

El término “durabilidad” de las maderas, hace referencia a la capacidad intrínseca del material leñoso para resistir el ataque de los hongos xilófagos, las bacterias, los insectos y perforadores marinos como también el desgaste químico, mecánico y el intemperismo (Zabel & Morrell, 1992).

Los hongos xilófagos (los Basidiomycetes responsables de las pudriciones blancas y castañas por sobre los Ascomycetes y hongos imperfectos, causantes de las pudriciones blandas) producen el tipo de deterioro más frecuente y agresivo de la madera en uso y, a causa de ello, es común asociar la durabilidad con la resistencia a la degradación fúngica (Highley et al., 1994).

La agresividad de los hongos xilófagos se debe a que provocan la degradación de la madera en períodos de tiempo relativamente cortos. La degradación fúngica resulta de la despolimerización ecto-enzimática de los principales componentes de la pared celular: celulosa, hemicelulosas y lignina, descomposición que provoca la alteración de las propiedades físicas y mecánicas del leño (Zabel & Morrell, 1992; Schwarze et al., 2000). Dichas alteraciones son de diferente magnitud en función de la actividad enzimática del hongo responsable del deterioro (determinante del tipo de pudrición), de las características químico-anatómicas del leño como también de las estrategias de colonización fúngica a fin de salvar los obstáculos/barreras que ofrecen las maderas, resultantes de su estructura y composición química (Zabel & Morrell, 1992). En términos generales, los hongos responsables de las pudriciones castañas causan una fuerte caída de la capacidad resistente de este material, desde los estadios iniciales del proceso de colonización y degradación. Durante el curso de las pudriciones castañas, la celulosa y hemicelulosas son rápidamente despolimerizadas; la lignina sólo parcialmente modificada por oxidación y responsable de la coloración castaño-rojiza que caracteriza a este tipo de pudrición. La descomposición de los carbohidratos, abundantes en el estrato S2, determina que en él se concentre el ataque fúngico lo cual conlleva a la destrucción de dicho sector de la pared, determinante de las propiedades de resistencia mecánica de la madera tanto por su espesor como por su composición. La celulosa (su grado de polimerización), su

organización espacial mediante puentes de H determinando su condición de estructura fibrilar y cristalina y el ángulo con el cual se disponen las fibrillas de celulosa respecto al eje longitudinal de las células (ángulo fibrilar) son responsables de la capacidad resistente de la madera (Zabel & Morrell, 1992; Barnett & Jeronimidis, 2003).

La durabilidad, como resistencia al deterioro biológico, esta asociada principalmente a la presencia de extractivos tóxicos depositados en la madera durante el proceso de duraminización. Las células parenquimáticas de la albura contienen altos niveles de extractivos bajo la forma de carbohidratos. Éstos son transportados desde las células vivas a la zona de transición albura-duramen donde son transformados en compuestos fenólicos. Estos metabolitos tóxicos se acumulan hasta alcanzar niveles letales lo cual determina la muerte celular y formación del duramen. Dichos extractivos posteriormente difunden hacia las traqueidas, fibras y vasos y se depositan en sus paredes. Debe tenerse en cuenta que no todos los durámenes poseen igual durabilidad. La resistencia de este tipo de leño a la degradación se caracteriza por su amplia variabilidad entre especies e incluso entre individuos de la misma especie; esto último refleja el potencial genético de un individuo y las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolla. En las maderas de duramen durable, la cantidad de albura presente en una pieza determina su resistencia al deterioro; en la madera aserrada la albura posee alta susceptibilidad. Ciertos investigadores sostienen que la densidad es un factor poco correlacionado con la durabilidad; si bien muchas maderas poseen alta densidad y alta durabilidad, otras igualmente densas son rápidamente degradadas. A causa de ello, algunos autores mantienen que la densidad sólo puede servir como criterio de durabilidad cuando dicha propiedad física es debida a la presencia de extraíbles (compuestos fenólicos, gomas, resinas, etc.), cristales, tálides. En estas circunstancias la madera cuenta con menos posibilidades de acceso de agua y de oxígeno, elementos clave para que se desencadenen, por ejemplo, los procesos de colonización y degradación fúngica; por su parte la presencia de gomas, resinas y tálides obstruyen las vías de colonización longitudinal (elementos de vaso, canales resiníferos) y radial (radios parenquimáticos) del leño que utilizan estos organismos. En algunas especies se comprobó una relación inversa entre durabilidad y velocidad de crecimiento: árboles con bajos valores de crecimiento aportan maderas de alta durabilidad. El tratamiento de la madera húmeda con calor puede volatilizar o desnaturalizar sus extractivos y disminuir en consecuencia su durabilidad. La exposición a la radiación gama también afectaría adversamente esta propiedad. Asimismo, la exposición de la madera a una excesiva humedad conduciría al lavado de sus extractivos hidrosolubles y, en consecuencia,

disminuiría su resistencia a la degradación. El estado higrométrico de la madera al momento de su utilización también influye en su durabilidad. La madera húmeda y en ambientes confinados con altos valores de humedad relativa retiene su contenido de humedad lo cual, sumado a altas temperaturas, favorece el desarrollo de los hongos xilófagos (Zabel & Morrell, 1992).

### **Durabilidad de las maderas: métodos de evaluación**

---

La durabilidad de las maderas puede ser estimada mediante métodos de laboratorio o pruebas aceleradas, denominadas así por su corta duración, como también mediante el establecimiento de ensayos a campo o cementerios de madera. Estos últimos son considerados como pruebas definitivas de durabilidad debido a que permiten estimar la resistencia que ofrecen las maderas a la acción conjunta de los agentes bióticos y abióticos de deterioro presentes en una zona geográfica puntual.

La normativa europea UNE-UN (350-1,2), entre otras existentes para la realización de este tipo de ensayos, enumera las normas a utilizar para la determinación de la durabilidad de la madera maciza\* a campo (UNE 56425-UNE 252) y en laboratorio: CEN/TS 15083-1, Basidiomycetes xilófagos; UNE-EN 47, 49-1, 20-1 y 117, *Hylotrupes bajulus*, *Anobium punctatum*, *Lyctus brunneus* y termitas, respectivamente; UNE 275, xilófagos marinos; CEN/TS 15083-2, Ascomycetes y hongos imperfectos. Esta norma además aporta consideraciones en torno al muestreo, características y repeticiones del material a ensayar, especies xilófagas a emplear en los ensayos de laboratorio como también una escala para cada tipo de determinación que permite clasificar a las maderas en clases de durabilidad. En cuanto a esto último, mientras que la durabilidad frente a hongos xilófagos queda definida en función del porcentaje de pérdida de peso determinado en el material de ensayo, para el resto de las determinaciones este atributo queda definido en base a una evaluación de individuos supervivientes/sobrevivientes acompañado de una escala de evaluación mas subjetiva, visual: sin ataque o con ataque y en este ultimo caso se considera la intensidad del mismo. Asimismo esta norma propone un modelo para la realización del informe correspondiente. La normativa americana (ASTM: American National Standard) constituye una alternativa para la realización de los ensayos indicados, entre ellas la ASTM D-2017 y la ASTM D 1413, normas para la estimación de la resistencia a la degradación fúngica que poseen las maderas sin tratamiento

---

\* Existen normas para la determinación de la durabilidad de productos derivados de la madera: tableros

(durabilidad natural) o bien las tratadas con soluciones preservantes (durabilidad adquirida), respectivamente. Al igual que las UNE, éstas aportan consideraciones en torno al muestreo, características y repeticiones del material a ensayar, especies xilófagas a emplear en los ensayos de laboratorio como también una escala que permite clasificar a las maderas en clases/tipos de durabilidad en función del porcentaje de pérdida de peso y modelo de informe de los resultados obtenidos.

### **Durabilidad de las maderas: métodos de laboratorio para su estimación frente a hongos xilófagos de pudrición blanca y castaña**

---

Según se indicó, debido a que frecuentemente la durabilidad de las maderas es asociada con la resistencia a la degradación fúngica, serán detallados diferentes procedimientos estandarizados de laboratorio para este tipo de determinación.

La norma europea (CEN/TS 15083-1) propone el cultivo de una cepa xilófaga\* en un medio artificial (agar extracto de malta) dispensado en recipientes de vidrio. Una vez colonizado el medio, sobre éste son apoyadas las probetas de la madera cuya durabilidad se necesita evaluar. De este modo el material queda expuesto a deterioro durante 16 semanas, bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Esta normativa indica además el establecimiento de un ensayo de referencia con madera de haya (*Fagus sylvatica*) el cual es instalado del modo descrito y cuya función es validar el ensayo principal: una pérdida de peso >20% determinada según formula 1 en la madera de haya es indicador de la viabilidad del ensayo.

En este caso la durabilidad queda definida en función de un valor  $x$  que surge de la relación entre el porcentaje de pérdida de peso ( $P_p$ ) del material objeto de estudio y el porcentaje de  $P_p$  del haya. Esta norma reconoce 5 clases de resistencia: madera muy durable ( $x \leq 0,15$ ); durable ( $x > 0,15 \leq 0,30$ ); medianamente durable ( $x > 0,30 \leq 0,60$ ); poco durable ( $x > 0,60 \leq 0,90$ ); no durable ( $x > 0,90$ ).

A diferencia de la normativa EN (europea), la norma americana ASTM D-2017, utiliza la técnica del “*soil block*” para este tipo de determinación.

En este caso se trabaja con un sustrato formado por tierra de pH entre 5 y 8 y capacidad de campo entre el 20% y 40%. Dicho sustrato se incorpora en frascos de pudrición junto con una cantidad de agua equivalente al 130% de la capacidad de campo del suelo. Posteriormente, sobre la tierra humedecida se colocan pequeñas probetas de madera (*feeder strips*) y el sistema logrado (frasco con sustrato y *feeder*

---

\* Según norma, la madera objeto de estudio debe ser expuesta a pudrición castaña y blanca; las especies fúngicas a utilizar son indicadas por norma; las responsables de pudrición blanca difieren entre coníferas y latifoliadas.

*strips*) es esterilizado en autoclave. Cumplida esta etapa, los *feeders strips* son inoculados con micelio fúngico\*. Una vez que el micelio los cubre, sobre cada uno de ellos son colocadas las probetas de la madera de ensayo. Transcurridos 90 días de exposición a la degradación fúngica, las probetas son extraídas de los frascos y se procede a la evaluación de la pérdida de peso mediante la fórmula:

$$Pp (\%) = \frac{(Pei - Pef)}{Pei} \times 100 \quad (1)$$

Pp (%): pérdida porcentual de peso referida al peso en equilibrio inicial de las probetas.

Pei: peso de equilibrio higroscópico de las probetas antes de ser expuestas a biodegradación (peso inicial), en gramos.

Pef: peso de equilibrio higroscópico de las probetas degradadas (peso final), en gramos.

Los porcentajes de Pp obtenidos permiten clasificar las maderas en clases/tipos de resistencia a la degradación fúngica. En este caso son propuestos 4 niveles de durabilidad: madera altamente resistente (Pp: 0% – 10%); resistente (Pp: 11% – 24%); moderadamente resistente (Pp: 25% – 44%); no resistente (Pp: >45%).

Al igual que la normativa EN, se debe establecer un ensayo de referencia con madera de pino (*Pinus* sp o equivalente, en cuanto a baja durabilidad) o bien de haya, abedul (*Betula* sp), arce (*Acer* sp) según la naturaleza del material objeto de estudio (coníferas o latifoliadas, respectivamente).

En nuestro país la Norma IRAM 9518 propone la técnica del “*soilblock*” para la determinación de la toxicidad, permanencia y eficacia de preservadores de madera. En este caso, el porcentaje de Pp obtenido para la madera tratada (durabilidad adquirida), equivalente a una clase de resistencia a la degradación fúngica, es un indicador indirecto de la toxicidad de los preservantes utilizados. Por su parte, la clase de durabilidad determinada para la madera tratada y expuesta a intemperismo simulado en laboratorio (10 ciclos sucesivos de lavado, estacionamiento a temperatura de 25 °C y calentamiento en estufa a 50 °C) permite estimar en forma indirecta la permanencia de dichos soluciones. Esta última particularidad de los preservantes debe tenerse en cuenta al momento de definir el uso de la madera tratada. En este sentido, un producto puede ser tóxico pero no permanente como lo son aquellos con boro en su

---

\* Idem normativa UNE-EN

composición, característica que limita la situación de uso del material preservado (no debe estar expuesto a lixiviación).

### **Método a campo o cementerio de maderas**

---

Este tipo de ensayo también permite estimar la durabilidad natural y adquirida de las maderas. El ensayo a campo aporta datos más precisos respecto de la vida útil de una madera utilizada en un ambiente particular; en éste quedan incluidos todos los factores del medio y sus interrelaciones. El tiempo de ensayo varía entre 4 y 8 años cuando se trabaja con piezas de pequeñas dimensiones (estacas, láminas) o entre 20 y 35 años cuando se ensayan piezas de dimensiones comerciales (vigas, columnas, postes). Para evitar confusiones en el cementerio, cada estaca debe estar bien identificada a fin de registrar en una planilla todos los datos relativos al ensayo. Se debe confeccionar un plano de ubicación de las estacas en el terreno para avanzar con plena seguridad durante las inspecciones. Los terrenos elegidos como cementerios deben cumplir con ciertos requisitos para dar confiabilidad a los resultados obtenidos. Dichos requisitos son:

- Garantizar la permanencia en su funcionamiento. Las pruebas requieren largos períodos de observación y una vigilancia permanente para evitar pérdida de elementos que atenten contra la validez de los resultados.
- No debe existir influencia de personas o animales que rompan o deterioren el material en observación.
- El ambiente debe mostrar una excelente actividad biológica de hongos e insectos.
- Sólo se aceptan ondulaciones moderadas en la topografía del terreno y sin encharcamientos prolongados.
- Buena exposición solar.
- No se permite la influencia temporal de malezas bajas.
- No se deben instalar ensayos en terrenos que hayan sido utilizados para cultivos agrícolas y por tanto tratados con productos químicos.

A diferencia de los ensayos con hongos xilófagos en laboratorio, en los ensayos a campo se evalúa el progreso e intensidad de los daños asignándole una escala de valores. Para la interpretación de resultados durante la instalación de la madera de estudio, se puede hacer uso de la clave de la Tabla 1 (JUNAC, 1988).

**Tabla 1. Clave para la interpretación de resultados a campo.**

<b>Grado de durabilidad</b>	<b>Descripción de la madera en observación</b>	<b>Puntaje o Porcentaje</b>
1	Sana (ninguna señal de pudrición)	100
2	Superficie blanda o indicios de pudrición	75
3	Pudrición comprobada poco avanzada	50
4	Pudrición profunda o intensa	25
5	Pudrición total o destrucción	0

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

---

Conocer la durabilidad de las maderas (tanto maciza como la de los productos derivados de la madera: tableros) nos permite su utilización en una clase de uso acorde a su capacidad resistente y, de este modo, evitar los costos que implican su sustitución como también preservar el recurso consecuencia del aumento de su vida útil en servicio\*. La normativa UNE-EN 335 define este concepto y propone una clasificación de tipos de uso/riesgo de 5 niveles con dos subclases dentro de la clase de riesgo 3, como también indica los agentes bióticos de deterioro posibles de afectar a la madera en cada situación (Tabla 2). En nuestro país la Norma IRAM 9600 también clasifica las situaciones de uso pero, a diferencia de la anterior, propone 6 clases o tipos de riesgo.

#### **Pautas a considerar para la toma de decisiones en torno al uso de la madera maciza en función de su resistencia a los distintos agentes biológicos de deterioro:**

- a: se considera la situación de uso que se le otorgará a un elemento de madera maciza.
- b: se determina, según norma, la clase de uso correspondiente y los agentes biológicos a los que estará expuesto (UNE-EN 335; UNE-EN 460, Tabla 2).
- c: se evalúa si la durabilidad natural de la madera a utilizar es suficiente para la situación de uso considerada\*.

---

\* La UNE-ENE 350 incluye una lista de las especies de coníferas y latifoliadas de mayor importancia comercial en Europa en la que es especificada la durabilidad de la albura y duramen de cada una de ellas frente a los distintos agentes biológicos de deterioro; para hongos hace referencia a la durabilidad del duramen en situación contacto con el suelo; asimismo clasifica en función de su impregnabilidad, propiedad relacionada con la capacidad de absorción de

d: se elige una madera con durabilidad mayor, resistente al biodeterioro posible de afectarla en dicha situación, o bien se procede a un tratamiento preservante (considerar impregnabilidad, UNE-EN 350; UNE-EN 351-1; UNE-EN 351-2; UNE-EN 460; UNE-EN 599-1), proteger a la madera mediante diseño o por sistema constructivo. **A tener en cuenta:** un mismo elemento de madera puede estar expuesto a distintas clases de riesgo; en este caso tomar las medidas necesarias (cambiar de especie botánica, preservar, proteger con diseño o sistema constructivo) en función de la mayor categoría de riesgo. Sobre-estimar las posibilidades de deterioro y medidas preventivas de dicho elemento en aquellas estructuras de difícil acceso o bien que su afectación implique algún riesgo de importancia mayor (pérdida de la estabilidad de una estructura, entre otros). Si en una pieza no se diferencian albura y duramen, considerar la durabilidad como si todo fuera albura.

**Tabla 2:** Clases de uso y agentes biológicos asociados a la madera y productos derivados de la madera (UNE-EN 335).

Clase de uso	Situación general de uso <sup>a</sup>	Aparición de agentes biológicos <sup>b,c</sup>				
		Hongos cromógenos	Hongos Xilófagos	Coleópteros	Termitas	Xilófagos marinos
1	En interior, seco	-	-	U	L	-
2	En interior o bajo cubierta, no expuesto a la intemperie. Posibilidad de condensación de agua	U	U	U	L	-
3	Al exterior por encima del suelo, expuesto a la intemperie Se subdivide en: 3.1 Condiciones de humidificación breve 3.2 Condiciones de humidificación prolongada	U	U	U	L	-
4	Al exterior en contacto con el suelo y/o con agua dulce	U	U	U	L	-
5	Sumergido en agua salada de forma regular o permanente	U <sup>d</sup>	U <sup>d</sup>	U <sup>d</sup>	L <sup>d</sup>	-

U = Universalmente presente en Europa y territorios de la UE.  
L = Localmente presente en Europa y territorios de la UE.

<sup>a</sup> Existen casos límite y situaciones extremas de utilización de la madera y los materiales derivados de la madera. Esto puede originar la asignación de una clase de uso que difiera de las definidas en esta norma.

<sup>b</sup> No es necesario proteger la madera frente a todos los agentes biológicos relacionados por cuanto pueden no estar presentes o no tener importancia económica en todas las condiciones de servicio, en todas las regiones geográficas o incluso pueden no atacar a determinados materiales derivados de la madera por su constitución específica.

<sup>c</sup> Véase el anexo C.

<sup>d</sup> La parte aérea de ciertos elementos sumergidos en agua puede estar expuesta a todos los agentes biológicos mencionados aquí.

El anexo C detalla cada tipo de agente, por ejemplo hongos xilófagos: pudrición blanca, castaña, etc.

humedad, lo cual influye en la vida en servicio. Cuestiones relacionadas también son mencionadas en la norma UNE-EN 460.



## **Bibliografía**

ASTM D-2017.1978 (86). Standard Method of accelerated laboratory tests of natural decay resistance of woods. 4 pp.

ASTM D-1413.1976. Standard Method of testing wood preservatives by laboratory soilblock cultures. 4 pp.

Barnett, J. R. & G. Jeronimidis. 2003. Wood quality and its biological basis. Blackwell Publishing Ltd. CRC Press, Australia. 226 pp.

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. European Committee for Standardization, Bruxelles. 19 pp.

European Standard EN-335. 2013. Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels. European Committee for Standardization, Bruxelles. 13 pp.

Highley, et al., 1994. Research on biodeterioration of wood, 1987-1992. I: decay mechanisms and biocontrol. 20 pp.

IRAM 9518. 1962. Toxicidad, Permanencia y Eficacia de Preservadores de Madera. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 12 pp.

IRAM 9600. 1998. Preservación de maderas. Maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 23 pp.

Junta de Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del Grupo Andino para la Preservación de maderas. 1° Ed. Lima, Perú, 349 pp.

UNE-EN 350-1. 1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera. 20 pp.

UNE-EN 350-2. 1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa. 46 pp.

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.

UNE-EN 351-1. 2008. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores. 20 pp.

UNE-EN 351-2. 2008. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 2: guía de muestreo de la madera tratada para su análisis. 18 pp

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 clases de riesgo. 12 pp.

UNE-EN 599-1. 2010+A1:2014. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Eficacia de los protectores de la madera determinada mediante ensayos biológicos. Parte 1: especificaciones para las distintas clases de uso. 42 pp.

Zabel, R.A. & J.J. Morrell. 1992. Wood microbiology. Decay and its prevention. Academic Press Inc. 476 pp.