



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

ZIENTZIA
ETA TEKNOLOGIA
FAKULTATEA
FACULTAD
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA



Trabajo Fin de Grado
Grado en ingeniería química

Estudio de la capacidad de adsorción de productos protectores de la madera mediante métodos convencionales.

Efecto del tipo de madera y del modo de aplicación.

Autor:
Mikel Irureta Andujar
Director:
Jose Luis Ayastuy Arizti

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROPIEDADES DE LA MADERA	1
2.1. PROPIEDADES MECÁNICAS	2
2.2. PROPIEDADES FÍSICAS	2
3. ANATOMÍA DE LA MADERA.....	3
3.1. ESTRUCTURA SUBMICROSCÓPICA.....	4
3.2. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA.....	5
3.3. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA	6
3.3.1 Diferencias entre frondosas y coníferas.....	7
3.3.2. Terminología de la estructura macroscópica	10
3.4. IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA.....	10
4. AGENTES DESTRUCTORES DE LA MADERA	10
4.1. HONGOS	11
4.1.1. Hongos basidiomicetos.....	11
4.1.2. Hongos de pudrición blanda	11
4.1.3. Hongos cromógenos	11
4.2. INSECTOS.....	11
4.2.1. Coleópteros o insectos de ciclo larvario	12
4.2.2. Termitas o insectos sociales	12
4.3. XILÓFAGOS MARINOS.....	12
4.3.1. Moluscos.....	13
4.3.2. Crustáceos.....	13
4.4. ACCIÓN DEL AGUA	13
4.5. ACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR	13
4.6. ACCIÓN DEL FUEGO	13

5. DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA.....	14
5.1. HONGOS	14
5.2. COLEÓPTEROS O INSECTOS DE CICLO LARVARIO.....	15
5.3. TERMITAS O INSECTOS SOCIALES.....	16
5.4. XILÓFAGOS MARINOS.....	16
6. ELECCIÓN DE TRATAMIENTOS PROTECTORES	17
6.1. CLASES DE USO DE LA MADERA.....	17
6.2. IMPREGNABILIDAD DE LA MADERA.....	18
6.3. NIVEL DE PENETRACIÓN.....	19
7. OBJETIVOS	20
8. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	20
8.1. PRODUCTOS PROTECTORES DE MADERA	20
8.1.1. Cipermetrina	20
8.1.2. Propiconazol	21
8.1.3. Tebuconazol.....	21
8.1.4. 3-yodopropinilbutil carbamato (IPBC).....	21
8.2. APLICACIÓN DE PRODUCTOS PROTECTORES	21
8.2.1. Aplicación por autoclave de doble vacío y pulverización	21
8.2.2. Aplicación superficial.....	22
8.3. MADERAS ESTUDIADAS	22
8.3.1. Pino insigne	23
8.3.2. Roble europeo.....	23
8.3.3. Manglar.....	23
8.3.4. Keruing	24
8.4. ACONDICIONAMIENTO DE LAS MADERAS.....	24
8.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS CONVENCIONALES.....	25
8.5.1. Método destructivo	25

8.5.2. Método semidestructivo	25
8.5.3. Selección del disolvente para la extracción	26
8.5.4. Extracción sólido-líquido y posterior concentración	27
8.5.5. Análisis del extracto	27
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
9.1. SELECCIÓN DEL DISOLVENTE DE EXTRACCIÓN	27
9.2. CALIBRACIÓN DE LA CIPERMETRINA	29
9.3. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL PRODUCTO PROTECTOR	29
9.4. PENETRABILIDAD DE LA CIPERMETRINA ANALIZADA CON EL MÉTODO DESTRUCTIVO	30
9.5. PENETRABILIDAD DE LA CIPERMETRINA ANALIZADA CON EL MÉTODO SEMIDESTRUCTIVO.....	32
10. CONCLUSIONES	32
11. PROPUESTAS A FUTURO.....	33
11.1. ESPECTROSCOPIA RAMAN.....	33
11.2. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR).....	33
12. NOMENCLATURA	33
13. BIBLIOGRAFÍA	35

1. INTRODUCCIÓN

La madera es un conjunto de tejidos fibrosos y duros que forman el tronco, las ramas y las raíces de los vegetales leñosos, excluyendo la corteza. Aunque, generalmente, al hablar de madera solo se suele considerar el tronco, ya que la mayoría de este material se obtiene de esta parte. A su vez, la madera está compuesta por carbono (50%), hidrógeno (6%), oxígeno (44%) y trazas de otros elementos (Pettersen, 1984).

La utilización de la madera como sistema constructivo o como elemento estructural ha acompañado al hombre a lo largo de toda la historia. Se trata de un material cuyo uso está ampliamente extendido debido a sus propiedades físico-mecánicas (ligereza, aislante térmico y eléctrico...), precio y ventajas medioambientales (ya que es una materia prima ecológica, sostenible y renovable). Sin embargo, presenta grandes desventajas, entre las que destaca su durabilidad, sobre todo si se compara con otros materiales de construcción. Al tratarse de un material de origen orgánico, está destinado a reincorporarse a la naturaleza a causa, principalmente, de factores biológicos y químicos.

Con el tiempo, se ha profundizado en el estudio de la madera y su protección, dando pie al desarrollo de técnicas y productos que protegen a este material de las agresiones que limitan su vida. Los primeros pasos que se dieron en este sentido fueron para proteger a la madera de la humedad, puesto que reduce su vida útil al favorecer el ataque de insectos. Gracias a la evolución de la tecnología, actualmente hay en el mercado tratamientos para contrarrestar los inconvenientes que presenta la madera, dando como resultado estructuras más fiables. En esta línea, en el mercado se encuentran dos productos fabricados por Química de Munguía que son altamente eficaces contra los ataques biológicos: Corpofen Gel Plus (insecticida) y Corpofen Profesional (insecticida y fungicida).

Las exigencias por parte de los clientes y de las normativas internacionales sobre el uso de la madera en la construcción obligan a garantizar la eficacia de los tratamientos preventivos y protectores. Para ello, de una muestra de madera tratada se extrae el compuesto activo del líquido protector mediante una extracción sólido-líquido y posteriormente por cromatografía de líquidos o gases se analiza el extracto y se determina la concentración de compuesto activo en la madera. Este método es muy fiable, dada la precisión de los equipos de cromatografía.

Sin embargo, esta técnica puede llevar a la destrucción de las piezas de madera que ya están puestas en obra, ya que se deben tomar muestras de la estructura tratada. Para evitar destruir una estructura que se desea proteger, se lleva a cabo un ensayo en una probeta (una pieza de similares características a la estructura de madera en cuanto a tipo y tamaño), para determinar la eficacia del tratamiento. Además, el método de análisis descrito presenta otro gran inconveniente, y es que el material necesario se encuentra en un laboratorio. Esto, supone un coste de dinero y tiempo muy grande ya que las estructuras que se desean analizar se encuentran, a menudo, a muchos kilómetros de distancia de las instalaciones de la empresa que realice el tratamiento.

2. PROPIEDADES DE LA MADERA

La madera es un material de construcción con grandes ventajas respecto a otros materiales como el cemento o el acero, pero también presenta importantes inconvenientes. A continuación se van a comentar algunas de sus propiedades más importantes de material.

2.1. PROPIEDADES MECÁNICAS

Para conocer las posibilidades estructurales de la madera es necesario analizar sus características mecánicas y compararlas con las de otros materiales. En la Tabla 1 se muestran las propiedades más destacables (Argüelles y cols., 2003)

Tabla 1.- Valores medios de las tensiones admisibles en la madera, hormigón y acero.

Material ↓	Tipo de fuerza (kp/cm ²)						Módulo de elasticidad
	Flexión	Tracción		Compresión		Cortante	
		Paralela	Perp.	Paralela	Perp.		
Madera	120	120	1,5	110	28	12	$1,1 \cdot 10^5$
Hormigón	80	6		80		6	$2,0 \cdot 10^5$
Acero	1700	1700		1700		1000	$2,1 \cdot 10^6$

De la Tabla 1 se pueden extraer las siguientes conclusiones, respecto a la madera:

- Tiene una resistencia a la flexión muy elevada, sobre todo si se asocia a su peso. Es tres veces superior a la del acero y diez veces superior a la del hormigón.
- Posee una buena capacidad de resistencia a la tracción y a la compresión, paralelas a la fibra.
- La resistencia al esfuerzo cortante es escasa. Esta limitación también se presenta en el hormigón, aunque no en el acero.
- Presenta muy escasas resistencias a la compresión y a la tracción perpendicular a la fibra. Sobre todo en tracción, lo que supone una característica muy particular frente a otros materiales.
- El módulo de elasticidad es bajo, la mitad que el del hormigón y veinte veces menor que el del acero. Los valores alcanzados por el método de elasticidad inciden sobre la deformación de los elementos resistentes y sus posibilidades de pandeo. Este valor neutraliza parte de la buena resistencia a la compresión paralela, que se ha mencionado anteriormente.

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Además de las propiedades mecánicas hay que prestar atención a las propiedades físicas de este material. Estas son bastante particulares, ya que al ser un material de origen vegetal, contiene agua que afecta directamente a sus propiedades físicas (Arriaga, 2002). Las principales propiedades que se deben tener en cuenta para su uso en construcción son:

- Contenido de humedad: se define como el porcentaje de la cantidad de agua que contiene expresada respecto de su peso anhidrido (Ecuación 1). La madera recién cortada contiene 50-110% de agua, proporción que se reduce a valores del orden de 16-18%, por secado al ambiente (ISO, 2017).

$$H (\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde P_h es el peso de la madera húmeda y P_s es el peso de la madera seca.

- **Higroscopicidad:** es la capacidad que tiene la madera para de intercambiar humedad con el entorno y conservarlo en forma líquida. Esta propiedad deriva de los grupos hidroxilo en la composición química de la madera, que ejercen de polos de atracción.
- **Hinchazón y merma:** son las variaciones dimensionales derivadas de la variación del contenido de humedad. Este cambio es diferente según la dirección que se considere, al tratarse de un material anisótropo.
- **Densidad:** esta propiedad varía según el tipo de madera, abarcándose valores entre los 300 y los 1200 kg/m³. Además, varía según el contenido de humedad, por lo que es necesario referir el valor de densidad de la madera a un determinado contenido de humedad (que normalmente suele ser 12%). Se puede decir que la densidad de la madera es baja en relación a sus propiedades.
- **Conducción térmica:** es la capacidad para transmitir calor. La madera es muy mal conductor del calor, lo que le confiere buenas propiedades como aislante térmico (la conductividad en torno a 0,1 W/m·K) (Çengel, 2013). Además, en caso de incendio, hace que la temperatura sea menor hacia el interior, conservando más tiempo sus propiedades resistentes.
- **Conducción de ondas electromagnéticas:** la madera es buen conductor de estas ondas. La presencia de huecos internos entorpece la transmisión de estas ondas, por lo que se puede emplear para detectar el deterioro del material. Las ondas electromagnéticas que se emplean para la detección de huecos son las microondas, los ultrasonidos y la radiofrecuencia.
- **Dilatación térmica:** es la capacidad de expandirse por cambios en la temperatura. La dilatación térmica en la madera es despreciable, por lo que la variación de temperatura no actúa sobre las estructuras de madera y no las deforma.

3. ANATOMÍA DE LA MADERA

La madera es un material orgánico y natural con una estructura celular. Se llama madera al conjunto de tejidos que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos, excluida la corteza.

La madera no es un material homogéneo, sino que está formado por un grupo de células especializadas en tejidos que llevan a cabo las funciones fundamentales del vegetal: conducción de savia; transformación y almacenamiento de productos vitales; y sostén del vegetal. La heterogeneidad de la madera da lugar a lo que se conoce como anisotropía de la madera, es decir el comportamiento desigual de la madera frente a una propiedad física o mecánica según la dirección que se considere. De hecho, el 90-95% de las células se alinean de forma paralela al tronco y el 5-10% se alinean de forma radial.

En el estudio de la madera como material, se pueden distinguir tres niveles que explican las características de su comportamiento físico-mecánico (Argüelles y cols., 1996).

3.1. ESTRUCTURA SUBMICROSCÓPICA

Se observa la estructura de la pared celular, que es visible a partir de los 2000 aumentos. La sustancia básica que forma la pared de la célula es la celulosa (40-50%) que se agrupa en unidades mayores denominadas fibrillas elementales. Estas a su vez se agrupan constituyendo las microfibrillas. La celulosa queda embebida en una matriz de hemicelulosa (25-35%) y lignina (18-35%).

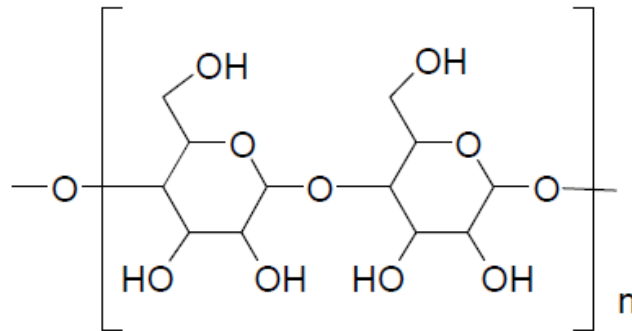


Figura 1.- Monómero de la celulosa.

Estas son las distintas capas que forman la pared de las células, tal y como se observa en la Figura 2:

- Laminilla intermedia o pared intercelular: capa que une las células entre sí. Tiene un alto contenido en lignina y carece, prácticamente, de celulosa.
- Pared primaria: microfibrillas dispuestas aleatoriamente.
- Pared secundaria: se distinguen tres capas. La exterior tiene un espesor muy pequeño (0,1 a 0,2 μm) y las microfibrillas se disponen en un ángulo de 50 a 70°. La capa intermedia tiene un espesor de varios micrómetros y sus microfibrillas están orientadas en la dirección del eje longitudinal de las fibras, con una pequeña desviación (5 a 20°). En la capa interior las microfibrillas se disponen en con una ligera pendiente, pero sin orden estricto.

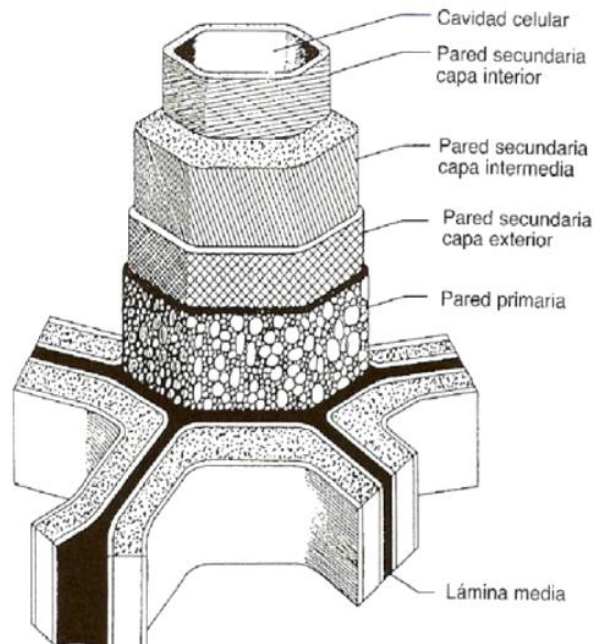


Figura 2.- Estructura de la pared celular.

3.2. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA

Este nivel es visible con métodos microscópicos normales y se ve la agregación de las células para formar madera. A partir de este nivel se aprecian diferencias en la estructura de la madera según el tipo de árbol que se observa. Así, conviene hacer dos categorías: coníferas y frondosas.

- En las coníferas el 90-95% células son traqueidas (células de 2-5 mm de longitud y 10-50 μm de diámetro), que crecen en capas paralelas al eje del tronco del árbol. Las fibras desarrolladas al inicio del ciclo anual de crecimiento se denominan “madera de primer crecimiento” o de “primavera” y las desarrolladas al final del ciclo, “madera tardía” o de “verano”. Estas últimas tienen paredes más gruesas y por lo tanto menor diámetro interior. Esto supone una variación de densidad entre la madera de verano y la de primavera de 3 a 1 y la diferencia se aprecia como anillos de crecimiento (Figura 4). El transporte y almacenamiento de las sustancias se realiza a través de las células de parénquima, dispuestas principalmente de forma radial (radios leñosos). La mayoría de coníferas presenta canales resiníferos, que son canales longitudinales dentro del tejido.
- Las frondosas tienen una estructura análoga, pero más compleja. El tejido básico está compuesto por fibras libiformes y traqueidas (1 mm de longitud). Las fibras de las frondosas tienen paredes de mayor espesor y menor luz que las traqueidas de las coníferas. Además, las diferencias entre las fibras de “primavera” y “verano” son menos acusadas. Dentro de este tejido existen conductos, denominados vasos, con diámetros interiores de cierta entidad y longitudes variables (entre unos centímetros y varios metros). Las células de la parénquima son mucho más numerosas en las frondosas y los radios leñosos de mayor tamaño. Dada la amplia representación de esta clase en todos los continentes, a veces se distinguen tres términos según su zona de procedencia: frondosa boreal (entre el trópico de Cáncer y el Círculo Polar Ártico), frondosa austral (entre el trópico de Capricornio y el Círculo Polar Antártico) y frondosa tropical (entre ambos trópicos)

3.3. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA

Es la estructura visible con el ojo y hasta con 10 aumentos. En este nivel se considera la madera comercial con sus defectos. Debido a la heterogeneidad de la estructura de la madera se distinguen tres planos.

- Plano transversal: es el plano perpendicular al eje de la rama o tronco.
- Plano radial: es el plano que pasa por el eje y un radio de la rama/tronco.
- Plano tangencial: es el plano paralelo a un plano tangente al tronco o al anillo de crecimiento.

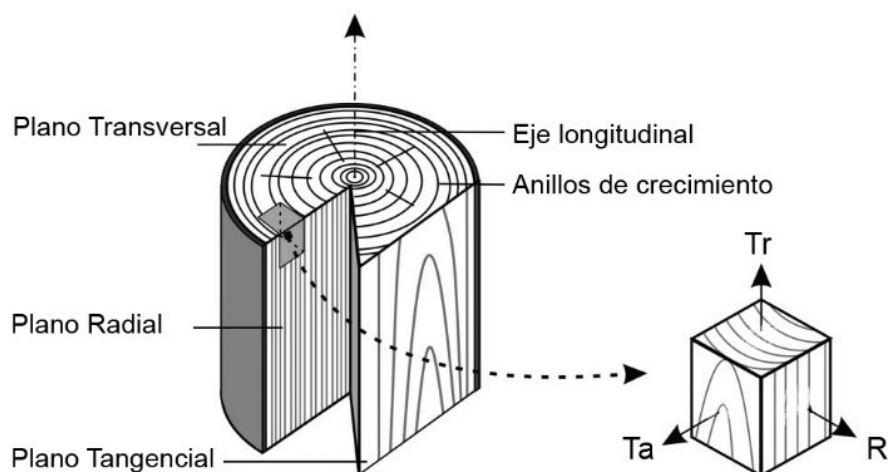


Figura 3.- Estructura de la madera mostrando sus tres planos.

En esta división se observan las siguientes estructuras.

- Corteza externa o corteza propiamente dicha: está formada por células muertas.
- Corteza interna o líber: es por donde circula la savia descendente.
- Cambium: es la capa que produce la madera o xilema hacia el interior y la corteza hacia el exterior.
- Leño o tejido leñoso: es el relleno de la mayor parte del tronco. Coníferas y frondosas presentan considerables diferencias en esta estructura.
- Médula: es la parte central del tronco, es pequeña y sus características mecánicas son reducidas.

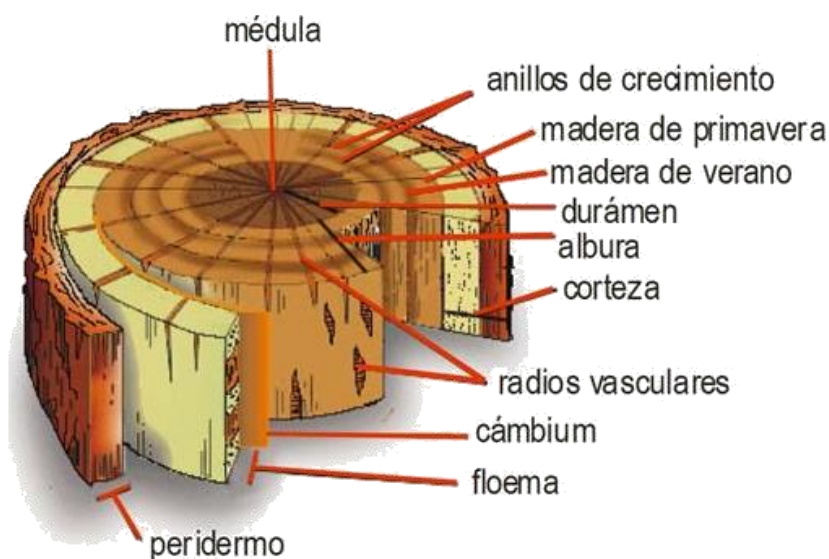


Figura 4.- Partes del tronco.

3.3.1 Diferencias entre frondosas y coníferas

El tejido leñoso presenta diferencias fácilmente apreciables en las coníferas y en algunas frondosas, como puede verse en la Figura 5.

- Duramen y albura. La albura es la zona externa del tronco, que corresponde a la madera más joven y conduce la savia desde las raíces hasta la copa. Es de color claro (blanco-amarillento), porosa y blanda. Con el paso del tiempo, relega su función fisiológica en otras capas más jóvenes y a raíz de unas modificaciones pasan a formar el duramen. El duramen es la zona interior del leño y tiene una coloración más oscura y una mayor densidad. Además, presenta una mayor resistencia contra los ataques de hongos e insectos, por el taponamiento de punteaduras y vasos y la impregnación de tejidos con sustancias de cierto valor antiséptico. El proceso de formación de duramen es diferente en frondosas y coníferas. En la Tabla 2 se muestran las diferencias en la formación de duramen entre las coníferas y la frondosas.
- Anillos de crecimiento. Estos se clasifican en estacionales (en las plantas de la zona tropical con estaciones climáticas marcadas) y anuales (en las plantas de la zona boreal). Dentro de cada anillo pueden distinguirse la madera de primavera (anuales) o de primer crecimiento (estacional) y la madera de verano (anual) o tardía (estacional). En las coníferas, los anillos de crecimiento se marcan por la diferencia de color en la madera de primavera y la de verano. En las frondosas boreales y australes, se caracterizan por la agrupación o distribución de elementos anatómicos (vasos o parénquima terminal) que producen una porosidad desigual dentro del anillo de crecimiento. También, puede tener una cierta diferencia de color, más o menos marcada. En frondosas tropicales y estacionales, las diferencias de porosidad se corresponden a las estaciones secas o lluviosas de la zona. Por lo tanto, cuando las estaciones no están marcadas (como en muchos bosques tropicales) es difícil diferenciar los anillos.

Tabla 2.- Comparación entre especies coníferas y frondosas.

	Frondosas	Coníferas
Modificaciones anatómicas	Aparecen expansiones vesiculares de las células (tyllos), que penetran en vasos próximos obturándolos en mayor o menor grado	Los orificios de comunicación entre células (punteaduras alveoladas) se cierran.
Modificaciones químicas	Fenómenos químicos parecidos, en la formación de duramen, pero más complejos. Contienen sustancias solubles en aguas (taninos y materias colorantes) y sustancias minerales (carbonato, oxalato cálcico, ácido salicílico)	Duramen se colorea por la resina y aceite. Esta impregnación reduce la hinchazón y la merma* y penetración de líquidos (tratamiento más difícil). Contiene sustancias solubles, hidratos de carbono polisacáridos, alcaloides y taninos que al oxidarse le dan su característico color oscuro.
* Variación de las dimensiones de la madera por variación del contenido de humedad. La variación dimensional en la dirección radial es de un 50-60% menor que en la tangencial y en la dirección longitudinal es muy reducida (2% respecto de la radial).		

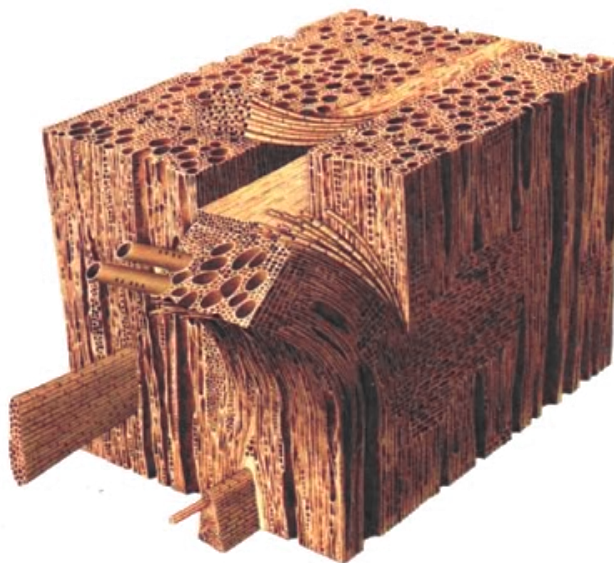
- Radios leñosos. Están constituidos por células dispuestas en dirección radial, perpendicular al eje del árbol, y realizan una función de trabazón de las fibras longitudinales. Tienen importancia en las propiedades de la madera, como elemento de identificación y como responsables, en parte, de las propiedades de contracción de la madera. Por otra parte, la discontinuidad de tejido que representan se hace más señalada en la resistencia a la hienda y en la resistencia a la rajadura en las frondosas, por ser estas las que los tienen más desarrollados. Por el contrario, en compresión, los radios leñosos tienen un efecto positivo, aumentando la resistencia a la compresión radial en las frondosas con radios leñosos gruesos. Cuando son anchos originan en la sección radial unas manchas oscuras denominadas espejuelos.

- Madera juvenil. Es la que se produce en primeros anillos de crecimiento, normalmente la comprendida entre el quinto y vigésimo año. Esta madera tiene propiedades diferentes a la madera restante del tronco (madera madura) y presenta menor resistencia y rigidez y mayor hinchazón y merma en la dirección longitudinal que la madera normal. La zona de duramen del tronco contiene generalmente toda la madera juvenil, Por esta razón, en árboles de crecimiento rápido en los que existe una alta proporción de madera juvenil, puede ocurrir que el duramen tenga características mecánicas inferiores a la albura.

- Madera de reacción. Cuando el árbol se encuentra sometido a unas sollicitaciones que predominan en una dirección (debidos por ejemplo a la pendiente del terreno o a un viento dominante) responde formando lo que se denomina madera de reacción. En las coníferas se produce madera de compresión, con características mejoradas ante este esfuerzo, en las zonas más comprimidas; mientras que las frondosas desarrollan madera de tracción en las zonas más traccionadas. La madera de tracción no tiene gran importancia desde el punto de vista de su utilización estructural, pero la madera de compresión si presenta ciertos problemas. La

madera de compresión tiene anillos de crecimiento de mayor anchura y con una mayor proporción de madera de verano que la madera normal lo cual, junto a otros factores anatómicos, provoca una hinchazón y merma longitudinal mayor, similar a la que presenta la madera juvenil. La madera de compresión tiene normalmente una densidad mayor y por tanto no merma sus propiedades mecánicas. Sin embargo, tiene mayores deformaciones durante el secado y una tendencia a la rotura frágil. Generalmente, las normas de clasificación visual limitan la proporción de madera de compresión en las calidades altas.

(A)



(B)

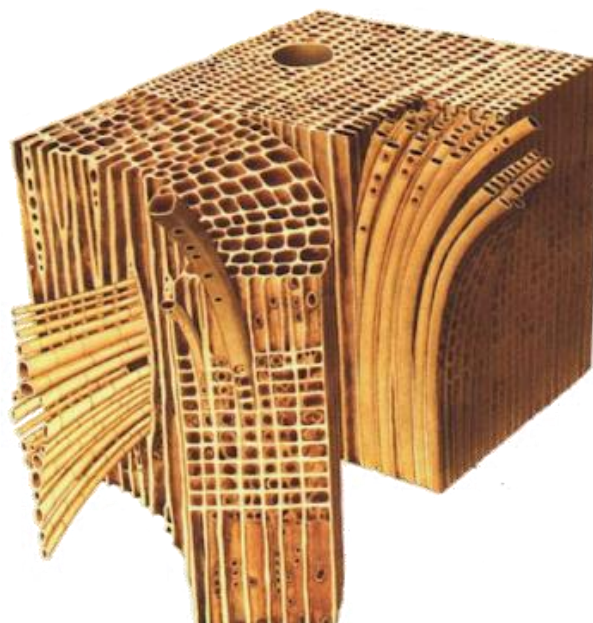


Figura 5.- (A) estructura de la madera de especies frondosas. (B) estructura de la madera de especies coníferas.

Como se puede ver en la Figura 5, la estructura de la madera de las coníferas es más homogénea (ya que las células son más uniformes) y tiene menos elementos anatómicos que la estructura de la madera de coníferas.

3.3.2. Terminología de la estructura macroscópica

- Estructura: es la ordenación de los diferentes elementos anatómicos que forman la madera y en consecuencia las figuras o veteados de ésta. Las maderas de coníferas tienen una estructura simple (pocos elementos anatómicos) mientras que las maderas de frondosas tienen una estructura compleja (muchos elementos anatómicos).
- Grano: se define en función del tamaño de algunos elementos constitutivos de la madera. En las coníferas el grano se refiere al diámetro de las traqueidas, mientras que en las frondosas se refiere al de los vasos. El grano se clasifica en las siguientes categorías:
 - Basto o grueso: cuando estos son muy grandes y fácilmente apreciables a simple vista.
 - Medio: cuando son de tamaño intermedio y más o menos iguales.
 - Fino: cuando son muy pequeños.
- Fibra: se entiende por fibra el conjunto de las células dispuestas en la dirección del eje del árbol, descartando los elementos vasculares y las células de parénquima. Las distintas variaciones que puede tener en dimensiones y disposición, da origen a los siguientes tipos de fibra: recta, ondulada, revirada o en espiral y entrelazada.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE LA MADERA

Dada la variabilidad de las maderas y la heterogeneidad de sus elementos anatómicos, es muy difícil identificar una determinada madera.

En el caso de las maderas de coníferas, son imprescindibles las preparaciones microscópicas. El olor de algunas maderas coníferas permite encuadrarlas en su género, pero se requiere el estudio microscópico para llegar a determinar la especie concreta.

Por otro lado, en las maderas de frondosas existen claves macroscópicas que permiten la identificación de algunas de estas maderas, siempre y cuando se conozca su lugar de procedencia. Si no se conoce, es necesario realizar preparaciones microscópicas y usar claves de identificación (Guindeo, 1997).

4. AGENTES DESTRUCTORES DE LA MADERA

La madera, como material de origen orgánico, está destinada a reincorporarse a la naturaleza. El proceso de degradación de la estructura de la madera puede estar causado por la acción de agentes bióticos (organismos vivos) como agentes abióticos (factores que no tienen vida), como agentes químicos (Peraza, 2001).

En este apartado se describen los principales agentes que pueden causar el deterioro y la destrucción de la madera.

4.1. HONGOS

Para el desarrollo de estos organismos en la madera, su contenido de humedad debe ser superior al 20% en peso, ya que por debajo de esta humedad su actividad queda paralizada. A continuación se detallan los tipos de hongos que afectan la madera (UNE, 2013).

4.1.1. Hongos basidiomicetos

Estos hongos pueden denominarse xilófagos, ya que se alimentan de los componentes de la madera (celulosa o lignina). Provocan destrucción de la estructura anatómica de la madera y, por lo tanto, una disminución considerable de su resistencia. Son causantes de los tipos de pudrición de la madera que se explican a continuación.

- Pudrición parda o cúbica: en este tipo de pudrición, el hongo se alimenta principalmente de la celulosa, dejando la lignina intacta. La madera afectada toma un color marrón oscuro y se cuartea formando pequeñas formas cúbicas.
- Pudrición blanca o fibrosa: en este tipo de pudrición, el hongo se alimenta principalmente de la lignina, afectando ligeramente a la celulosa. La madera afectada toma un color blanquecino y presenta un aspecto fibroso.

4.1.2. Hongos de pudrición blanda

Estos hongos también son xilófagos, y atacan, preferentemente, la celulosa de la pared secundaria de la célula. Cuando el contenido de humedad es elevado confieren a la madera una consistencia blanda, parecida a la del queso fresco. Estos hongos necesitan mayor humedad que los basidiomicetos y aparecen especialmente en piezas de madera en contacto con el suelo.

4.1.3. Hongos cromógenos

Estos hongos se alimentan de sustancias de reserva de la madera, sin afectar su estructura. No producen reducción significativa de la resistencia de la pieza, pero provocan cambios de color que disminuyen su valor estético. En función del cambio de color se pueden definir dos tipos de hongos cromógenos:

- Hongos de azulado. Son los causantes de una coloración azulada o negruzca permanente, de intensidad y profundidad variables. La acción de estos hongos no supone cambios notables en las propiedades mecánicas, pero puede aumentar la permeabilidad y la sensibilidad respecto a los hongos xilófagos.
- Mohos. Estos hongos se manifiestan en forma de manchas de colores variados en la superficie de la madera y se desarrollan cuando hay una humedad relativa elevada o condensación de vapor de agua.

4.2. INSECTOS

Los insectos son otro tipo de agente biótico que puede atacar la madera. A continuación se describen los principales insectos y los efectos que producen en la madera.

4.2.1. Coleópteros o insectos de ciclo larvario

Son insectos voladores de ciclo larvario. Efectúan sus puestas en los poros o fendas de la madera y se alimentan de la madera practicando galerías en dirección sensiblemente paralela a la fibra. Están presentes en toda Europa, pero el riesgo de ataque puede variar mucho según la zona. Los más importantes son:

- Polilla (*Lyctus brunneus*): son líctidos que se alimentan de algunas especies de frondosas. Tienen un ciclo de vida corto, normalmente de 1 año, aunque si las condiciones de vida son favorables puede reducirse a 3 o 4 meses, por lo que su reinfestación es muy rápida. El contenido de humedad de la madera que necesitan es del 6 al 32%, lo que en la práctica abarca toda la madera usada en construcción. Los orificios de salida en la madera son circulares y con un diámetro de 1 a 2 mm. Es típico su ataque en suelos de madera de roble.
- Carcoma (*Anobium punctatum*): son anóbidos que pueden afectar a especies de coníferas y frondosas. Su ciclo de vida es de 3 años. Durante el desarrollo inicial de las larvas y en la fase de pudrición, precisan una humedad relativa del aire superior al 60%. Por este motivo suelen estar relacionados con zonas oscuras y húmedas y muchas veces ligadas a pudriciones previas. Los orificios de salida en la madera son circulares, con diámetros de 2 a 3 mm (en alguna especie hasta 4 mm). Atacan la albura de la madera y es frecuente en muebles y estructuras.
- Carcoma grande (*Hylotrupes bajulus*): estos cerambícidos pueden atacar la albura tanto de coníferas como de frondosas. Su ciclo de vida puede ser muy variado (de 2 a 12 años), pero normalmente es de 7 años. Los orificios de salida en la madera son ovalados y con diámetro de 7 mm.

4.2.2. Termitas o insectos sociales

Son insectos sociales, es decir, viven en grupos en los que individuos están divididos en diferentes tipos o castas que desempeñan diferentes cargos o funciones en la colonia. Pertenecen al orden de los isópteros y en Europa las termitas solo se encuentran en zonas geográficas limitadas. En España actúan tres especies:

- *Reticulitermes lucifugus* Rossi: son termitas subterráneas y viven en la península y Baleares. La termita hace sus nidos en la tierra donde encuentra una atmósfera húmeda, imprescindible para su desarrollo (necesita una humedad relativa en el aire del 95 al 100%). Construyen galerías hasta alcanzar la superficie del suelo y la madera de la construcción y producen daños de gran intensidad (Arriaga, 2002).
- *Cryptotermes brevis* Walker: son termitas que habitan en la madera seca, y se pueden encontrar en las Islas Canarias. Sus necesidades de humedad corresponden a un contenido de humedad de la madera del 15%, que es el límite máximo para su ataque. Son muy peligrosas por la rapidez con la que actúan y por la dificultad de su detección, ya que tapan la entrada de las galerías.

4.3. XILÓFAGOS MARINOS

Otros agentes bióticos que pueden atacar la madera son los xilófagos marinos. Están integrados por dos grandes grupos, los moluscos y los crustáceos. Los factores que tienen mayor influencia en su desarrollo son el contenido de oxígeno, la temperatura y la salinidad

del agua. Debido a la gran variabilidad de los mismos, en función de la especie, no es posible definir intervalos de estos parámetros. Entre los xilófagos marinos se encuentran los siguientes.

4.3.1. Moluscos

En España solo presenta cierta importancia la familia de los teredinidos, que actúan únicamente en aguas transparentes. Estos organismos se fijan a la madera y crean galerías que no son visibles desde el exterior.

4.3.2. Crustáceos

Estos organismos no están fijados a la madera, sino que se mueven y actúan en aguas turbias y transparentes. Producen daños que son visibles desde el exterior. Normalmente, concentran su ataque sobre la zona del nivel medio de las mareas, donde producen pérdida de la sección y dan a la estructura forma de reloj de arena.

4.4. ACCIÓN DEL AGUA

Una de las principales causas del deterioro superficial de la madera se debe a los cambios rápidos del contenido de humedad en la capa externa. El agua de lluvia que moja la superficie de la madera sin protección es adsorbida rápidamente por capilaridad por la capa superficial de la madera, seguida por adsorción en las paredes de las células. La diferencia de humedad entre el interior y la capa superficial que tiende a hinchar, provoca un estado de tensiones en la pieza, que si no está equilibrado origina la arqueadura o combadura. La presencia de agua suele también facilita la aparición de agentes degradadores de origen biológico, actuar conjuntamente y maximizando el daño sobre las estructuras de madera.

4.5. ACCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

La radiación ultravioleta del espectro de la luz solar degrada los componentes de la madera, comenzando por la lignina. Esto se traduce en un cambio de su coloración superficial, que inicialmente tiende al oscurecimiento en tono marrón y, posteriormente, toma un color grisáceo. Por otro lado, si incide la lluvia, los productos resultado de la degradación de la madera son eliminados por el agua, y queda la celulosa, menos sensible a las radiaciones, adquiriendo la superficie un color blanquecino. Además, las células externas pueden recubrirse lentamente de mohos, que viven de la humedad de la madera y de los productos de la fotodegradación, dando a la superficie una coloración grisácea o negruzca.

En la práctica, el agua y el sol actúan de forma combinada y se potencian entre sí, multiplicando los efectos. El deterioro de la madera expuesta a la intemperie es muy lento. Generalmente, se estima que la velocidad de destrucción por exposición a los agentes agua-sol es de 0,06 mm/año (6000 μm /año). Este valor varía en función del clima, de la especie de madera y de la orientación. Algunos autores citan velocidades entre 1000-1300 μm /año.

4.6. ACCIÓN DEL FUEGO

La madera, al estar constituida principalmente por carbono, es un material combustible y susceptible de ser degradada por el fuego. La combustión se produce al combinarse, por el calor, los principales componentes de la madera (el carbono y el hidrógeno) con el oxígeno produciendo CO_2 y agua (si la con exceso de aire). Esta reacción disminuye paulatinamente

la sección de la madera y puede provocar su total destrucción, dependiendo del tiempo de exposición al fuego. La combustión se realiza en dos fases, coincidentes en parte:

- 1ª fase o de desgasificación: ocurre una pérdida inicial de vapor de agua adsorbida en la madera y posteriormente de otros gases adsorbidos, que pueden arder si hay suficiente aire, a la vez que se va formando carbón vegetal.
- 2ª fase o de Combustión: es la reacción del carbón vegetal que se convierte en cenizas.

El proceso de combustión depende de la velocidad con que aumente la temperatura. Si ocurre muy rápido, la velocidad de desprendimiento de gases es mayor que la velocidad de formación de carbón, por lo que los gases se inflaman y se produce la combustión con llama. Por el contrario, si el aumento de temperatura es lento, la velocidad de producción de carbón es mayor que la velocidad del desprendimiento de gases; y el carbón formado arde sin llama en presencia de oxígeno (reacción incandescente).

Los principales factores que influyen sobre la combustión de la madera son la especie, la densidad, las dimensiones y el aspecto superficial, su contenido de humedad, el tamaño de la fuente de calorífica, su coeficiente de conductibilidad calorífica, su calor específico y la formación de carbón.

5. DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA

Entre los diferentes tipos y especies de madera que se comercializan en el mundo existen numerosas diferencias en cuanto a elementos anatómicos y composición, que les confieren características únicas. Por ello, hay normas internacionales que dictan como se deben medir y clasificar los aspectos más importantes para tratar las maderas. De cara a la industria de la madera, esto facilita el trabajo y hace posible comparar las propiedades de las especies de madera.

La norma UNE EN 350:2016 recoge la durabilidad que presentan las maderas frente a los agentes degradantes que son exclusivos de estas, es decir, los que son de origen biótico. Los demás factores (abióticos) afectan de forma similar a todas las maderas. A continuación se describen los aspectos más importantes de la norma citada.

5.1. HONGOS

La norma UNE EN 350:2016 contiene una clasificación para dar una orientación sobre el comportamiento de la madera en contacto con el suelo. Está basada en ensayos realizados sobre estacas de madera clavadas en el suelo. Por tanto, si la madera se utiliza en otras clases de riesgo, las situaciones de servicio pueden diferir del comportamiento de esta clasificación.

Los ataques por hongos basidiomicetos se miden con una escala de cinco niveles, como se resume en la Tabla 3. El procedimiento de análisis se debe llevar a cabo siguiendo las indicaciones de las normas UNE ENV 12038:2002 y CEN/TS 15083-1.

Por otro lado, los ataques por hongos de pudrición blanda se analizan siguiendo el procedimiento descrito en las normas UNE ENV 807:2001 y BS DD CEN/TS 15083-2. En este caso también se diferencian cinco niveles de durabilidad, como se resume en la Tabla 4.

Tabla 3.- Clases de durabilidad de la madera frente al ataque por hongos basidiomicetos.

Clase de durabilidad (DC)	Descripción	Explicación
DC 1	Muy durable	$PM \leq 5$
DC 2	Durable	$5 < PM \leq 10$
DC 3	Medianamente durable	$10 < PM \leq 15$
DC 4	Poco durable	$15 < PM \leq 30$
DC 5	No durable	$30 < PM$
PM: Pérdida de masa por el ataque (%).		

Tabla 4.- Clases de durabilidad de la madera frente al ataque por hongos de pudrición blanda.

Clase de durabilidad (DC)	Descripción	Explicación
DC 1	Muy durable	$PM \leq 0,10$
DC 2	Durable	$0,10 < PM \leq 0,20$
DC 3	Medianamente durable	$0,20 < PM \leq 0,45$
DC 4	Poco durable	$0,45 < PM \leq 0,80$
DC 5	No durable	$0,80 < PM$
PM: Pérdida de masa por el ataque (%).		

5.2. COLEÓPTEROS O INSECTOS DE CICLO LARVARIO

Como se ha comentado anteriormente, estos agentes atacan las maderas secas. Así, en las normas internacionales se mide la durabilidad de las maderas una vez tratadas. Los ensayos de durabilidad frente a estos ataques se realizan mediante los procedimientos descritos en las normas UNE EN 46-1:2016, UNE EN 49-1:2016 y UNE EN 20-1:1992 y se diferencian en tres niveles que se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5.- Clases de durabilidad de la madera frente al ataque por coleópteros.

Clase de durabilidad (DC)	Descripción	Explicación
DC D	Durable	No se encuentra ningún insecto vivo después del ensayo.
DC S	Sensible	Se encuentran uno o varios insectos vivos
DC SH	Duramen también sensible	En general, el duramen de cualquier especie se considera durable frente a los ataques de los insectos, pero existen algunas especies en las que el duramen también es sensible a los ataques de <i>Hylotrupes bajulus</i> y <i>Anobium punctatum</i> .

5.3. TERMITAS O INSECTOS SOCIALES

Los ataques de termitas se evalúan siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE EN 117:2012, que establece una escala de 0 a 4 para la gravedad de los daños (de menor a mayor). Así, la durabilidad de una madera se mide según la gravedad de los ataques de las termitas, como resume la Tabla 6.

Tabla 6.- Clases de durabilidad de la madera frente al ataque por termitas.

Clase de durabilidad (DC)	Descripción	Explicación
DC D	Durable	Como mínimo el 90% de los ataques clasificados como "0" o "1". Como máximo el 10% de los ataques clasificados como "2". Y 0% de los ataques clasificados como "3" y "4"
DC M	Medianamente durable	Menos del 50% de los ataques clasificados como "3" y "4"
DC S	Sensible	El 50% o más de los ataques clasificados como "3 y 4"

En este caso la durabilidad se refiere únicamente al duramen, ya que la albura es siempre atacable. Además, el término durable no implica una resistencia total. Hasta el momento no hay una metodología europea normalizada que evalúe de forma específica frente a termitas de madera seca.

5.4. XILÓFAGOS MARINOS

Los ataques por termitas se evalúan con una escala de tres niveles recogidos en la Tabla 7, siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE EN 275:1992.

Tabla 7.- Clases de durabilidad de la madera frente al ataque por hongos de xilófagos marinos.

Clase de durabilidad (DC)	Descripción	Explicación
D	Durable	$x > 5,0$
M	Medianamente durable	$3 < x \leq 5$
S	Sensible	$x \leq 3$
x = vida media de las probetas/vida media del juego más durable de series de probetas de referencia.		

También, en este caso la durabilidad se refiere únicamente al duramen, ya que la albura es siempre atacable.

6. ELECCIÓN DE TRATAMIENTOS PROTECTORES

A pesar de la durabilidad natural que posea una madera, todas las especies son susceptibles de ser atacadas por factores biológicos según las condiciones. Dada la degradación natural que sufre la madera a lo largo de su vida, es necesario protegerla de los agentes destructores descritos en los apartados anteriores; especialmente de los de origen biológico, por la rapidez en la que su actividad puede destruir la madera (Peraza y cols., 2014).

Por tanto, es necesario el tratamiento químico de las maderas. Para prescribir el tratamiento protector de una madera deben considerarse tres factores importantes como son el uso que se hace de la madera, el nivel de penetración y su impregnabilidad. A continuación se describe cada uno de estos factores.

6.1. CLASES DE USO DE LA MADERA

Las clases de uso son un concepto definido por la norma UNE-EN 335:2013 para intentar valorar el riesgo de ataque de agentes xilófagos, en función del lugar donde se va a instalar la madera, y así prescribir el tratamiento químico adecuado, una vez determinada la especie. Esta clasificación depende principalmente del grado de humedad que puede alcanzar la madera durante su vida de servicio. En la Tabla 8 se detallan las clases de uso de la madera.

Tabla 8.- CU de las maderas.

CU	Situación de servicio y exposición de la madera	Contenido de humedad	Aparición de agentes biológicos				
			H. C.	H. X.	C.	T.	X.M.
CU 1	En interior, seco, no expuesto a la intemperie ni a la humidificación.	<18-20%	-	-	U	L	-
CU 2	En interior o bajo cubierta, no expuesto a la intemperie (en particular a la lluvia horizontal). Posibilidad de condensación de agua	>20%, ocasionalmente	U	U	U	L	-
CU 3	En exterior por encima del suelo, expuesto a la intemperie. Según el grado de exposición se subdivide en: 3.1 condiciones de humidificación breve (el agua no se acumula). 3.2 condiciones de humidificación prolongada (el agua puede acumularse).	>20%, permanentemente	U	U	U	L	-
CU 4	En contacto con el suelo y/o con agua dulce (humectación permanente)	>20%, permanentemente	U	U	U	L	-
CU 5	En contacto con agua salada (humectación permanente)	>20%, permanentemente	U	U	U	L	U*

CU: clase de uso. H.C.: hongos cromógenos. H.X.: hongos xilófagos. C.: carcoma
T.: termitas. X.M.: xilófagos marinos. U: universalmente presente en Europa y territorios de la UE. L: localmente presente en Europa y territorios de la UE.

* El ataque de invertebrados marinos es el problema principal, especialmente en aguas templadas.

6.2. IMPREGNABILIDAD DE LA MADERA

A la hora de tratar químicamente una madera para su protección es importante conocer su capacidad para ser impregnado por un líquido. Cada especie de madera presenta una facilidad específica para la penetración de un líquido, en función del grado de humedad, la porosidad y el contenido de aceite (solo está presente en algunas especies). La norma UNE-EN 350:2016 utiliza una clasificación de 4 niveles, basado en la experiencia de aplicación de procedimientos de impregnación por vacío y presión, que se resume en la Tabla 9.

Tabla 9.- Clases de impregnabilidad en las maderas.

Clase	Descripción	Explicación
1	Impregnable	Muy fácil de impregnar. La madera aserrada puede ser totalmente impregnada con tratamiento a presión sin dificultad.
2	Medianamente impregnable	Fácil de impregnar. Normalmente no es posible una impregnación total, pero después de 2 o 3 h de tratamiento a presión se puede alcanzar una penetración de más de 6 mm en las coníferas. En las frondosas se puede conseguir una impregnación de los vasos en una proporción elevada.
3	Poco impregnable	Difícil de impregnar. Después de 3 a 4 h de tratamiento bajo presión se alcanzan solo penetraciones de 3 a 6 mm.
4	No impregnable	Prácticamente imposible de impregnar. Después de 3 a 4 h de tratamiento bajo presión solo se adsorben pequeñas cantidades de producto. La penetración longitudinal y lateral es mínima.

6.3. NIVEL DE PENETRACIÓN

Por último, se debe de tener en cuenta la profundidad que el tratamiento protector debe conseguir en la madera y sus diferentes capas. Este factor es el que considera la norma UNE EN 351-1:2008 y para el que establece un sistema de 6 niveles de penetración en función de la clase se uso de una madera (descritos en la Tabla 10).

Tabla 10.- Niveles de penetración de los productos protectores para las clases de uso según la norma UNE EN 351-1:2008.

Clase de uso (CU)	Nivel de penetración (NP)	
CU 1	NP 1	Sin penetración específica. Todas las caras tratadas con producto insecticida.
CU 2	NP 1	Sin penetración específica. Todas las caras tratadas con producto insecticida y fungicida.
CU 3.1	NP 2	Al menos 3 mm de penetración en la albura de todas las caras de la pieza.
CU 3.2	NP 3	Al menos 6 mm de penetración en la albura de todas las caras de la pieza.
CU 4	NP 4	Maderas de sección circular. Al menos 25 mm de penetración en de todas las caras de la pieza.
	NP 5	Penetración total en la albura. Todas las caras tratadas.
CU 5	NP 6	Penetración total en la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta. Todas las caras tratadas.

Para alcanzar el nivel de penetración deseado del producto protector se emplean diferentes métodos para su aplicación. En la industria de la madera se emplean dos métodos diferentes: los que emplean presión y los que no. Dentro de estas categorías se encuentra una gran variedad de equipos. Por lo general, aquellos que usan presión obtienen penetraciones superiores.

7. OBJETIVOS

En este trabajo se van a desarrollar los siguientes objetivos:

- Poner a punto un método de análisis destructivo.
- Poner a punto un método de análisis semidestructivo (que requiera poca cantidad de muestra).
- Analizar el efecto del disolvente empleado en la extracción de la cipermetrina presente en las maderas tratadas con Corpol Gel Plus y Corpofen Profesional.
- Analizar la adsorción de Corpol Gel Plus y Corpofen Profesional y la penetración de la cipermetrina en la madera tratada.
- Determinar los parámetros más importantes de los tratamientos con Corpol Gel Plus y Corpofen Profesional.
- Comparar los resultados de los tratamientos con Corpol Gel Plus y Corpofen Profesional.

8. MATERIALES Y METODOLOGÍA

8.1. PRODUCTOS PROTECTORES DE MADERA

Los productos para proteger las maderas frente a ataques biológicos que se han investigado en este trabajo son Corpol Gel Plus y Corpofen Profesional, ambos fabricados por Química de Munguía. El primero contiene un único principio activo, la cipermetrina, en un contenido del 0,11% en peso; mientras que Corpofen Profesional, además de la cipermetrina (0,175%), contiene propiconazol (0,30%), tebuconazol (0,30%) e IPBC o 3-yodopropinilbutil carbamato (0,30%).

Estos compuestos activos tienen dos tipos de acción protectora: la erradicación de los agentes biológicos (los que es importante el tiempo de acción) y la conservación de la madera (en los que el tiempo de reacción no es importante) (Tomlin, 2000). A continuación se detallan brevemente las características de cada principio activo y para qué están indicados.

8.1.1. Cipermetrina

Es un insecticida piretroide sintético con acción estomacal y al contacto. Su nomenclatura IUPAC es (RS)- α -cyano-3-phenoxybenzyl (1RS,3RS;1RS,3SR)-3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate y su fórmula química es $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$. Actúa evitando la transmisión de impulsos a lo largo del sistema nervioso de los insectos, bloqueando los canales de sodio en las membranas de los nervios, bloqueando así la señal de las neuronas. Además, como la acción de la cipermetrina no depende de la conversión o degradación en la forma activa, presenta una mortalidad rápida después del contacto.

8.1.2. Propiconazol

Es un principio activo que se usa de forma preventiva, cuya nomenclatura IUPAC es (2RS,4RS;2RS,4SR)-1-[2-(2,4-dichlorophenyl)-4-propyl-1,3-dioxolan-2-ylmethyl]-1H-1,2,4-triazole y fórmula química es $C_{15}H_{17}Cl_2N_3O_2$. El propiconazol impide el crecimiento fúngico al inhibir el paso de desmetilación de C-14 en la biosíntesis de ergosterol en los hongos y no tiene un efecto obvio sobre la germinación de esporas o la penetración del patógeno.

8.1.3. Tebuconazol

Es un fungicida que se usa en la conservación de madera. Su nomenclatura IUPAC es (RS)-1-p-chlorophenyl-4,4-dimethyl-3-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)pentan-3-ol y su fórmula química es $C_{16}H_{22}ClN_3O$. Actúa, en particular, sobre los hongos de pudrición. El tebuconazol interfiere con el metabolismo básico de la pared de la célula fúngica y su contenido.

8.1.4. 3-yodopropinilbutil carbamato (IPBC)

Es un compuesto que se usa en la conservación de la madera para inhibir el crecimiento de los hongos cromógenos y de pudrición y en concentraciones mayores puede eliminarlos. El nombre IUPAC de este fungicida es 3-iodoprop-2-ynyl N-butylcarbamate y su fórmula es $C_8H_{12}INO_2$. El IPBC tiene la estructura de los carbamatos, que en los hongos actúan sobre la permeabilidad de la membrana celular y los ácidos grasos.

8.2. APLICACIÓN DE PRODUCTOS PROTECTORES

En la industria de la madera se utilizan dos métodos para aplicar los productos protectores: los tratamientos con cambio de presión y los tratamientos sin cambio de presión. Los dos productos protectores que se han investigado están diseñados para tratamientos diferentes. Así, el Corpol Gel Plus, que tiene excipientes de consistencia bastante pesada (dado lugar a un líquido viscoso), está fabricado para ser empleado en tratamientos sin cambios presión mientras el Corpofen Profesional, cuyos excipientes son líquidos (principalmente nafta) de baja viscosidad se produce para tratamientos con cambios presión.

A continuación se explica el procedimiento y el equipo empleado en el tratamiento de las maderas con cada líquido protector.

8.2.1. Aplicación por autoclave de doble vacío y pulverización

Este es el equipo que se emplea para aplicar en las maderas el Corpofen Profesional. Está formado por un tanque de trabajo cilíndrico (autoclave), un contenedor de producto protector, una bomba neumática y una bomba de vacío. La madera a tratar se introduce en el autoclave y se cierra herméticamente. A continuación, se reduce la presión usando la bomba de vacío, que provoca la salida del aire contenido en la madera, por el gradiente de la presión. Esto hace que el líquido protector pueda penetrar mejor en la madera. Después, la bomba neumática lleva el líquido protector desde su contenedor a unas boquillas, situadas en el interior del tanque, y estas pulverizan el producto sobre toda la superficie de la madera de forma homogénea. Al cabo de ocho minutos, sin dejar de pulverizar, se rompe el vacío hasta la presión atmosférica. De este modo, el líquido protector penetra en la madera. Finalmente, la bomba neumática extrae el excedente de producto del fondo del tanque. En la Figura 6 se muestra un esquema del equipo y en la Tabla 11 se resumen las condiciones de trabajo que se han empleado en este tratamiento.

Este sistema de aplicación de producto protector está indicado para la clase de uso 3, ya que alcanza niveles de penetración altos, cumpliendo lo estipulado en la norma UNE EN 351-1:2008.

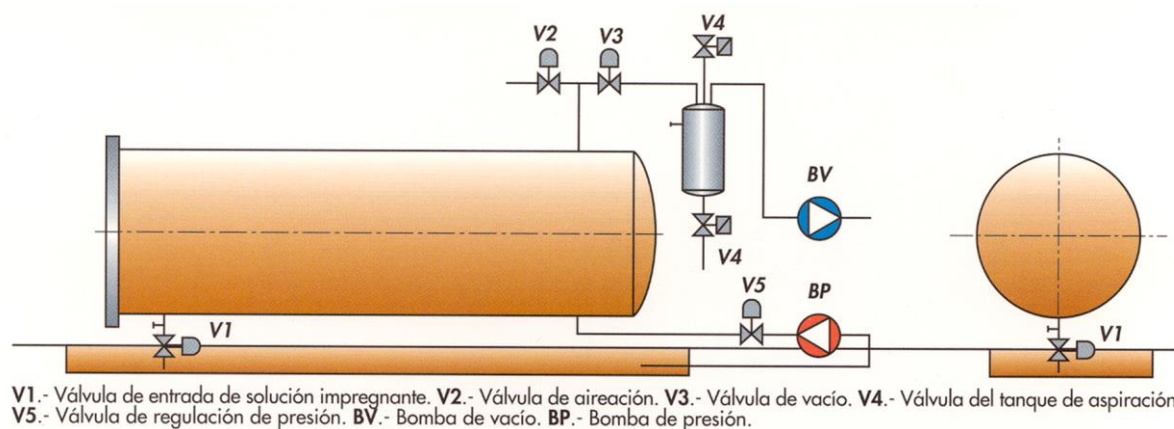


Figura 6.- Esquema del autoclave de doble vacío y pulverización.

Tabla 11.- Condiciones de operación del autoclave.

Parámetro	Valor
Vacío inicial del autoclave	320 mm Hg
Tiempo de vacío	36 min
Tiempo de pulverización con vacío	8 min
Tiempo de pulverización a presión atmosférica	6 min

8.2.2. Aplicación superficial

El Corpol Gel Plus se aplica superficialmente en la superficie de la madera que se desea proteger. La cantidad mínima de producto indicada para el tratamiento es de 300 g/m² (el producto es de consistencia espesa, lo que favorece que no resbale por la superficie). Con una espátula, se distribuye el producto de forma homogénea por toda la superficie de cada pieza de madera. Por último, se dejan secar las piezas tratadas por un periodo de dos semanas a temperatura ambiente (en torno a 18 °C), para que el líquido protector sea adsorbido por las maderas y se difunda hacia el interior de las mismas.

Este sistema de aplicación de producto protector solo está indicado para la clase de uso 1. Ya que independientemente del nivel de penetración que pueda alcanzar, el líquido protector no contiene sustancias fungicidas.

8.3. MADERAS ESTUDIADAS

Para realizar los tratamientos explicados se han seleccionado cuatro tipos de maderas representativas de los diferentes tipos de árboles. Estas maderas son: madera de pino insigne (representativa de las coníferas), madera de roble europeo (representativa de las frondosas boreales), y madera de manglar y keruing (ambas representativas de las frondosas tropicales).

A continuación se describen las características más representativas de cada madera.

8.3.1. Pino insigne

Esta especie también se conoce como pino radiata o pino de Monterrey y es originaria de una zona de la costa de California (Estados Unidos). Actualmente se encuentra difundido por el suroeste de Europa, Nueva Zelanda, suroeste de Australia, Chile, Brasil y Sudáfrica. En España se encuentra principalmente en la Cordillera Cantábrica, principalmente en el País Vasco (donde se concentran dos tercios de las masas españolas). Sus masas forestales, producción y exportación son muy importantes.

En cuanto a su madera, la albura es de color blanco amarillento y se oscurece relativamente rápido con la luz, mientras que el duramen tiene un color pardo amarillento o pardo marrón. La madera de albura está poco o medianamente diferenciada. Los anillos de crecimiento son visibles y tienen un gran espesor (de 1 a 5 anillos por centímetro). Además, la fibra es recta y el grano varía de fino a medio.

Es una madera de densidad media-baja, los valores de densidad obtenidos a un contenido de humedad (M.C.) de 12% oscila entre 420 y 500 kg/m³.

Por otro lado, cabe destacar otras propiedades, que se recogen en la Tabla 12.

8.3.2. Roble europeo

Esta denominación, también se conoce como roble común (*Quercus robur*) o roble albar, (*Quercus petraea*) es originario de Europa, aunque también se encuentra en Asia Menor y en el norte de África. En España, se encuentra en el norte, desde Galicia hasta Cataluña. El *Q. robur* es más abundante en Galicia y va disminuyendo hacia Cataluña. El *Q. petraea* es abundante en Cataluña y se va haciendo más escaso hacia el poniente. También se encuentra en las sierras de Urbión y Moncayo y su límite meridional está en la sierra de Guadarrama. Sus masas forestales, producción y exportación son estables.

El color de la madera de duramen varía del marrón-amarillo claro al marrón y el de la albura es un poco más claro. La madera de albura está claramente diferenciada. Los anillos de crecimiento son visibles y están muy marcados. La madera presenta la fibra es recta, el grano grueso y tiene un olor tánico bastante fuerte. Además, la madera se describe como ácida y puede corroer metales en contacto con ella. Los vapores de la madera verde pueden ser también muy corrosivos.

Su madera presenta una densidad media-alta, al 12% de M.C. los valores pueden ser entre 650 y 760 kg/m³.

Otras propiedades importantes de la madera de roble europeo se recogen en la Tabla 12.

8.3.3. Manglar

Se trata de un conjunto de árboles y arbustos característicos de las costas tropicales y subtropicales que crecen por debajo del nivel de marea alta. Estas formaciones de plantas litorales no se comercializan en Europa y por lo tanto no figura en los manuales de tratamiento de maderas y la información de la que se dispone sobre su madera es limitada. Además, al ser el manglar una denominación que engloba muchas especies, las propiedades de su madera son variables. Teniendo en cuenta esto, la madera que se va a tratar presenta un

leño es de color amarillo grisáceo con una ligera pigmentación rojiza en duramen. La madera es dura y muy densa (837 kg/m³).

8.3.4. Keruing

También se conoce como Kruen o Yang y es una denominación comercial que integra más de 70 especies que reciben el nombre de Dipterocarpus. Procede del sur y el sudeste de Asia, donde sus masas forestales son importantes. Su producción es estable y su exportación es muy importante.

En cuanto a su madera, la albura está claramente diferenciada del duramen. El color de la albura varía del marrón amarillento claro al gris marrón o gris rojizo y el duramen varía, según las especies, del marrón pálido al marrón rojizo o al púrpura. Además, los radios leñosos son muy finos el grano es fino y la fibra es recta y ocasionalmente puede ser ligeramente entrelazada. Por otro lado, la madera suele exudar resina.

Es una madera de densidad alta, y cuanto más oscuro sea el color de la madera, mayor densidad tiene. Así, los valores de densidad obtenidos a un M.C. de 12% oscila entre 740 y 780 kg/m³.

Otras propiedades que se recogen en la norma UNE-EN 350:2016 en cuanto a su tratamiento se resumen en la Tabla 12.

Tabla 12.- Otras propiedades de las maderas.

Especie de madera	Durabilidad natural (duramen)					Impregnabilidad	
	Hongos	Carcoma grande	Carcoma	Termitas	Xilófagos marinos	Duramen	Albura
Pino Insigne	4 - 5	D	S	S	-	2 - 3	1
Roble europeo	2 - 4 *(1-2)	-	D	M	-	4	1
Keruing	3 v.	D	D	S	S	3 v.	2
v.: variable.							
*: En condiciones de contacto con el suelo, presenta un rango de durabilidad amplio.							

8.4. ACONDICIONAMIENTO DE LAS MADERAS

Se han usado dos piezas de cada madera, una para el tratamiento con cada líquido protector. Las piezas se han cortado a un tamaño adecuado para no desperdiciar producto conservador durante el tratamiento y suficiente para obtener muestras representativas de las mismas. Así, las medidas que se han elegido siguiendo el esquema de la Figura 7 son: largo (z) de 15-30 cm, ancho (x) de 10-15 cm y alto (y) de 7-10 cm.

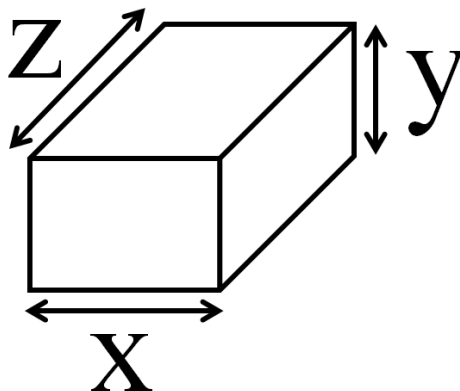


Figura 7.- Esquema de las dimensiones de las piezas de madera.

Para simular el modo en el que el producto entra en las maderas puestas en obra, las maderas se han colmatado mediante la aplicación de un agente impermeabilizante en los extremos en dirección axial (o testas, como se llaman estas caras en la industria de la madera). Así el líquido protector no tendrá preferencia para penetrar por esa zona por capilaridad.

Por último, se ha pesado cada trozo de madera que se va a tratar con una balanza de laboratorio para determinar la cantidad de producto retenido en el tratamiento.

8.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS CONVENCIONALES

Las técnicas habituales de análisis que se utilizan hoy en día para analizar las maderas tratadas por productos protectores debilitan de la estructura de madera por la forma de obtención de las muestras. En este trabajo se han empleado dos métodos de análisis convencionales: el método destructivo y el semidestructivo. La diferencia entre ambos está en la forma de obtener las muestras, como se explica más abajo. El análisis se lleva a cabo del mismo modo en los dos casos

8.5.1. Método destructivo

La obtención de muestras está basada en el cepillado (raspado con cuchilla) de grandes superficies de madera tratada, gracias a lo cual se consiguen virutas de madera. Este proceso se suele llevar a cabo en varios pasos, obteniendo muestras de capas cada vez más profundas de la madera. Así, se suele producir una disminución en el grosor de la madera del orden de 1 mm por cepillado. Con este método, para cada madera, se ha obtenido cuatro muestras de 5 mm de espesor, hasta una profundidad total de 20 mm.

8.5.2. Método semidestructivo

Se utiliza una barrena Pressler acoplada a un taladro (Figura 8) y se realizan varias perforaciones perpendiculares al plano axial de cada pieza tratada. La barrena Pressler es similar a una broca normal con un agujero en el eje. Así, con cada perforación en la cara de la madera se consigue sacar un pequeño cilindro (Figura 9). Es muy importante identificar el extremo interior y exterior de la muestra, ya que la concentración varía respecto a la profundidad. Para ello, y para no perder partes de la muestra, se ha preservado cada cilindro entre dos trozos de cinta plástica y en este se ha escrito la información de cada muestra (tipo de madera, tratamiento realizado y exterior e interior de la muestra). Con este método, para

cada madera, se ha obtenido cuatro muestras de 5 mm de longitud, hasta una profundidad total de 20 mm.

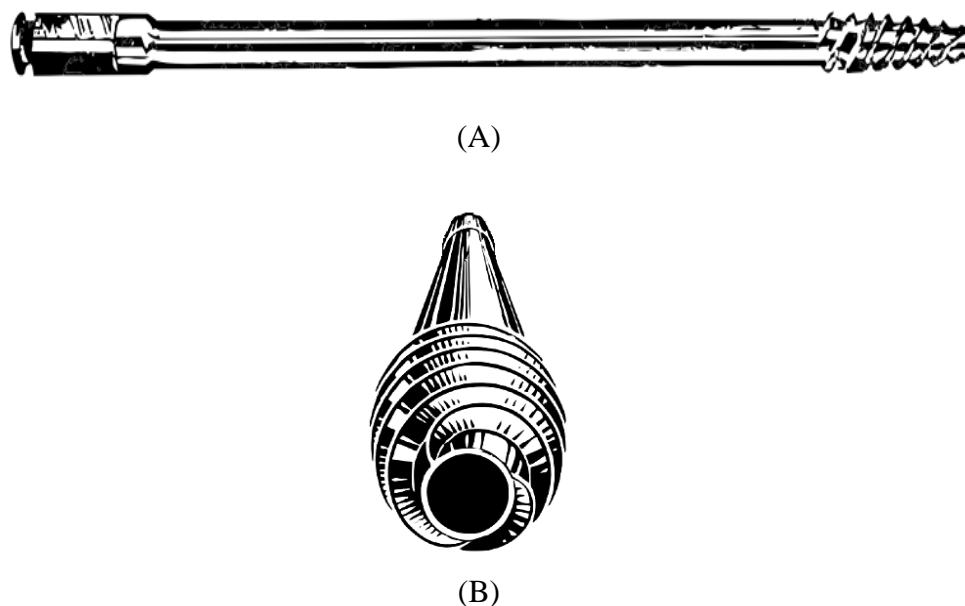


Figura 8.- Imagen de una barrena Pressler. (A) vista lateral. (B) vista desde el extremo derecho.



Figura 9.- Muestra de madera para el método semidestructivo.

8.5.3. Selección del disolvente para la extracción

Para realizar la extracción de los compuestos activos adsorbido en las maderas tratadas se han considerado dos disolventes orgánicos muy comunes: la acetona y el etanol. Es muy importante para no interferir en los resultados que el disolvente no extraiga compuestos propios de la madera sin tratar. Para determinar qué disolvente es el más adecuado, se ha realizado la extracción de una muestra de cada madera sin tratar con cada uno de los disolventes.

8.5.4. Extracción sólido-líquido y posterior concentración

Para la extracción se ha empleado una relación de 20 mL de disolvente por 0,1 g de madera. El proceso de extracción se ha realizado en un matraz de Erlenmeyer de 100 mL, con agitación durante 3h, a temperatura ambiental. Después, el extracto se ha calentado hasta 100 °C. Es importante que la temperatura no supere los 200 °C para no degradar los concentrados activos. Por ello, se ha evaporado parte el disolvente, hasta conseguir reducir el volumen de la muestra a 3-5 mL.

8.5.5. Análisis del extracto

La fase extraída se ha analizado mediante cromatografía líquida con detector UV (HPLC-UV).

Para simplificar el análisis de las muestras se ha analizado únicamente la presencia de cipermetrina. La cipermetrina es el único compuesto insecticida, por lo que su penetración en la madera es más importante que la del resto de compuestos, que son de conservación.

Para identificar el tiempo de retención de la cipermetrina en el cromatograma se ha preparado una disolución patrón del 1% en masa de cipermetrina en el disolvente elegido y se ha analizado con el equipo de cromatografía HPLC 1220 A. A continuación se muestran las condiciones del análisis.

- Tipo de columna: CHIRADDEX HR LiChroCART 250-4 HPLC-Cartridge.
- Fases: 35% agua y 65% metanol.
- Tiempo: 65 min.
- Caudal: 1 mL/min.
- Longitud de onda de la lámpara: 272 nm.

Para cuantificar la cipermetrina se ha empleado una curva de calibración. Se han preparado disoluciones de 200, 100, 50, 25, 12,5 y 6,25 ppm de cipermetrina en el disolvente y se han analizado estos patrones por HPLC. Consecuentemente, para conocer la relación entre el área de los picos obtenidos en la cromatografía de los patrones se han representado los resultados gráficamente y se ha calculado la regresión lineal de los mismos.

Una vez calibrado el equipo, se han analizado las muestras que se han extraído de las maderas tratadas.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados obtenidos con los métodos de análisis convencionales.

9.1. SELECCIÓN DEL DISOLVENTE DE EXTRACCIÓN

El cromatograma HPLC de una muestra de madera sin tratar extraída con acetona se muestra en la Figura 10. En el cromatograma se observan dos picos, a tiempos menores de 2 minutos,

correspondientes a compuestos no identificados (probablemente impurezas de la acetona), acompañados de un pico de gran área a 2,24 min, correspondiente a la acetona y otro pico más pequeño a 41,17 min correspondiente a un compuesto no identificado y que se ha extraído de la madera.

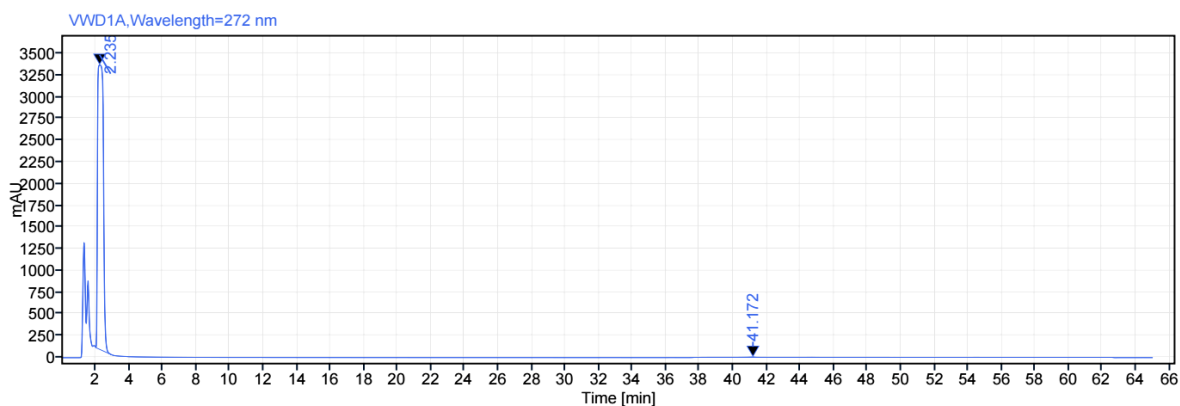


Figura 10.- Cromatograma de muestra de madera sin tratar extraída con acetona.

En la Figura 11 se muestra el cromatograma HPLC de una muestra de madera sin tratar extraída con etanol. El pico más intenso se debe al etanol, mientras que los otros picos menos intensos se deben a las impurezas del etanol.

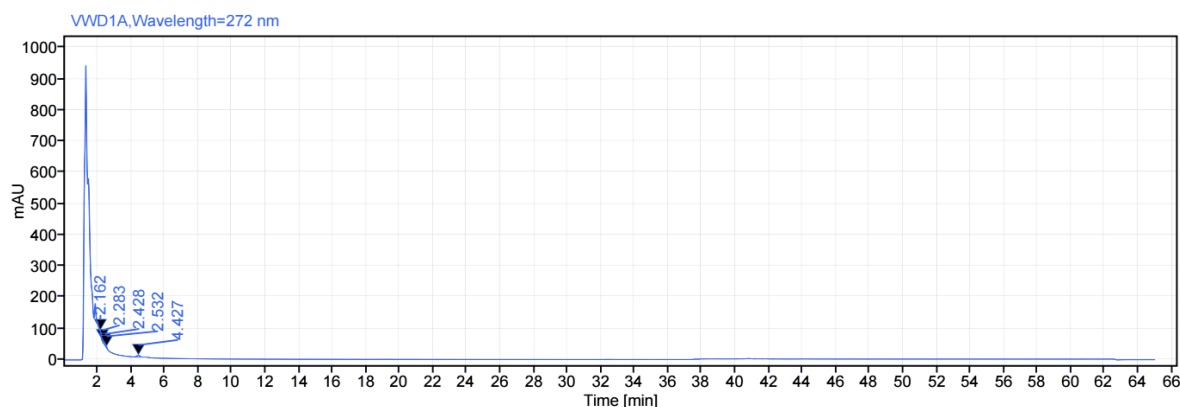


Figura 11.- Cromatograma de muestra de madera sin tratar extraída con etanol.

El análisis HPLC de una disolución de cipermetrina en etanol con una concentración del 0,11% en masa se muestra en la Figura 12. El cromatograma muestra una serie de picos entre 40 y 42 min que se corresponden a los distintos isómeros de la cipermetrina. El primer pico intenso corresponde al etanol y el resto de picos a tiempos de retención menores de 5 min no han podido ser identificados.

En vista de los resultados, el disolvente elegido para realizar la extracción de los compuestos activos de las muestras de las cuatro maderas tratadas es el etanol. La acetona ha extraído de la madera sin tratar un compuesto no identificado cuyo tiempo de retención está en el rango del de la cipermetrina, impidiendo la cuantificación correcta de la cipermetrina.

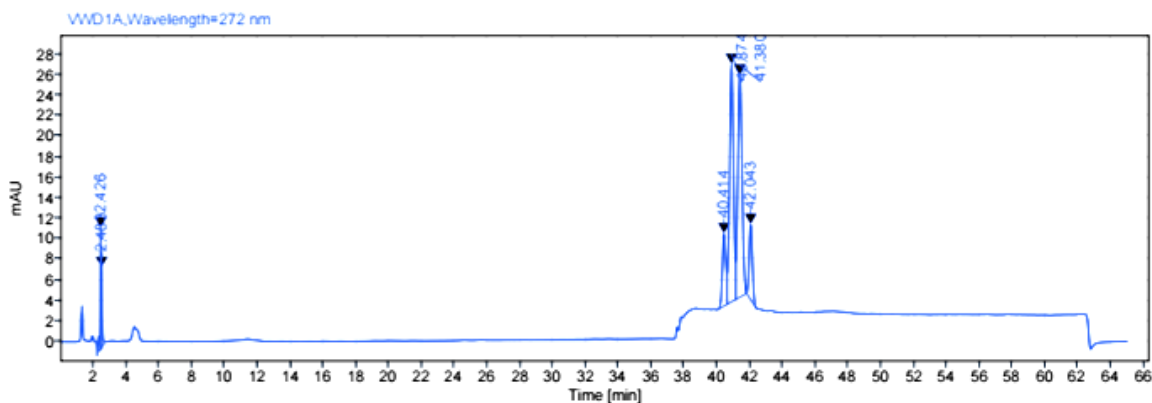


Figura 12.- Cromatograma de la cipermetrina.

9.2. CALIBRACIÓN DE LA CIPERMETRINA

Por medio del análisis de los patrones de cipermetrina en etanol con concentraciones de 6,25, 12,5, 25, 50, 100 y 200 ppm se ha realizado la recta de calibración que se muestra en la Figura 13. Como se puede ver, la regresión lineal realizada se ajusta a los datos experimentales y el coeficiente de determinación (R^2) logrado es muy elevado lo que indica que resultados muestran una tendencia lineal muy pronunciada.

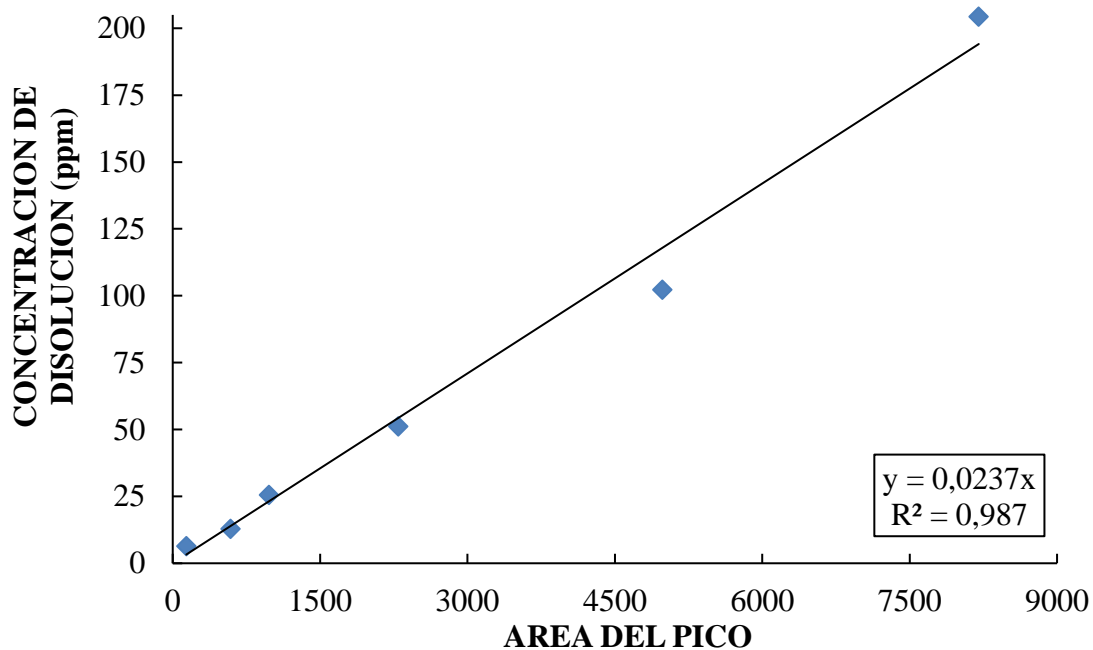


Figura 13.- Recta de calibración de la cipermetrina y detalles de la regresión lineal.

9.3. CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL PRODUCTO PROTECTOR

La Figura 14 muestra la cantidad de cipermetrina adsorbida en cada madera cuando es tratada con Corpol Gel Plus (tratamiento superficial) y en el del tratamiento con Corpofen Profesional (tratamiento con autoclave).

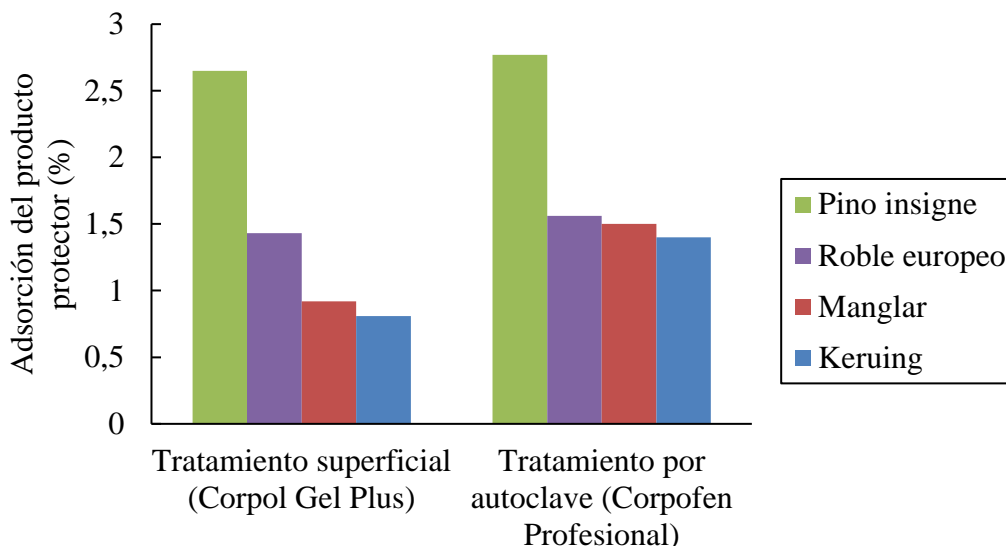


Figura 14.- Adsorción de producto protector en las maderas.

Los resultados de ambos tratamientos muestran tendencias similares con las maderas. Las maderas han adsorbido el producto protector en función de su densidad y porosidad. La especie de menor densidad y mayor porosidad (pino insigne) ha adsorbido la mayor cantidad de líquido protector. Con el tratamiento del Corpofen Profesional la adsorción ha sido mayor en todos los casos, especialmente en las coníferas tropicales (manglar y keruing). La presión ejercida en el tratamiento con autoclave para la aplicación de Corpofen Profesional es más efectivo en cuanto a la adsorción de líquido protector, ya que la cantidad adsorbida aumenta entre un 4,54% y un 90,12%

9.4. PENETRABILIDAD DE LA CIPERMETRINA ANALIZADA CON EL MÉTODO DESTRUCTIVO

Las muestras extraídas de las distintas maderas se han analizado con HPLC. En la Figura 15 se muestra como ejemplo un cromatograma de una muestra tratada con Corpól Gel Plus. Los picos que aparecen entre los tiempos de retención 0-6 min y 46-48 min de y que no aparecían en la madera sin tratamiento se corresponden a los excipientes del Corpól Gel Plus.

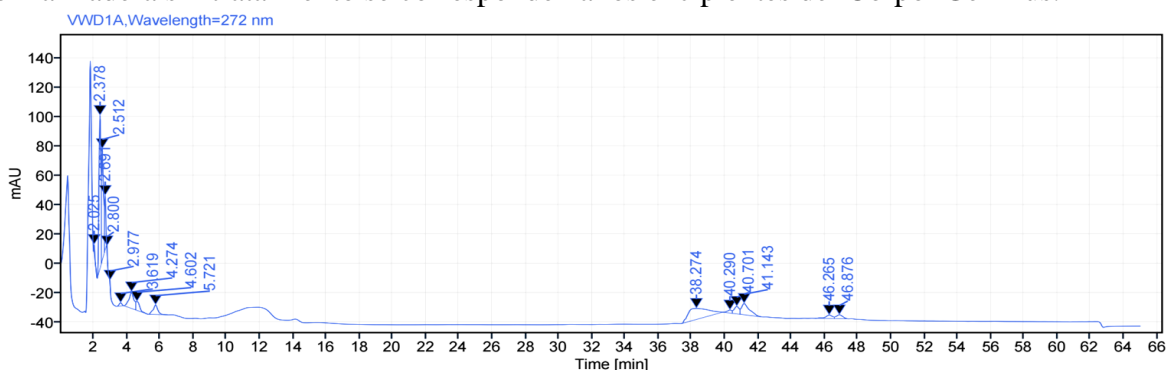


Figura 15.- Madera de pino insigne tratada con Corpól Gel Plus. Muestra de 0-5 mm de profundidad.

En las Figuras 16 y 17 se muestra cómo varía la concentración de cipermetrina con la profundidad de las muestras de madera tratadas con Corpól Gel Plus y Corpofen Profesional, respectivamente.

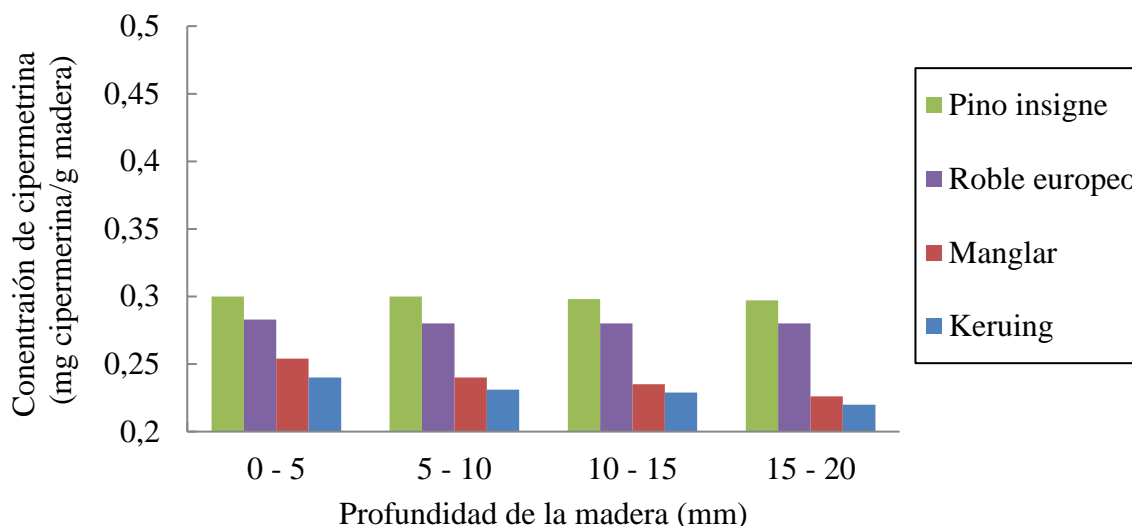


Figura 16.- La concentración de cipermetrina en las cuatro maderas tratadas con Corpol Gel Plus.

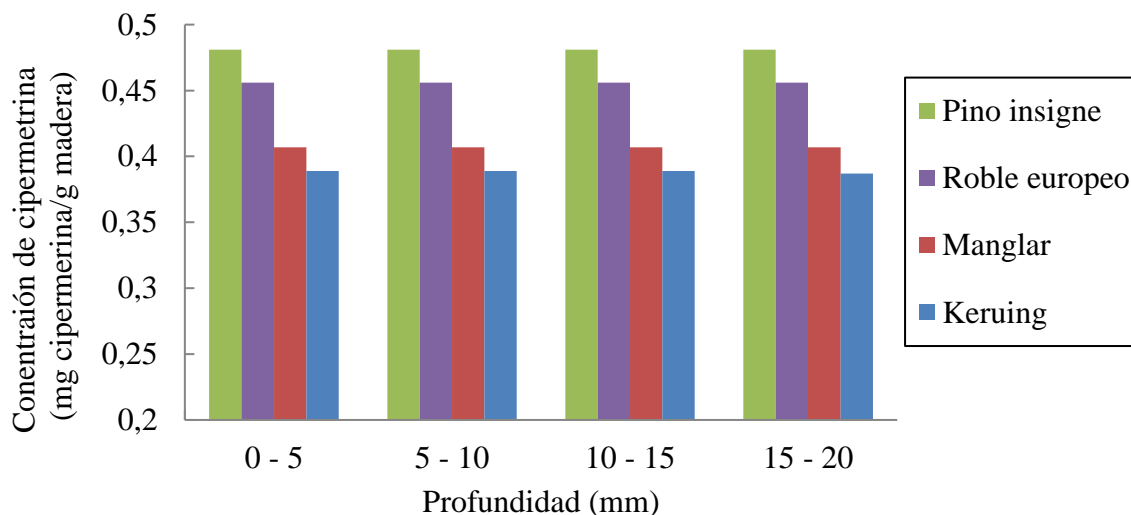


Figura 17.- La concentración de cipermetrina en las cuatro maderas tratadas con Corpofen Profesional.

Todas las muestras de madera tratadas con Corpofen Profesional han obtenido una mayor concentración de cipermetrina que las maderas tratadas con Corpofen Profesional. Este resultado es coherente, dado que la concentración de cipermetrina en el Corpofen Profesional (0,175% en masa) es mayor que en el Corpol Gel Plus (0,11% en masa), además de la fuerza impulsora de la variación de presión en el autoclave.

En la evolución de la concentración de cipermetrina con la profundidad, se observa que el tipo de madera es un factor importante en los dos tratamientos protectores, por la densidad de cada una. La adsorción de cipermetrina resulta mayor en las maderas de menor densidad y mayor porosidad.

En las maderas tratadas con Corpol Gel Plus, la concentración de cipermetrina varía en menor medida con la profundidad en las maderas de pino insigne y roble europeo en

comparación a las maderas de manglar y keruing. Esto se debe a la resistencia que ejerce la densidad de la madera a la difusión del producto.

En las maderas tratadas con Corpofen Profesional, la tendencia de la concentración respecto a la penetración en las maderas es prácticamente constante en todas las especies de madera, lo que demuestra que la presión que emplea el autoclave en la aplicación de este producto protector facilita su penetración en la madera.

9.5. PENETRABILIDAD DE LA CIPERMETRINA ANALIZADA CON EL MÉTODO SEMIDESTRUCTIVO

Las muestras extraídas de las maderas con el método semidestructivo se han analizado de la misma manera. En todos los casos, los análisis de las muestras de madera tratadas con los dos líquidos protectores muestran concentraciones de cipermetrina por debajo del límite de detección del equipo. Esto puede ser debido a la dificultad en la extracción de la cipermetrina en estas muestras, que son partículas sólidas más grandes y con menor cantidad de masa total que las muestras obtenidas por el método destructivo. Con lo cual el área de contacto ente la madera y el etanol es menor.

10. CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado el nivel de adsorción el grado de penetración de la cipermetrina en cuatro maderas distintas, utilizando dos productos comerciales distintos (Corpol Gel Plus y Corpofen Profesional). A continuación se enumeran las conclusiones más importantes que se han obtenido en este estudio.

El disolvente más adecuado para la extracción de la cipermetrina en las muestras de madera tratadas es el etanol, porque la acetona extrae de la madera un compuesto no identificado que interfiere en el cromatograma con la cipermetrina dificultando su cuantificación.

El estudio de la adsorción de producto protector en la madera indica que la porosidad de la madera favorece su mientras que la densidad elevada la dificulta. Así, para el tratamiento tanto con Corpol Gel Plus como con Corpofen Profesional el pino insigne es el que muestra mayor capacidad de adsorción de producto (2,65% y 2,77% para Corpol Gel Plus y Corpofen Profesional respectivamente) y el keruing la menor capacidad (0,81% y 1,54%)

La capacidad de adsorción de líquido mediante tratamiento con Corpofen Profesional es mayor, para todas las maderas, que mediante el tratamiento con Corpol Gel Plus. Esta diferencia es mayor en las especies de frondosas tropicales, que son las más densas. Esta diferencia se atribuye al efecto favorable de la presión en el autoclave.

El grado de penetración de la cipermetrina depende de la densidad y porosidad de las maderas, de forma que las maderas menos densas y más porosas favorecen la penetrabilidad.

La concentración de cipermetrina a 20 mm de profundidad, para todas las maderas, es mayor en el tratamiento con Corpofen Profesional que en el tratamiento con Corpol Gel Plus, lo que sugiere que el nivel de penetración es mayor. Esto se debe a dos factores: la mayor concentración de cipermetrina en el Corpofen Profesional (0,175% en masa) frente al Corpol Gel Plus y el efecto favorable de la presión en el autoclave.

Al haberse analizado las mismas maderas tanto en el método destructivo como en el semidestructivo, se ha probado que las maderas contienen cipermetrina. Los malos resultados del análisis con el método semidestructivo se deben a un problema en la extracción de la cipermetrina de las muestras. El área de contacto entre la muestra y el etanol ha sido demasiado pequeña debido a dos factores: el gran tamaño de las partículas sólidas de la muestra y la escasa masa total de las mismas. Así, la cipermetrina extraída está por debajo de los límites de detección del equipo.

Se debe moler la muestra del método semidestructivo con un pequeño molino, para realizar la extracción de la cipermetrina de forma correcta. Ya que así se consiguen numerosas partículas pequeñas y se aumenta el área de contacto.

11. PROPUESTAS A FUTURO

Los métodos de análisis convencionales son dañinos para las estructuras de madera. Además, las muestras tienen que ser analizadas mediante HPLC, lo cual implica el traslado de las muestras al laboratorio, que a menudo está muy lejos de la obra. En resumidas cuentas, los métodos de análisis convencionales llevan mucho tiempo y son costosos.

Por lo tanto, en la industria de la madera surge la necesidad de un nuevo método de análisis que no sea destructivo, que se pueda llevar a cabo in situ y que sea tan fiable como los métodos que se usan hoy en día.

A continuación se proponen dos técnicas estas técnicas para futuros estudios de mejora.

11.1. ESPECTROSCOPIA RAMAN

Este método permite determinar los grupos funcionales de una molécula, ya que cada enlace ejerce una variación de frecuencia en un haz de luz monocromático.

La espectrometría Raman es una técnica de análisis rápida y se realiza in situ, ya que se realiza directamente sobre el material a analizar sin necesitar este ningún tipo de preparación especial. Además, es no-destructiva porque no conlleva ninguna alteración de la superficie sobre la que se realiza el análisis.

11.2. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR)

Este método permite determinar los grupos funcionales que posee una molécula, dado que cada tipo de enlace absorbe radiación infrarroja a una frecuencia distinta.

El FTIR supone una técnica de análisis rápida y que resulta mucho menos dañina que los métodos convencionales para las estructuras de madera. Según el equipo FTIR, el análisis puede llevarse a cabo sobre la estructura de madera o se deben de tomar pequeñas muestras de la madera.

12. NOMENCLATURA

C.	Carcoma.
cm	Centímetro.
cm ²	Centímetro cuadrado.

D	Durable.
D.C.	Clase de durabilidad.
FTIR	De infrarrojos por transformada de Fourier
g	Gramo.
H.C.	Hongos cromógenos.
HPLC	Cromatografía líquida de alta eficacia.
H.X.	Hongos xilófagos.
kg	Kilogramo.
kp	Kilopondio.
m ³	Metro cúbico.
M.C.	Contenido de humedad.
min	Minuto.
ml	Mililitro.
nm	Nanómetro.
P _h	Peso húmedo.
P _s	Peso seco.
Perp.	Perpendicular.
PM	Pérdida de masa.
ppm	Partes por millón.
R ²	Coefficiente de determinación.
T.	Termitas.
v.	Variabilidad inusualmente alta.
X.M.	Xilófagos marinos.
µm	Micrómetro.
°C	Grado Celsius.

13. BIBLIOGRAFÍA

Argüelles, R., Arriaga, F., Arriaga, C., 1996. Estructuras de madera, 1st ed. AITIM, Madrid, pp.2-8, 381-400.

Argüelles, R., Arriaga, F., Martínez, J., Arriaga, C., 2003. Estructuras de madera. 2nd ed. AITIM, Madrid, pp.13-19.

Arriaga, F., 2002. Intervención en estructuras de madera, 1st ed. AITIM. Madrid, pp.17-31.

CEN, 2005 a. Durability of wood and wood-based products Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods Part 1: Basidiomycetes. CEN/TS 15083-1. CEN, Brussels.

CEN, 2005 b. Durability of wood and wood-based products Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods Part 2: Soft rotting micro-fungi. CEN/TS 15083-2. CEN, Brussels.

Çengel, Y., 2013. 1. Eransikna, en: Bero- eta masa-transferentzia. Hurbilketa praktikoa. Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua, Bilbao, pp 848.

Fitorforestal.com., 2020. Vallas de madera y Venta de Madera tratada y madera para jardín. Especialistas en vallas de madera. - Nueva versión norma UNE 335. <https://www.fitorforestal.com/empresa/noticias/130-nueva-version-norma-une.html> (9/1/2020).

Google Sites, 2020. Anatomía de la madera - Tecnología de la madera. <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/el-arbol/anatomia-del-arbol> (14/1/2020).

Guindeo, A., 1997. Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario, 1st ed. AITIM, Madrid, pp.27-34, 51-53.

Is.mendelu.cz, 2020. Hygroscopicity of wood. https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=19371 (19/2/2020)

ISO, 2017. Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests — Amendment 1. ISO 13061-1:2014/Amd 1:2017. ISO, Geneva.

LSU AgCenter, 2014. Causes and Control of Wood Decay, Degradation & Stain. <https://www.lsuagcenter.com/NR/rdonlyres/C29C1E6F-2F5B-4F0D-A963-248E54EB4E83/51180/pub2703WoodDecayLowRes.pdf> (19/2/2020)

Nino Bravo Morales, 2020. Manual para la identificación de maderas forestales (página 2) - Monografias.com. <https://www.monografias.com/trabajos75/manual-identificacion-maderas-forestales/manual-identificacion-maderas-forestales2.shtml> (9/1/2020).

Peraza, F., 2001. Protección preventiva de la madera, 1st ed. AITIM, Madrid, pp.161-166, 177.

Peraza, J., Rodríguez, M., Menéndez-Pidal, I., 2014. Guía de la madera, 1st ed. AITIM, Madrid, pp.18-21.

Pesticide Properties DataBase. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/search.htm> (19/2/2020).

Petterson, R., 1984. The Chemical Composition of Wood. <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1984/pette84a.pdf> (19/2/2020)

Tomlin, C., 2000. The pesticide manual, 12th ed. Farnham BPPC, London, pp.230-231, 779-781, 864-865.

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

UNE, 2004. Nomenclatura de las maderas utilizadas en Europa. UNE-EN 13556. AENOR, Madrid.

UNE, 2008. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Determinación de la impregnabilidad de las especies de madera por productos protectores. Método de laboratorio. UNE-CEN/TR 14734. AENOR, Madrid.

UNE, 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. UNE-EN 335. AENOR, Madrid.

UNE, 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. UNE-EN 350. AENOR, Madrid.