



DOI: 10.29298/rmcf.v15i84.1453

Artículo de investigación

Durabilidad natural de la madera de seis especies de importancia comercial en México

Natural durability of wood from six species of commercial importance in Mexico

Yolanda Ontiveros-Moreno¹, Serafín Colín-Urieta^{2*}, Artemio Carrillo-Parra³, Edgar Benjamín López-Camacho⁴, José Javier Corral-Rivas⁵, José
Ciro Hernández-Díaz³, José Ángel Prieto-Ruíz⁵

Fecha de recepción/Reception date: 6 de noviembre de 2023
Fecha de aceptación/Acceptance date: 14 de febrero del 2024

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. México.

²Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. México.

³Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura de la Industria de la Madera. México.

⁴Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela de Biología. México.

⁵Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: serafinscu@hotmail.com

*Corresponding author; e-mail: serafinscu@hotmail.com

Resumen

La durabilidad natural de la madera se define como la capacidad intrínseca que tiene para resistir la degradación ocasionada por factores bióticos y abióticos. Existen pocos registros de la durabilidad natural de la madera en México; en este estudio se determinó con base en la degradación de la madera de seis especies comerciales: *Pinus durangensis*, *P. strobiformis*, *P. cooperi*, *Juniperus deppeana*, *Quercus sideroxyla* y *Alnus acuminata*, además de *Fagus sylvatica* como testigo. Se usaron probetas colocadas en contacto con el suelo por 12 meses en dos localidades: la Reserva Ecológica del Mineral de Nuestra Señora de la Candelaria en Cósala, Sinaloa, y el predio Las Bayas, Durango. Cinco probetas de cada especie se enterraron a 50 % de su longitud y se analizaron siguiendo la norma europea UNE-EN 252:2015 que determina la degradación en la madera, y la UNE-EN 350:2016 para la durabilidad. Debido a la ausencia de normalidad ($p < 0.05$) en los datos de degradación, se usó la prueba no paramétrica de *Kruskall-Wallis* para determinar diferencias estadísticas entre especies, localidad y área de punzado. El análisis estadístico se realizó en el programa *R-Studio*. De acuerdo con las normas UNE-EN 252:2015 y UNE-EN 350:2016, *J. deppeana* fue la madera más durable clasificada como Clase 1; *Q. sideroxyla*, *P. strobiformis*, *P. durangensis* y *F. sylvatica* (control), fueron maderas Clase 2, con ligero daño; *A. acuminata* y *P. cooperi* clasificaron como Clase 3, con evidente degradación. Se concluye que *J. deppeana* presenta la madera más durable.

Palabras clave: Durabilidad, *Fagus sylvatica* L., *Juniperus deppeana* Steud., suelo, UNE-EN 252:2015, UNE-EN 350:2016.

Abstract

The natural durability of wood is defined as its intrinsic ability to resist degradation caused by biotic and abiotic factors. There are few records of natural wood durability in Mexico; in this study, it was determined based on the degradation of the wood of six commercial species: *Pinus durangensis*, *P. strobiformis*, *P. cooperi*, *Juniperus*

deppeana, *Quercus sideroxylo*, and *Alnus acuminata*, in addition to *Fagus sylvatica* as the control. Test specimens were placed in contact with soil for 12 months at the *Mineral de Nuestra Señora de la Candelaria* Ecological Reserve of in *Cósala, Sinaloa*, and at the *Las Bayas* property in the state of *Durango*. Five specimens of each species were buried at 50 % of their length and analyzed following the UNE-EN 252:2015 European standard for determining degradation in wood, and UNE-EN 350:2016 for estimating durability. Due to the absence of normality ($p < 0.05$) in the degradation data, the Kruskal-Wallis nonparametric test was used to determine statistical differences between species, locality, and puncture area. Statistical analysis was performed in the R-Studio program. According to UNE-EN 252:2015 and UNE-EN 350:2016, *J. deppeana* was the most durable wood classified as Class 1; *Q. sideroxylo*, *P. strobiformis*, *P. durangensis* and *F. sylvatica* (control) were Class 2 timbers, with slight damage; and *A. acuminata* and *P. cooperi* were classified as Class 3, with evident degradation. It is concluded that *J. deppeana* has the most durable wood.

Key words: Durability, *Fagus sylvatica* L., *Juniperus deppeana* Steud., soil, UNE-EN 252:2015, UNE-EN 350:2016.

Introducción

El término “durabilidad de la madera” se refiere a la capacidad intrínseca del material leñoso para resistir su degradación ocasionada por ataque de hongos, bacterias, insectos y perforadores marinos; así como al desgaste por agentes químicos, mecánicos e intemperización (degradación fotoquímica). La durabilidad de las maderas es diferente frente a los organismos y factores ambientales que la pueden degradar, además, el tipo y tiempo de exposición también afectan la velocidad de su deterioro (Sandberg *et al.*, 2021). El grado de pudrición de la madera permite determinar la durabilidad natural o inducida de una especie. El nivel de intemperización y de pudrición se relaciona con las condiciones climáticas, incidencia de rayos UV, humedad, grado de aireación del suelo, cantidad de materia orgánica, pH, nutrientes, presencia de microorganismos y tiempo de exposición a los agentes de degradación (Taraborelli *et al.*, 2020; Moreno *et al.*, 2022). En forma natural, la durabilidad de la madera varía entre especies; incluso, esta es diferente según la parte del árbol donde se obtenga la pieza de madera y el tipo de suelo al que se exponga (Ypushima, 2015).

La madera del duramen es más resistente que la de albura. La durabilidad mayor se encuentra en la base del árbol y disminuye conforme se avanza hacia las partes altas del fuste. En algunas especies, la relación entre durabilidad y velocidad de crecimiento de los árboles es inversa, por lo que bajos valores de crecimiento generan maderas de alta durabilidad (Hermoso *et al.*, 2015). Para determinar la durabilidad natural de la madera se requieren pruebas de campo y laboratorio con periodos de tiempo largos (desde un año hasta cinco), lo que permite cuantificar el daño de insectos, microorganismos e intemperismo; y a su vez, predice la vida útil de la madera (Larsson-Brelid *et al.*, 2011; Ibáñez *et al.*, 2016; Elgueta *et al.*, 2019).

De la Cruz *et al.* (2018) analizaron siete especies de maderas comerciales y clasificaron como Clase 3 (moderadamente durable) a *Juniperus deppeana* Steud., *Pinus cooperi* C. E. Blanco y *P. durangensis* Martínez; Clase 4 (menos durable) a *P. teocote* Schltdl. & Cham.; y Clase 5 (no durable) a *P. strobiformis* Engelm., *Quercus sideroxylla* Bonpl. y *Arbutus* spp.

Dada la competencia que existe en el mercado por la madera y a su sustitución por otros materiales, como molduras de plástico, unicel e incluso *foamy*, en México se está estudiando la durabilidad natural de algunas especies de madera comercial. Con base en las investigaciones sobre durabilidad se puede fomentar el desarrollo sustentable, ya que se evita la tala innecesaria e impulsa el buen manejo del bosque. El objetivo de este trabajo fue determinar la durabilidad natural de la madera de seis especies de importancia comercial, y una de control; el trabajo se realizó en una localidad de Sinaloa y en otra de Durango; la categoría de durabilidad a la que pertenece cada taxón se determinó según los parámetros de las normas europeas UNE-EN 252:2015 (Asociación Española de Normalización, 2015) y UNE-EN 350:2016 (Asociación Española de Normalización, 2017).

Materiales y Métodos

Áreas de estudio

Se seleccionaron dos sitios para exponer a la intemperie la madera de las especies estudiadas, se consideró que ambos tienen diferentes condiciones de humedad ambiental y temperatura, así como tipo de suelo (Cuadro 1), y que no había rastros de cultivos, ni estaban expuestos a cambios ocasionados por el ser humano.

Cuadro 1. Descripción climática y de los suelos de los sitios de estudio.

Sitios	Las Bayas, Durango	REMNSCC, Sinaloa
Coordenadas geográficas	23°22' N y 104°48' O	23°29' N y 106°29' O
¹ Tipo de clima	CE (w ₁) semifrío-subhúmedo	AC (w ₀) semicálido-subhúmedo
Tipo de suelo	Arena-limo y arcilla	Arcilla roja y amarilla
² pH	5.8 (medianamente ácido)	6.4 (ligeramente ácido)
³ CE (mS cm ⁻¹)	0.49 (normal)	1.5 (muy ligeramente salino)
⁴ Materia orgánica (%)	0.28 (muy bajo)	0.33 (muy bajo)
⁵ Textura		
Arena (%)	37.6	39.6
Limo (%)	35.6 (migajón ligeramente arcilloso)	35.6 (migajón arenoso)
Arcilla (%)	26.7	24.7

¹Tipo de clima del sitio; ²pH del suelo; ³Conductividad eléctrica del suelo;
⁴Porcentaje de materia orgánica del suelo; ⁵Textura del suelo.

El primer sitio se ubicó en el predio particular Las Bayas, municipio Pueblo Nuevo, Durango, el cual pertenece a la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED); sus coordenadas son 23°22' N y 104°48' O, a 1 867 m de altitud; la vegetación dominante es bosque de pino-encino y su temperatura mensual varía de 7 a 25 °C; la precipitación mensual promedio de enero a mayo es de 11 a 13 mm, de junio a septiembre varía de 59 a 91 mm y de octubre a diciembre de 33 a 17 mm (Raymundo *et al.*, 2012).

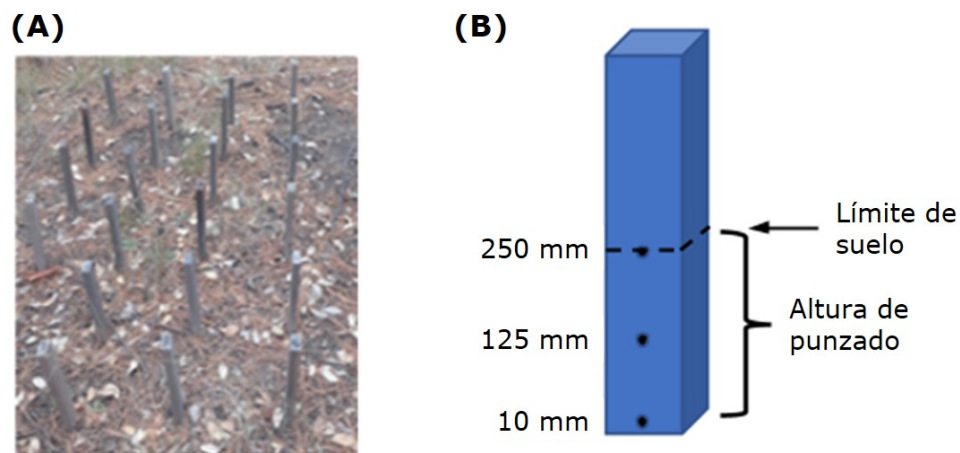
El segundo sitio se localizó en la Reserva Ecológica del Mineral de Nuestra Señora de la Candelaria en Cósala (REMNSCC), Sinaloa, perteneciente a la Universidad Autónoma de Culiacán (UAC); cuyas coordenadas geográficas son 23°29' N y 106°29' O, a 418 m de altitud; su orografía es de lomeríos y pendientes de hasta 45°; la vegetación dominante corresponde a bosque tropical caducifolio y su temperatura media mensual varía de 10 a 35 °C; la precipitación mensual promedio de enero a mayo es de 2 mm, de junio a agosto de 33 a 64 mm y de septiembre a diciembre entre 2 y 33 mm (Rubio *et al.*, 2010) (Cuadro 1).

Especies analizadas

Se analizó la madera de *Juniperus deppeana*, *Quercus sideroxylla*, *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. strobiformis* y *Alnus acuminata* Kunth. Los resultados se

compararon con la madera de *Fagus sylvatica* L., empleada como testigo, de acuerdo con las normas europeas adoptadas para el análisis.

Las dimensiones de las probetas de madera para todas las especies se habilitaron a 50 mm×25 mm×500 mm de ancho, espesor y longitud, respectivamente, según lo establece la UNE-EN 252:2015 (Asociación Española de Normalización, 2015). En cada sitio se colocaron al azar cinco probetas de los siete taxones, para un total de 35 probetas colocadas en una parcela de 3 m×3 m. Las probetas se posicionaron en forma vertical, enterrando en el suelo 25 de los 50 cm de su longitud y separadas 30 cm (Figura 1A).



A = Colocación de las probetas (bajo suelo); B = Distribución de las incisiones en las probetas de 500 mm.

Figura 1. Sitio con las probetas instaladas tipo cementerio y esquema de la distribución de las incisiones.

Tras un periodo de exposición de 12 meses en los sitios, las probetas se trasladaron al laboratorio del Instituto de Silvicultura de la Madera (Isima) de la Universidad Juárez del Estado de Durango para evaluar su nivel de degradación. El área de

sección de cada probeta (1 250 mm²) correspondió a la multiplicación de 50 mm×25 mm, la cual se determinó al inicio, y la superficie remanente medida al final del ensayo correspondió a la diferencia de la segunda medida con la inicial, expresada en porcentaje. El análisis se realizó siguiendo los parámetros establecidos en la norma europea UNE-EN 252:2015 (Asociación Española de Normalización, 2015) que clasifica la durabilidad de la madera en función del deterioro de su superficie que ocurrió cuando estuvo en contacto con el suelo (Cuadro 2); y UNE-EN 350:2016 (Asociación Española de Normalización, 2017) que clasifica a la madera según su grado de durabilidad cuando estuvo en contacto con el suelo (Cuadro 3).

Cuadro 2. Clasificación de la degradación de las probetas de madera en contacto con el suelo, según la norma europea UNE-EN 252:2015.

Intervalo	Definición de la condición	Máxima profundidad deteriorada	Área mínima de la sección transversal	
		[mm]	[mm ²]	[%]
0 Ningún ataque	Ninguna evidencia de deterioro, ablandamiento o debilitamiento causada por microorganismos	0	1 250	100
1 Ligero ataque	Poca evidencia de deterioro, no significativa hasta cierta profundidad	1	1 104	88
2 Moderado ataque	Evidencia significativa de deterioro, con áreas deterioradas (madera con ablandamiento o débil) hasta cierta profundidad	3	836	67
3 Severo ataque	Deterioro, ablandamiento y debilitamiento, amplio deterioro típico por hongos en grandes áreas	5	600	48

hasta cierta profundidad

4	Falla	Probetas se fracturan en una prueba de flexión	50	0	0
---	-------	--	----	---	---

Fuente: UNE-EN 252:2015 (Asociación Española de Normalización, 2015).

Cuadro 3. Clasificación de la durabilidad de probetas de madera colocadas en contacto con el suelo, según la norma europea UNE-EN 350:2016.

Clasificación de la durabilidad	Descripción	x-valor
1	Muy durable	$x > 5$
2	Durable	$3 < x \leq 5$
3	Moderadamente durable	$2 < x \leq 3$
4	Menos durable	$1.2 < x \leq 2$
5	No durable	$x \leq 1.2$

Fuente: UNE-EN 350:2016 (Asociación Española de Normalización, 2017).

Además de lo establecido en las normas citadas, se monitoreó la durabilidad de las probetas mediante incisiones no mayores a 5 mm de profundidad a tres alturas de la parte de la probeta expuesta al suelo. Para determinar la degradación se realizó una incisión con una aguja de disección cuya punta se marcó con rojo. La primera incisión se hizo en la altura de 250 mm, la segunda a 125 mm y la tercera a 10 mm desde la base de la probeta (Figura 1B).

Análisis estadístico

Debido a la ausencia de normalidad ($p < 0.05$) en los datos, se usó la prueba no paramétrica de *Kruskall-Wallis* para determinar si había diferencias estadísticas entre los factores analizados (sitio, especie y área a la altura del punzado). Los análisis estadísticos se hicieron con el programa *RStudio* versión 3.6.3 (RStudio Team, 2020).

Resultados y Discusión

Durabilidad de la madera

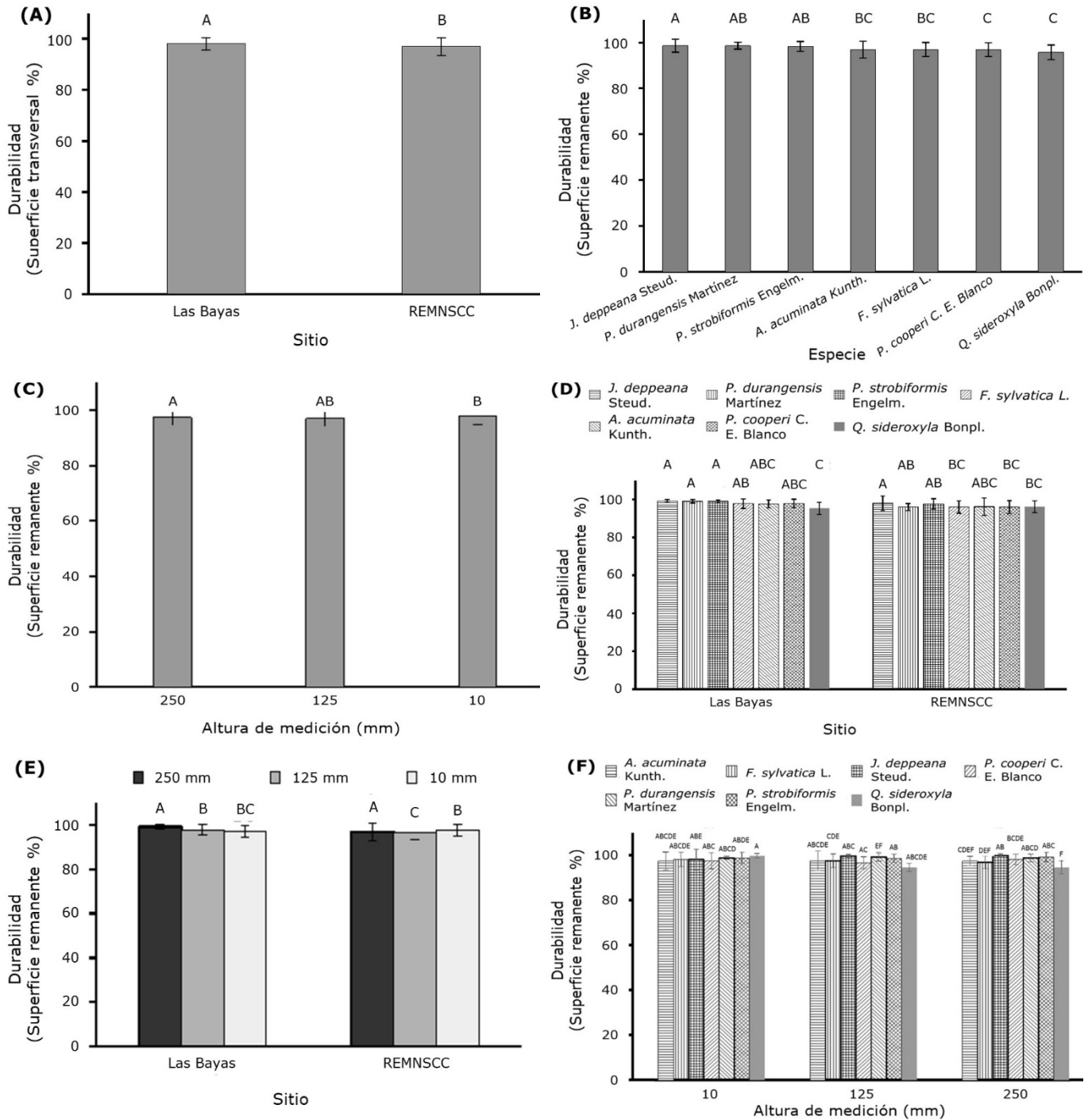
La durabilidad de la madera, determinada por el porcentaje de superficie remanente en las probetas después de un año de exposición en el suelo, mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre sitios, especies, áreas de punzado y sus interacciones (Cuadro 4). En la comparación entre sitios, la madera de Las Bayas fue más durable que la del sitio REMNSCC, los valores medios de todas las taxa fueron 98 y 96 %, respectivamente (Figura 2A). No obstante que la

durabilidad de la madera fue significativamente diferente entre sitios, en ambos casos la madera se clasificó como Clase 1.

Cuadro 4. Pruebas de *Kruskal-Wallis* (*H*) de la durabilidad de la madera de seis especies de importancia comercial en México y el control *Fagus sylvatica* L.

Factor	<i>H</i>	<i>gl</i>	(<i>p</i><0.05)
Sitio (S)	4.04	1	0.04
Especie (E)	23.51	6	0.006
Área de punzado (A)	7.01	2	0.02
S:E	31.05	13	0.003
S:A	20.34	5	0.001
E:A	52.29	20	0.001
S:E:A	78.95	41	0.003

H = Valor de prueba de *Kruskal-Wallis*; *gl* = Grados de libertad.



A = Comparación entre los sitios (Las Bayas y REMNSCC); B = Comparación entre especies; C = Comparación entre las alturas de punzado (10 mm, 125 mm y 250

mm); D = Interacción especie y sitio; E = Interacción sitio y altura de punzado; F = Interacción especie y altura del área del punzado.

Figura 2. Durabilidad natural de la madera de las especies estudiadas según la norma europea UNE-EN 252:2015.

La durabilidad natural de la madera presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre especies; la superficie remanente en las probetas después de un año de exposición en el suelo varió de 95.73 a 98.61 % (Figura 2B). Los taxones más durables (menor deterioro y ablandamiento) fueron *J. deppeana*, ubicada en el grupo estadístico superior, seguida de *P. durangensis* y *P. strobiformis*; seguidas de *A. acuminata* y el control *F. sylvatica*, y finalmente *Q. sideroxylla* y *P. cooperi* (Figura 2B).

Con respecto a las alturas de las probetas en las que se evaluó la durabilidad, se registraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Dicha durabilidad varió de 97.07 a 97.91 % (Figura 2C); a todas las alturas se les clasificó como Clase 1 (poca evidencia de deterioro > 88 %). Sin embargo, a la altura de la incisión de 250 mm, la durabilidad se ubicó en el grupo superior, seguida de la altura a 125 mm y por último a la altura de 10 mm en todas las especies estudiadas (Figura 2C). Estos resultados revelan que al nivel del suelo se evidenció menor deterioro de las siete especies analizadas, lo cual contrasta con el mayor deterioro ocurrido a la altura de 10 mm (base de la probeta). Por lo tanto, al hundir más la probeta, se reduce la durabilidad; ello sugiere una relación directa entre la profundidad de enterramiento y el grado de deterioro.

La durabilidad natural de la madera en la interacción Sitio:Especie, también presentó diferencias significativas; los valores variaron de 95.29 a 99.24 % (Figura 2D). Las probetas con mayor durabilidad (> 88 %, poca evidencia de deterioro), colocadas en Las Bayas, correspondieron a *J. deppeana*, *P. durangensis* y *P.*

strobiformis; mientras que de las ubicadas en la localidad REMNSCC, solo *J. deppeana* mostró el mismo grado de deterioro en ambos sitios. Por otra parte, las probetas de *Q. sideroxylla*, tanto las de Las Bayas como las de REMNSCC, presentaron la menor durabilidad entre las especies estudiadas (Figura 2D).

Cabe mencionar que la durabilidad depende de las condiciones ambientales, las cuales pueden causar un enorme impacto (Meyer *et al.*, 2012); por ejemplo: la madera será más susceptible al deterioro en condiciones cálidas y húmedas, que cuando los climas sean fríos, secos; y también aumentará su susceptibilidad, si está en contacto con el suelo.

La durabilidad natural de la madera en la interacción Sitio:Altura de medición tuvo diferencias significativas ($p < 0.05$). Los valores variaron de 96.39 a 99.16 % (Figura 2E). Los resultados presentaron cuatro grupos estadísticos, en los cuales el sitio Las Bayas a 250 mm registró la degradación menor, ya que tuvo poca evidencia de deterioro o ablandamiento por ataque de microorganismos. Por otra parte, las probetas del sitio REMNSCC a 125 mm mostraron la menor durabilidad; no obstante, se incluyeron en la categoría Clase 1 (poca evidencia de deterioro > 88 %) (Figura 2E).

Colín-Urieta *et al.* (2018) indican que la combinación de la evaluación visual por la norma UNE-EN 252:2015 y la prueba de punzado permite determinar el valor del deterioro en la madera. Asimismo, la combinación de un clima cálido, subhúmedo, con suelo arcillo-arenoso, corresponde a un ambiente donde las condiciones son favorables para el deterioro de la madera (Ali *et al.*, 2011).

La durabilidad presentada en la interacción Sitio:Especie:Altura de punzado presentó diferencias significativas ($p < 0.05$). Los valores variaron de 93.43 a 99.68 % y se clasificó como Clase 1 (poca evidencia de deterioro > 88 %). Se identificaron estadísticamente 16 grupos; las alturas de punzado exhibieron una durabilidad similar, lo cual evidenció escaso deterioro, ablandamiento o debilitamiento atribuible

a microorganismos. No obstante, en *P. cooperi*, se observó un leve deterioro en las alturas de punzado dos y tres, correspondiente a 10 y 125 mm en ambos suelos (Figura 2F). En el Cuadro 5 se muestran los resultados en porcentaje de la durabilidad natural de las especies analizadas según el sitio y la altura de punzado, de acuerdo a las normas UNE-EN 252:2015 (Asociación Española de Normalización, 2015) y UNE-EN 350:2016 (Asociación Española de Normalización, 2017).

Cuadro 5. Durabilidad natural según el porcentaje de la superficie transversal remanente por sitio, especie y altura de punzado de las especies estudiadas.

Sitio	Altura de punzado (mm)	Especie						
		<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	<i>Alnus acuminata</i> Kunth.	<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	<i>Pinus durangensis</i> Martínez	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	<i>Fagus sylvatica</i> L.
Las Bayas	250	99.12	95.90	93.43	98.64	99	96.8	96.16
	125	98.92	99.5	93.44	99.16	98.68	97.0	98.33
	10	99.68	97.53	99.0	99.28	99.32	99.6	98.96
REMNSCC	250	99.40	97.81	94.63	98.52	98.36	98.4	96.43
	125	99.24	94.46	94.55	97.33	97.40	95.0	95.81
	10	95.28	96.14	99.36	98.76	97.09	95.2	96.11

El porcentaje de la superficie transversal remanente se calculó dividiendo la superficie final entre la inicial y luego se multiplicó el resultado por 100.

Durabilidad natural

De acuerdo con la prueba *Kruskal-Wallis*, la durabilidad natural determinada con la norma europea UNE-EN 350:2016 (Asociación Española de Normalización,

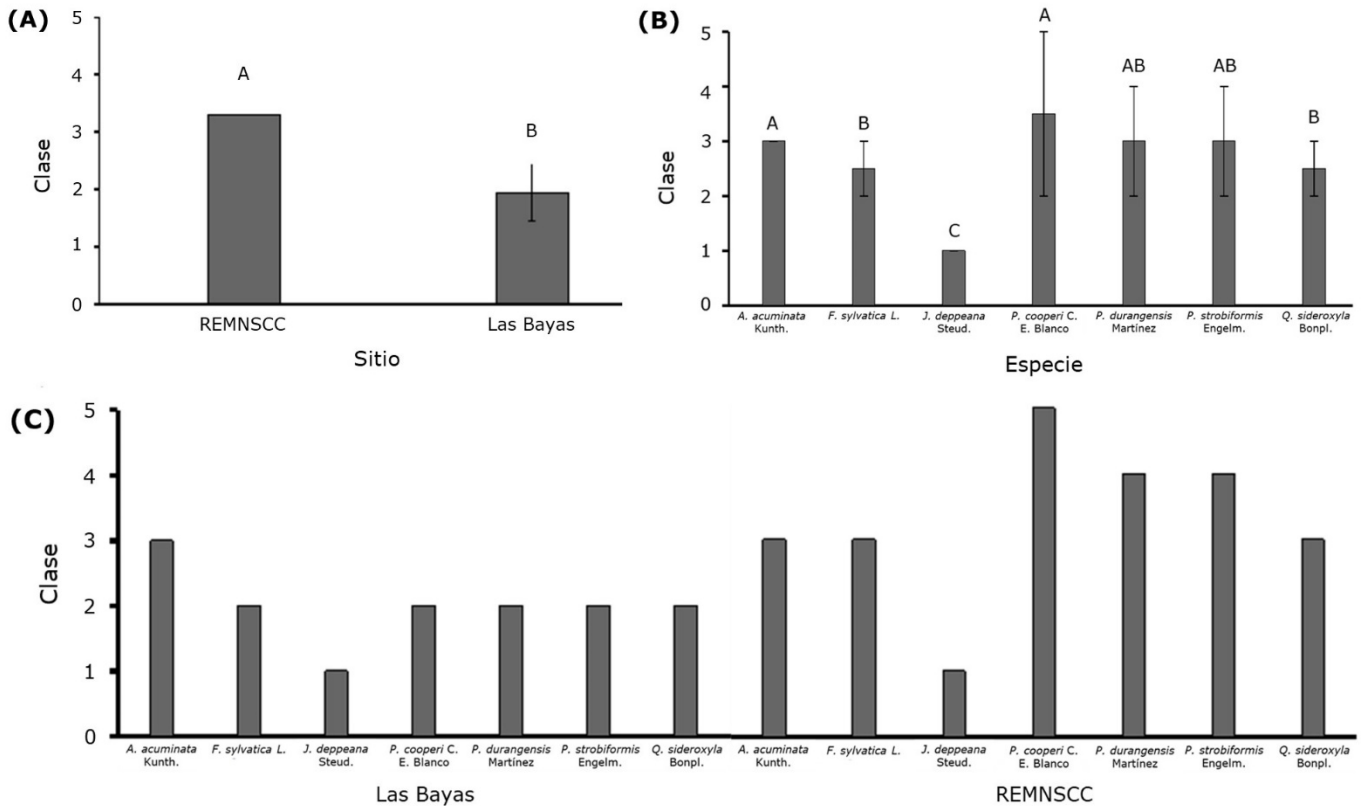
2017) difirió significativamente entre sitios, especies y la interacción Sitio:Especie ($p < 0.05$) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Pruebas de *Kruskal-Wallis* de la durabilidad natural de la madera de seis especies maderables de importancia comercial en México según la norma europea UNE-EN 350:2016.

Factor	<i>H</i>	<i>gl</i>	($p < 0.05$)
Sitio (S)	72.25	1	$< 2.2e-16$
Especie (E)	90.40	6	$< 2.2e-16$
S:E	194.00	13	$< 2.2e-16$

H = Valor de la prueba de *Kruskal-Wallis*; *gl* = Grados de libertad.

En la localidad Las Bayas, la durabilidad natural promedio de las seis especies se clasificó como Clase 1; en el sitio REMNSCC se deterioraron más las maderas, por lo que se ubicaron en la Clase 3 (Figura 3A).



A = Durabilidad por sitio; B = Durabilidad por especie; C = Durabilidad por la interacción Sitio:Especie.

Figura 3. Durabilidad natural de la madera de seis especies de importancia comercial en México, expuestas al suelo en los sitios de la REMNSCC en Sinaloa y Las Bayas en Durango, evaluadas según la norma europea UNE-NE 350:2016.

Los resultados de la prueba no paramétrica *Kruskal-Wallis* mostraron diferencias significativas entre especies ($p < 0.05$) (Cuadro 6). *Juniperus deppeana* presentó la mayor durabilidad, clasificada como Clase 1 (muy durable); se puede considerar que esta durabilidad se relaciona con el contenido de extractivos de la especie que le podrían conferir un mayor nivel de resistencia a termitas, hongos e incluso exceso de humedad. En la Clase 2 (durable) se clasificaron las maderas de *Q. sideroxylla* y *F. sylvatica* (control). Con menos resistencia se registraron *P.*

durangensis y *P. strobiformis*, *A. acuminata* y *P. cooperi* se clasificaron como Clase 3 (moderadamente durables) (Figura 3B).

Pinus durangensis, *P. strobiformis*, *Q. sideroxyla* y *F. sylvatica* colocadas en el sitio Las Bayas, se clasificaron como durables. Estas probetas presentaron algunos indicios de pudrición y ataque superficial de termitas. Por último, la madera de *A. acuminata* y *P. cooperi* correspondieron a la Clase 3 (moderadamente durables) (Figura 3B). Mientras que en el sitio REMNSCC, *Juniperus deppeana* se clasificó como Clase 1; *F. sylvatica* y *Q. sideroxyla* en Clase 2; en tanto que *P. durangensis* y *P. strobiformis* como Clase 4 (menos durable), con pudrición leve; finalmente, *P. cooperi* como Clase 5 (no durable) debido al deterioro total provocado, conjuntamente, por hongos y termitas (Figura 3C).

En un estudio similar, Brischke *et al.* (2013) investigaron la durabilidad de diversas maderas expuestas a seis tipos de suelo, durante un periodo de cinco años. Esos autores, al igual que en la presente investigación, obtuvieron diferencias de durabilidad entre sitios; sus resultados revelaron que el suelo con presencia de hormigón causó mayor erosión en comparación con otros suelos como arena, grava y sustratos modificados por la intervención humana que induce reacciones de los componentes químicos del suelo y de la madera, los cuales resultan en un mayor deterioro, en comparación con maderas no expuestas a suelos sin dicha intervención.

Honorato *et al.* (2001) observaron que las maderas experimentan más descomposición en suelos enriquecidos con fertilizantes y con un contenido alto de humus. Como se mencionó previamente, la mayor actividad química en estos suelos contribuye al deterioro más pronunciado de la madera. En la investigación que aquí se documenta, el daño más observado fue en el sitio con suelos de selva-caducifolia (REMNSCC) y se le atribuye a la gran cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

Serna-Mosquera *et al.* (2020) evaluaron la durabilidad de la madera de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en tres tratamientos con tres repeticiones de 30 probetas cada uno; los autores no obtuvieron diferencias significativas para el contenido de humedad y pérdida de masa; registraron un aumento en contenido de humedad de 119.32 y 90.63 % en las probetas, lo que las ubicó en categorías poco resistentes, no aptas para construcciones en contacto con el suelo. Lo anterior coincide con las seis especies estudiadas en las localidades de Las Bayas y REMNSCC, donde *Pinus cooperi* fue una madera no durable, ya que presentó en ambos sitios un deterioro superior al registrado en las otras especies estudiadas. Los autores citados coinciden en señalar que el deterioro de la madera en contacto con el suelo es causado, principalmente, por la humedad. Herrera *et al.* (2006) señalan que el deterioro es más severo en la madera de albura que en el duramen.

Conclusiones

Con base en las normas europeas UNE-EN 252:2015 y UNE-EN 350:2016, la madera de *Juniperus deppeana* es la más durable y con menos deterioro después de estar expuesta a la intemperie en el suelo de dos sitios experimentales, por lo cual se considera en la Clase 1.

Quercus sideroxylla, *Alnus acuminata* y *Pinus cooperi* son maderas durables, aunque presentan algunos daños, y en función del suelo al cual estuvieron expuestas, se clasifican como Clase 2 o 3. Con base en ambas normas europeas (UNE-EN 252:2015 y UNE-EN 350:2016) se determinó que en el sitio Las Bayas, Durango, todas las especies estudiadas presentaron mayor durabilidad, por lo que

se consideran como Clase 1; mientras que en el sitio REMNSCC son Clase 3, Clase 4 y 5 con maderas no durables como *Pinus cooperi*.

El menor daño para todas las especies de madera se observa a la altura de punzado de 250 mm. Esto indica que a ras del suelo (mayor aireación) hay menos deterioro y mayor durabilidad, en comparación a lo que ocurre a la altura de 10 mm (base de la probeta, menos aireada y con mayor exposición a materia orgánica).

Para establecer con mayor precisión la influencia del sitio sobre la durabilidad de las especies de madera, futuros estudios podrían explorar una variedad más amplia de taxones, así como entornos ambientales. Por otra parte, se requiere que las investigaciones se realicen a largo plazo para comprender mejor cómo evoluciona el deterioro con el tiempo. Asimismo, sería relevante evaluar la efectividad de tratamientos protectores en la reducción del deterioro, y analizar la interacción entre la altura de medición y factores ambientales adicionales como incidencia de lluvias, temperatura.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt) por el apoyo de la beca de doctorado de la primera autora. Al Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés en el presente trabajo de investigación.

Contribución por autor

Yolanda Ontiveros-Moreno, Serafín Colín-Urieta y Artemio Carrillo-Parra: organización de la investigación, mediciones de campo y redacción del manuscrito; Edgar Benjamín López-Camacho: recolección de datos; José Javier Corral-Rivas, José Ciro Hernández-Díaz y José Ángel Prieto-Ruíz: análisis de datos, revisión de literatura y redacción del manuscrito. La revisión del documento fue realizada por todos los autores.

Referencias

- Ali, A. C., E. Uetimane J., U. Råberg and N. Terziev. 2011. Comparative natural durability of five wood species from Mozambique. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65(6):768-776. Doi: 10.1016/j.ibiod.2011.03.010.
- Asociación Española de Normalización. 2015. UNE-EN 252:2015 Ensayo de campo para determinar la eficacia protectora relativa de un protector de madera en contacto con el suelo. Asociación Española de Normalización. Madrid, MD, España. 25 p.
- Asociación Española de Normalización. 2017. UNE-EN 350:2016 Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Ensayos y clasificación de la resistencia a los agentes biológicos de la madera y de los productos derivados de la madera. Asociación Española de Normalización. Madrid, MD, España. 60 p.
- Brischke, C., L. Meyer, G. Alfredsen, M. Humar, ... and P. Larsson-Brelid. 2013. Natural durability of timber exposed above ground a survey. *Drvna Industrija* 64(2):113-129. Doi: 10.5552/drind.2013.1221.

Colín-Urieta, S., A. Carrillo-Parra, J. G. Rutiaga-Quiñones, P. López-Albarrán, R. Gabriel-Parra and M. Ngangyo-Heya. 2018. Natural durability of seven tropical timber species in ground contact at three sites in Mexico. *Journal of Tropical Forest Science* 30(1):75-81. Doi: 10.26525/jtfs2018.30.1.7581.

De la Cruz C., R., A. Carrillo P., J. A. Nájera L., F. Cruz C., F. J. Hernández y J. Méndez G. 2018. Durabilidad natural de la madera de siete especies forestales de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(46):103-129. Doi: 10.29298/rmcf.v9i46.144.

Elgueta, P., R. Campos, G. Hernández, C. Reyes, ... y P. Mardones. 2019. Durabilidad natural de la madera de pino Oregon (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Instituto Forestal, Área Tecnología y Productos de Madera. Concepción, CCP, Chile. 11 p.

Hermoso, E., J. Fernández-Golfín, M. Conde, M. T. Troya, ... y M. Conde. 2015. Caracterización de la madera aserrada de *Pinus radiata* modificada térmicamente. *Maderas, Ciencia y Tecnología* 17(3):493-504. Doi: 10.4067/S0718-221X2015005000044.

Herrera B., J. F., A. M. Arango M. y J. Cano C. 2006. Metodología para el establecimiento de áreas cementerio de maderas en la región de Cotové (Antioquiotia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 59(1):3271-3280. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914074012>. (7 de febrero de 2021).

Honorato S., J. A., L. Vázquez S. y F. J. Zamudios S. 2001. Durabilidad natural de la madera de cinco especies de *Quercus* del estado de Puebla. *Polibotánica* (12):85-100. <https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/666>. (14 de febrero de 2021).

Ibáñez, C., C. Mantero, M. Rabinovich, R. Escudero y J. Franco. 2016. Ensayo de preservación de madera tratada con Zn y Mn: efectividad de tratamiento

antilixiviantes con bórax luego de cinco años de contacto con el suelo. *Madera, Ciencia y Tecnología* 18(2):305-316. Doi: 10.4067/S0718-221X2016005000028.

Larsson-Brelid, P., C. Brischke, A. O. Rapp, M. Hansson, ... and A. Pilgård. 2011. Methods of field data evaluation-time versus reliability. *In: The International Research Group on Wood Protection (Edit.)*. The 42nd Annual Meeting of IRG, Proceedings IRG Annual Meeting. The International Research Group on Wood Protection. Stockholm, STO, Sweden. pp. 1-23. <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?ccd7c744-6ed0-2960-71cc-24ee50947277>. (29 de agosto de 2021).

Meyer, L., C. Brischke and A. Pilgård. 2012. Moisture performance based wood durability testing. *In: The International Research Group on Wood Protection (Edit.)*. Proceedings IRG Annual Meeting. The International Research Group on Wood Protection. Kuala Lumpur, KL, Malaysia. pp. 1-26. <https://www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?fda7b0a3-fe62-1432-6761-05b0dc7e8bfa>. (13 de mayo de 2021).

Moreno, K. G., E. M. Spavento y S. E. Monteoliva. 2022. Evolución del color y de la aparición de defectos en la madera de *Eucalyptus globulus* expuesta a intemperismo natural. *Maderas, Ciencia y Tecnología* 24(1):1-12. Doi: 10.4067/s0718-221x2022000100426.

Raymundo, T., M. Contreras, S. Bautista-Hernández, R. Díaz-Moreno y R. Valenzuela. 2012. Hongos tremeloides del bosque de las Bayas, municipio de Pueblo Nuevo, Durango, México. *Polibotánica* (33):85-103. <https://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n33/n33a6.pdf>. (5 de junio de 2021).

RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development for R (3.6.3). Boston, MA, United States of America. RStudio. <http://www.rstudio.com/>. (7 de marzo de 2020).

Rubio, Y., A. Beltrán y H. Bárcenas. 2010. El Mineral de Nuestra Señora, Cosalá, Sinaloa. *In: Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury C. y R. Dirzo (Edits.)*. Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las

selvas secas del Pacífico de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). Tlalpan, D. F., México. pp. 410-415.

Sandberg, D., A. Kutnar, O. Karlsson and D. Jones. 2021. Wood modification technologies: Principles, sustainability, and the need for innovation. CRC Press. Boca Raton, Fl, Unites States of America. 442 p.

Serna-Mosquera, Y. B., J. J. Torres-Torres y Y. Y. Asprilla-Palacios. 2020. Durabilidad natural de la madera de *Ochroma pyramidale* Urb. en el municipio de Atrato Colombia. Entramado 16(1):192-202. Doi: 10.18041/1900-3803/entramado.1.6105.

Taraborelli, C., M. M. Refort, E. Spavento, L. Maly, ... y G. Keil. 2020. Evaluación de tratamientos superficiales en madera expuesta a condiciones de intemperismo natural. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 119(1):1-9. Doi: 10.24215/16699513e039.

Ypushima P., A. L. 2015. Caracterización biológica y química de la madera de teca (*Tectona grandis*) en dos condiciones edafoclimáticas y su relación con el crecimiento. Tesis de Doctorado. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jal., México. 115 p. <http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5885>. (16 de junio de 2021).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.