejecutados en piedra. En algunas de ellas se detectan elementos de madera como por ejemplo, cenefas y pilares de barandas alrededor de patios. También se detectaron carpinterías (marcos, hojas, bastidores, etc. de ventanas y puertas) ejecutados en madera.

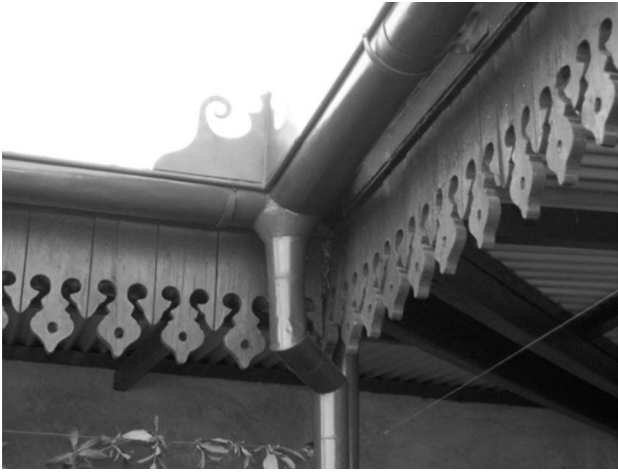
Durante la inspección realizada se llevó a cabo una identificación de maderas provenientes de las cenefas y pilares de la baranda de la galería de una vivienda típica. La identificación fue realizada siguiendo la práctica de identificación con observaciones a lupa (10x) y microscopio óptico (40x) con tinción, con el fin de observar características que permitieron la identificación de especies de maderas mediante el apoyo de claves dicotómicas. Por último, se corroboró mediante la comparación macroscópica de cortes de maderas, la especie identificada basándose en características específicas (grano, textura, color,



Parroquia Natividad de la Santísima Virgen



Parroquia Natividad de la Santísima Virgen



Cenefas y carpinterías de viviendas.



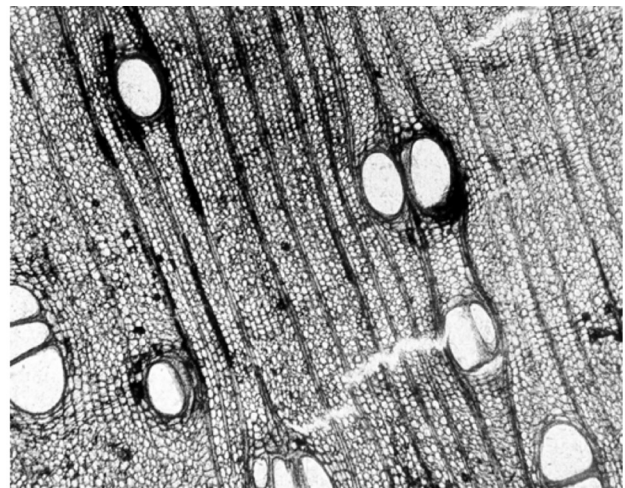
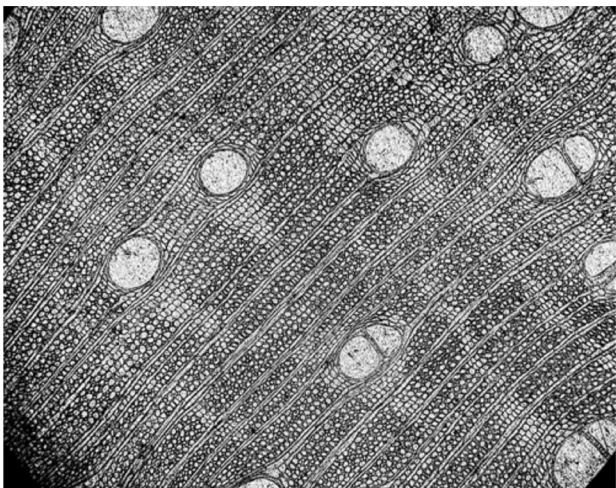
Cenefa y parantes evaluados.

olor, entre otras) que en su conjunto hacen a la identificar la madera analizada.

Para la determinación se tomó una muestra mínima del material desprendido de la pieza, luego este fue lijado de manera superficial para poder observar la estructura estratificada, los veteados, los colores originales ya que todas las piezas presentan un recubrimiento superficial en un estado de deterioro avanzado. Una vez obtenida la madera limpia, se realizaron observaciones a ojo desnudo y luego a lupa (10X) para determinar color, brillo, olor, textura, dirección del grano, vetado y características generales de la madera.

Luego se procedió a realizar cortes ultrafinos, para ser observados al microscopio óptico (40X). Estos fueron realizados en sentido paralelo a la sección transversal hasta una superficie limpia. Luego se le humedeció con una solución al 1% de azul de metileno con el fin de lograr un mayor contraste entre las estructuras anatómicas de la madera (vasos, parénquima y radios), especialmente a nivel de parénquima

En primera instancia se observó macroscópicamente que es una madera liviana, una de ellas presenta un color amarillo-ocre con un brillo dorado muy pronunciado y la otra es de color castaño rojizo, con vetas pronunciadas, y un brillo dorado suave. Es una



Anatomía de la madera, F: Fibras, P: Parénquima, R: Radios, V: Vaso.

madera no porosa, sin canales resiníferos, madera de color blanco amarillento a castaño amarillento claro de textura media a fina, liviana y blanda por lo cual según estas características en base a las claves dicotómicas se trata de *Cedrus* spp. (Cedro).

Los cedros constituyen un género de coníferas y cabe destacar que la diferencia de color observadas en las dos muestras estudiadas habla de dos cedros diferentes: el rojizo pertenece a la especie llamada Cedro Misionero, de climas subtropicales, mientras que la otra muestra corresponde a la familia de las coníferas llamadas Cedro Dorado, cuya madera es de color castaño claro amarillento con brillo dorado.

## 5.- PALACIO DE JUSTICIA, (Tribunales), La Plata.

Luego de haber declarado desierto un concurso al que se presentaron cinco propuestas, el proyecto de la construcción del Palacio de Justicia se le encomendó al Arq. Adolfo Buttner (1849-1917) en el año 1883 y fue ejecutado por la empresa Fiorini y Ferranti.

El edificio original es una organización a patio, que ocupa aproximadamente las dos terceras partes de la manzana que le fue asignada, (avenida 13, calles 14, 47 y 48), con una cubierta que combina techos planos con cúpulas: una principal sobre el acceso por avenida 13 y una en cada esquina. El esquema de armado es simétrico y responde a la mayoría de las composiciones decimonónicas de Palacio, con una gran Hall principal y una escalera de tres tramos iluminada por una gran lucarna. Posteriormente se efectuaron tres ampliaciones del edificio en distintos momentos históricos ocupando el resto del terreno posterior y, de distintos modos, el gran patio central. El Palacio de Justicia fue declarado Monumento Histórico Provincial por Decreto ley N°11.219 en el año 1992 y se constituye en uno de los ejemplos más significativos de edificio Público Fundacional.

Las cúpulas se componen, fundamentalmente, de:

1. Una estructura resistente de madera con anclajes, uniones y tensores metálicos, y un entrepiso de madera en correspondencia aproximadamente con la mitad de la altura.



Palacio de Justicia durante su construcción en 1884.

2. Un recubrimiento de pizarra redondeada de 0,40m x 0,20m sobre gajos curvos, rematando en una cubierta de chapa lisa a cuatro aguas, y un conjunto de piezas de chapas de zinc que conforman las lucarnas, los aristeles, los membrones y delantales.

El LEMIT realizó una inspección técnica en el interior de la cúpula central del edificio. Durante la misma se ha observado que algunos de los elementos estructurales de madera poseen deterioros significativos. La madera presenta orificios circulares de aproximadamente 2.0 mm de diámetro, con excavaciones en forma de galería, con desprendimiento de polvillo de aserrín lo que ocurre frente a pequeños movimientos.

Mediante un punzón se determinó la profundidad de alteración de la madera en distintos sectores de los elementos estructurales, obteniéndose un valor medio de profundidad de 20 mm., por lo cual podría suponerse que estos elementos se encuentran hasta esa profundidad fuertemente alterados ya que el punzón penetra fácilmente ejerciendo solamente una presión manual. Lo antes mencionado da idea de la presencia de insectos “taladro” (*Cerambycidae*), cuya larva se alimenta de la madera.

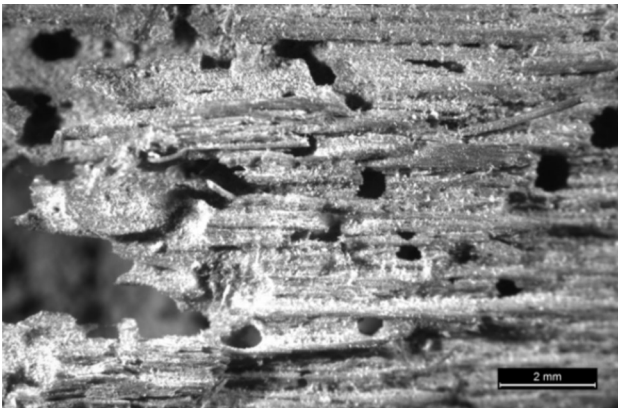
En la mayoría de los elementos estructurales afectados por insectos, no resulta aconsejable un tratamiento para erradicar la presencia de éstos, porque la gran cantidad de canales observados es indicio de una infestación importante. En el estado en que se observa la madera, tampoco es posible pensar en tareas de consolidación. Se recomendó, entonces, el reemplazo de los elementos afectados, para evitar un posible riesgo de colapso parcial o total de la estructura. También, es conveniente realizar una fumigación generalizada de manera preventiva para evitar la reinfestación de las nuevas maderas o de aquellas que todavía no han sido afectadas.



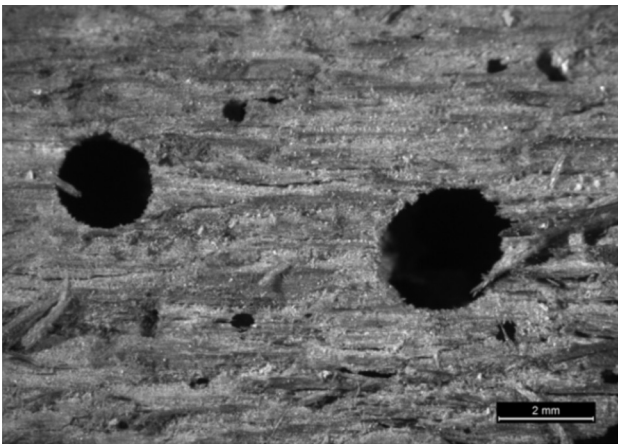
Detalle de un elemento estructural de la cúpula. Se observa la afectación por la presencia de insectos



Detalle de viga fuertemente afectada por presencia de insectos.



Detalle de la madera deteriorada por presencia de insectos.



Detalle de la madera deteriorada. Se observan los orificios que realizan los insectos.

Cuando se llevan a cabo este tipo de reparaciones resulta conveniente realizar inspecciones posteriores periódicas para detectar la posible presencia de insectos, lo cual permitirá actuar rápidamente ante los primeros signos de afectación, por ejemplo la presencia de perforaciones, desprendimiento de polvillo, etc.

## 6.- ESTANCIA LUIS CHICO, Punta Indio

El nombre de la estancia “Luis Chico”, en el

partido de Punta Indio, provendría de algún antiguo poblador de esta región ribereña que, de acuerdo a la tradición oral, era uno de los caudillos de esa zona. Estas tierras formaban parte del “Rincón de Noario”, estancia madre del antiguo pago de la Magdalena.

La casa principal, producto de fases sucesivas de construcción, consta de dos plantas: la inferior destinada particularmente a funciones de servicio y el piso alto reservado a los sectores social y privado. Está resuelta a partir de un esquema compacto y asimétrico, rodeada de galerías, con amplias escaleras exteriores en tres lados que vinculan la planta alta con el parque circundante. El edificio tiene aspecto austero y está coronado por una mansarda de chapa ondulada, con una estructura de sostén ejecutada en madera.

La remodelación del parque original del antiguo establecimiento rural, fue encomendada en 1919 a Charles Thays, el arquitecto paisajista francés más prestigioso entonces en nuestro ámbito. Ubicado entre la ruta N° 11 y la costa del Río de La Plata, el citado parque se estructura a partir de un eje de simetría que se inicia en el acceso al casco y culmina en el río. Su diseño se ubica en el denominado período liberal de la Argentina, comprendido entre fines del siglo XIX y las primeras décadas del siglo XX. La residencia, ubicada sobre este eje, es el punto central de la composición. Los edificios existentes en el casco de la estancia testimonian la diversidad de funciones de este tipo de establecimiento y el empleo de diferentes recursos técnicos y expresivos.

En el parque que rodea a la casa principal, además



Vista de la casa principal y el Jardín Español. Estancia Luis Chico.



Detalle de patologías de la Casa Principal, Jardines y elementos de madera de sosten del techo.

de estatuas y otros elementos decorativos, existe el pabellón español que es un pequeño edificio de planta rectangular, cerrado hacia tres lados, en tanto que el cuarto está abierto hacia el parque través de una “loggia” con tres arcos de medio punto y columnas de mármol. El aspecto hispánico está dado por la cubierta de teja colonial y el empleo de revestimiento de cerámica en uno de los lados.

Durante la inspección a la casa principal se observaron distintas patologías vinculadas con las construcciones denominadas “híbridas”, ejecutadas con perfilera metálicas y ladrillos cerámicos (bovedilla). Además, en el entretecho se detectó la alteración de la madera de tirantes, entablonado, etc. La madera presenta orificios circulares con excavaciones en forma de galería y desprendimiento de polvillo de aserrín, el cual se observa frente a movimientos como así también pequeñas acumulaciones sobre el piso. Lo antes mencionado confirmaría la presencia de Cerambycidae (insectos “taladro”), cuya larva se alimenta de la madera. Debe recordarse que las larvas son principalmente xilófagas, es decir, se alimentan de madera y para ello perforan y afectan la resistencia de las estructuras ejecutadas con madera.

La patología observada en la madera es la que se encuentra habitualmente en las estructuras de sostén de cubiertas afectando su capacidad resistente, por lo que siempre es recomendable realizar inspecciones periódicas y también utilizar productos insecticidas que eliminen y/o prevengan ataques de insectos xilófagos.

#### 7.- LÁPIDA MORTUORIA CEMENTERIO JUDÍO DE ALGARROBOS, Carlos Casares.

Se llevó a cabo la restauración, protección y conservación de la madera proveniente del Cementerio Judío de Algarrobos, siguiendo la práctica bajo los lineamientos de las normativas internacionales vigentes para la intervención de bienes patrimoniales y priorizando la preservación de los epitafios tallados.

En primera instancia se realizó un análisis exhaustivo de la misma, se determinó su especie resultando ser Quebracho Blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*) y posible lugar de procedencia, como así también el tipo de deterioro que presentaba para planificar el plan de intervención correcto.

- *Limpieza:* Se realizó una limpieza suave retirando las partículas depositadas en superficie. Luego, se removieron los especímenes biológicos encontrados (coleópteros y mudas) conservándolos para su identificación. Por último, se procedió a la remoción y pasivación hongos xilófagos biológicamente activos, mediante el uso de biocidas fungiestáticos.
- *Remoción de residuos de la limpieza:* Se removieron los residuos generados por las acciones anteriores mediante trabajo manual no destructivo, dejando la superficie lista para ser protegida.
- *Protección y conservación:* La madera limpia fue estacionada durante 72 h antes de protegerla. Se aplicó un sistema protector tipo lasur, mediante pincel. Este consta de un solvente orgánico, de origen vegetal volátil empleado como vehículo, un compuesto inorgánico el cual es el principio activo de la conservación ya que tiene propiedades biocidas e hidrorrepelentes y por último, un aceite de origen vegetal, el cual permite controlar el curado y mejorar y resaltar las vetas naturales de la madera.

La madera se encontraba con una fisura principal que la dividió en dos partes y otras fisuras y grietas longitudinales y transversales de menor magnitud.



Estado original de la lápida

Además en la parte inferior se observa pérdida de material, producto de una pudrición parda así como también un cambio de coloración superficial provocado por las exposición a los rayos UV de la luz solar; pátinas negras de hongos imperfectos y pequeñas oquedades de insectos xilófagos. Todo el conjunto de patologías halladas justifican la pérdida de estabilidad estructural observada así como también la imposibilidad de una correcta lectura de los relieves y esgrafiados.

Al comenzar la puesta en valor antes descrita el aspecto de la madera cambió radicalmente, solo con la remoción superficial mencionada.

En cuanto a la protección y conservación, luego de estacionada se aplicó la primera mano del lasur. Debe recordarse que un lasur es un recubrimiento de acción impregnante que deja un acabado “a poro abierto” y que no crea capa de modo que permite a la madera respirar para regular la humedad y facilitar su salida. Los tratamientos de lasures son los más apropiados para maderas de exterior. Al ser la madera un material poroso tiene la capacidad de absorción del lasur que penetra y la protege en profundidad. La flexibilidad de sus resinas permite adaptarse a las variaciones dimensionales de la madera.

Como resultado principal del tratamiento realizado sobre la lápida se observó la rehidratación de la madera generando un aspecto estético mejorado con la aparición del color natural. También se observó el sellado de las grietas y microfisuras.



Lápida luego de colocar la primera mano de lasur



Lápida luego de ser consolidada

Luego de tres manos del lasur, se observó la consolidación estructural de la parte más comprometida por la pudrición parda mencionada, evitando el desprendimiento de materia y la aparición de las vetas naturales y una mejora en la lectura de los esgrafiados y relieves posibilitando su análisis y traducción.

## CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo a los estudios realizados en el LEMIT sobre la madera y su utilización en la construcción, en particular sobre la identificación de las especies utilizadas y su comportamiento a lo largo de su vida

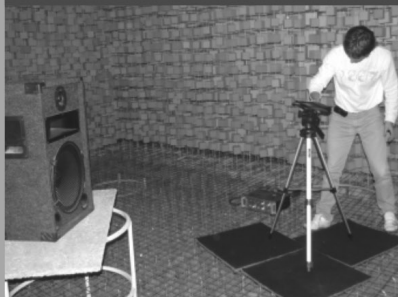
útil, puede plantearse que:

- Existen técnicas de evaluación para identificar las especies de maderas empleadas, lo cual tiene importancia desde el punto de vista histórico, en algunos casos, ya que permiten definir el lugar de origen de la madera, como por ejemplo, en el estudio de la lápida del Cementerio de Algarrobo. También debe mencionarse la importancia de la identificación de la especie para corroborar que se trata del material original, tal el caso del estudio de las casas fundacionales de La Plata en las que se pudo corroborar que la madera tendría origen en Estados Unidos, país que según la información disponible sería lugar de adquisición de las mismas.
  - La identificación de los procesos de degradación de la madera por agentes bióticos posibilitan definir los procedimientos adecuados para lograr la recuperación de la misma.
- “Determinación de grado de deterioro, conservación, protección y consolidación de una lápida de madera del Cementerio judío de Algarrobo, Colonia Mauricio, Carlos Casares, Argentina”. Alfieri Paula Vanesa, Lofeudo Rosana, Iloro Fabián Horacio, Traversa Luis Pascual. Heritage ; vol. 1, no. 1
  - “Conservation of a Wooden Tomb-Marker from the Jewish Cemetery of Algarrobo in Argentina”. Alfieri Paula Vanesa, Lofeudo Rosana, Canosa Guadalupe, Iloro Fabián Horacio, Traversa Luis Pascual. Ciencia y Tecnología de los Materiales Número 7.
  - “Impregnación de maderas de baja densidad con hidrofugantes organosilícicos”. Alfieri Paula Vanesa, Traversa Luis Pascual, Canosa Guadalupe, Giúdice Carlos A. Ciencia y Tecnología de los Materiales Número 7.

#### **Trabajos y expedientes consultados:**

- “Relevamiento, diagnóstico e intervención preventiva de un icono tipo bizantino”. Lofeudo, Rosana | Rosato, Vilma. II Congreso Iberoamericano y X Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio
- Informe interno LEMIT. Casilla Parque Saavedra. Convenio de colaboración científico-tecnológica entre LEMIT-CIC y Eda Esempi di Architettura (Italia).
- “Patrimonio de Colonia Hinojo. Una experiencia interdisciplinaria de aproximación al valor del acervo urbano-arquitectónico”. Vitalone Cristina, Traversa Luis Pascual. II Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio
- “Estudio histórico-técnico para la puesta en valor y la rehabilitación del ex-sector “Tejeduría” del conjunto edilicio de “la Hilandería”, Berisso”. Vitalone Cristina, Delgado Arnoldo Oscar, Traversa Luis Pascual, Iloro Fabián Horacio, Marquez Sebastián Oscar. IV Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio.
- “La estancia Luis Chico. Apuntes para un desarrollo sustentable del patrimonio rural”. Morosi Julio A., Amarilla Beatriz, Contin Mabel I., Conti Alfredo Luis, Molinari Graciela Alicia, Coletti Renaldo. Publicación LINTA-CIC

# Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires



# CIC

Ministerio de Ciencia,  
Tecnología e Innovación



**Buenos Aires**  
Provincia

Calle 526 e/ 10 y 11 - CPA B1906APO - La Plata, Provincia de Buenos Aires  
Tel.: 0221 421 7374 - 482 3795 / 9581 - Fax: 0221 425 8383

[www.cic.gba.gov.ar](http://www.cic.gba.gov.ar)