



DURABILIDAD NATURAL EN MADERA JUVENIL DE *Eucalyptus sideroxylon* (A. Cunn. ex Woolls): PRIMEROS RESULTADO EN PUDRICIÓN BLANCA

Carla TARABORELLI¹, Dino A. PALAZZINI², Pablo S. PATHAUER³

RESUMEN

El estudio evaluó la durabilidad natural del *Eucalyptus sideroxylon* frente a la degradación fúngica blanca, comparando muestras de madera de 6 y 20 años. El objetivo fue determinar cómo la edad afecta la resistencia de la madera. Las muestras fueron procesadas y sometidas a ensayos de durabilidad siguiendo las normas ASTM D 1413-76 y ASTM D 2017-81/86, utilizando la cepa fúngica *Trametes versicolor*. Después de 90 días de incubación a 25°C, se midió la pérdida de peso para clasificar la resistencia de la madera. Los resultados mostraron que la madera de 6 años tenía una alta pérdida de peso, clasificándola como "no resistente", mientras que la madera de 20 años presentó una mínima pérdida, siendo "altamente resistente". Se concluyó que la durabilidad natural del *Eucalyptus sideroxylon* mejora significativamente con la edad. Se realizarán estudios en edades intermedias y para pudrición castaña, para identificar el turno de corta que equilibre crecimiento, durabilidad y trabajabilidad, optimizando su uso en aplicaciones rurales y reduciendo la presión sobre especies protegidas.

Palabras claves: *edades, degradación fúngica, postes*

1. INTRODUCCIÓN

La madera, como material biológico, sufre degradación por diversos agentes abióticos y bióticos (Zabel y Morrell, 1992). Dentro de los agentes bióticos que causan deterioro, los más agresivos son los hongos, dado que degradan los principales polímeros constituyentes de la madera: celulosa, hemicelulosa y lignina. Los agentes fúngicos causantes de pudrición en la madera se clasifican en pudrición castaña, blanda y blanca, dependiendo de la forma de degradación o ataque a los polímeros mencionados.

De esta manera, los hongos de pudrición castaña (Basidiomicetes) poseen preferencia por la celulosa y hemicelulosa, causando oxidación de la lignina. Aquellos de pudrición blanda (Ascomicetes y Deuteromicetes) no poseen preferencias por los compuestos de la madera, atacando así la celulosa, hemicelulosa y lignina. Por último, los hongos que causan pudrición blanca (Basidiomicetes), también tienen la capacidad de degradar todos los componentes, aunque especialmente, degradan la lignina (componente cementante de la pared celular). Dentro de este tipo de pudrición se pueden diferenciar la pudrición blanca selectiva, degradando primeramente hemicelulosa y lignina, y por último la celulosa; o la pudrición blanca simultánea, donde la degradación de los principales polímeros estructurales sucede al mismo tiempo y en una proporción similar (Mora y Encinas, 2006).

La capacidad del material leñoso para resistir el ataque de agentes bióticos y abióticos se define como "durabilidad" (Zabel y Morrell, 1992). Asimismo, la durabilidad de la madera puede ser natural o adquirida; la primera de ellas es la propiedad de la madera que le permite al material resistir el deterioro causado por agentes bióticos sin tratamientos de impregnación o superficiales (Pathauer y Palazzini, 2021). Del mismo modo, numerosos factores influyen en la durabilidad natural de la madera, como la densidad, si se trata de albura o duramen, la edad del árbol, el sitio de plantación, entre otros (McCarthy y Cookson, 2008).

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UNLP. Contacto: carla.taraborelli@agro.unlp.edu.ar

² Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - UNLP. Contacto: dino.palazzini@agro.unlp.edu.ar

³ Instituto de Recursos Biológicos - INTA. Contacto: pathauer.pablo@inta.gob.ar



Particularmente, el eucalipto es ampliamente utilizado en productos madereros con mayor o menor valor agregado, desde pisos o muebles, hasta postes rurales; es por ello que su durabilidad es crucial para definir su uso. En Argentina, el eucalipto más cultivado es el *Eucalyptus grandis*, el cual, por sus características se utiliza en productos de mayor valor agregado como muebles, hasta postes de tendido aéreo, los cuales son impregnados con CCA. Si bien la impregnación es muy utilizada, el duramen de *E. grandis* es impenetrable debido a sus procesos de duraminización, es por ello que se impregna sólo la albura, otorgándole una durabilidad adquirida parcialmente efectiva, debido a que el duramen se degrada con el tiempo.

Por otro lado, *Eucalyptus sideroxylon* (A. Cunn. ex Woolls), es considerado en su lugar de origen como una especie altamente durable, es decir, la madera enterrada o sobre el nivel del suelo posee una durabilidad superior a los 25-40 años (Bush, 2011), siendo uno de sus usos más frecuentes los postes de alambrados, durmientes de ferrocarril, pilotes de muelles y otros usos expuestos a las inclemencias ambientales.

En Argentina la necesidad de productos madereros naturalmente durables es cada vez mayor, no tan solo por la demanda comercial sino también por presiones ambientales que exigen menor utilización de productos potencialmente nocivos para el ambiente y la salud. Particularmente, el sector ganadero está demandando madera de alta durabilidad natural en condiciones de contacto directo con el suelo (postes y rodrgones, entre otros). Si bien existe en el mercado local otras especies de buena durabilidad natural como *E. camaldulensis* (Cookson y Mccarthy, 2013), esta se limita a usos aéreos como varillas y tablas. De esta forma, INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) ha iniciado un programa de mejoramiento genético de *E. sideroxylon*, que incluye materiales salvajes y mejorados de su zona de distribución natural, y familias locales obtenidas a partir de selecciones fenotípicas en rodales ubicados en distintas regiones del país. Dicho material aún se encuentra en estudio. En ensayos preliminares se observaron buenas tasas de crecimiento (Pathauer y Palazzini, 2021) con ejemplares que a los 6 años ya alcanzan escuadrías aptas para producción de postes rurales, pero se desconoce su durabilidad natural.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la durabilidad natural de la madera de *E. sideroxylon* proveniente de individuos de dos edades diferentes, a través de pruebas de degradación fúngica blanca en laboratorio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material leñoso

Se seleccionaron 5 individuos de buen crecimiento, con diámetros a 1.3 m de altura, comprendidos entre 13 cm y 18 cm, de 6 años, en un ensayo de progenies instalado en el predio del CNIA – INTA (Hurlingham – Buenos Aires). Los mismos fueron apeados y se colectaron toretes de 1 m de longitud que contenían como punto central el 1.3 m. Cada troza fue procesada en el aserradero perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (CTM-FCAYF-UNLP) y se obtuvieron cubos de 20 mm x 20 mm x 20 mm, tangencial, radial y axial respectivamente. Para cada árbol se seleccionaron al azar 8 muestras sin distinción de albura/duramen. Junto a las trozas de ejemplares de 6 años, se apeó y procesó un ejemplar de 20 años, que se encuentra en el mismo predio y bajo las mismas condiciones de suelo, siguiendo el mismo procedimiento de aserrado, seleccionando 20 muestras al azar.

Durabilidad

El ensayo de durabilidad se realizó siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D 1413-76 y ASTM D 2017-81/86.

Cepa fúngica

Los ensayos de durabilidad se realizaron con la cepa fúngica *Trametes versicolor* (L) Lloyd (Ceparío – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA). La misma fue repicada en cajas de Petri en un medio de cultivo estéril de agar-extracto de malta al 2 % (MEA 2 %) e incubada en estufa de cultivo a 25 °C y entre 65 y 75 % de humedad relativa hasta obtener un crecimiento óptimo para la inoculación.



Sustrato soporte

Los ensayos de biodegradación se llevaron a cabo mediante la técnica de “soil block” tal como lo indica la norma previamente mencionada. Para ello se preparó un soporte de tierra y arena con una capacidad de retención de agua entre el 20 y el 40 %. De esta manera, a cada frasco de 500 ml se le colocó 55 ml de agua destilada y una mezcla de arena y tierra estéril de 160 g y 40 g, respectivamente. A cada frasco se le añadió un soporte de madera de *Salix* sp. “feeder strips” de 20 mm de lado. Una vez humedecida la madera y cerrados los frascos se esterizaron en autoclave durante 20 minutos.

Inoculación

Realizados los pasos previos de cultivo de cepas y armado de sustrato soporte, se procedió a inocular cada frasco con la cepa fúngica. Consecuentemente se llevó a estufa de cultivo a 25 °C y entre 65 y 75 % de humedad relativa hasta obtener el “feeder strips” completamente cubierto por el micelio fúngico.

De la misma forma, se procedió a inocular la probeta de madera, previamente llevada a contenido anhidro, registrando su peso y esterilizada.

Se realizó a su vez el ensayo de referencia con *Fagus sylvatica*.

Exposición

El material se mantuvo en exposición fúngica durante 90 días a 25 °C y una humedad relativa entre 65-70 %. Una vez cumplido el plazo se extrajo la madera y se obtuvo nuevamente su peso anhidro.

Pérdida de peso

Con el objetivo de clasificar la madera en escalas de durabilidad se obtuvo la pérdida de peso siguiendo la Fórmula 1.

$$Pp (\%) = \left(\frac{P_o (g) - P_f (g)}{P_o (g)} \right) \times 100 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Dónde:

Pp (%): pérdida de peso en porcentaje

P_o (g): peso inicial en gramos antes de exposición fúngica

P_f (g): peso final en gramos después de la exposición fúngica

Cuadro 1. Clasificación de la resistencia de la madera a la degradación fúngica según Norma ASTM D 2017.

Pérdida de peso (%)	Tipo de resistencia
0 - 10	Altamente resistente
11 - 24	Resistente
25 - 44	Moderadamente resistente
> 45	No resistente

Análisis estadístico

Obtenida la pérdida de peso se realizaron análisis descriptivos donde se obtuvieron variables estadísticas básicas como la media, el desvío estándar y el coeficiente de variación. Con el objetivo de comparar los distintos lotes y edades se realizó un análisis comparativo donde se comprobaron los supuestos estadísticos, debido al incumplimiento de estos, se optó por realizar un análisis comparativo no paramétrico de Kruskal-Wallis. Para este trabajo se utilizó el software estadístico R.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 muestra las medidas estadísticas características del análisis. De esta manera se puede observar que la media de pérdida de peso del *E. sideroxyton* de 20 años es de 0,74 mientras que la media de todos los lotes de 6 años supera el valor de 45, otorgándole a la especie una categoría de durabilidad de “no resistente” a esta edad según las normas mencionadas.



Cuadro 2. Medidas resumen del análisis y comparación de medias.

Lote	Media		Mediana	CV (%)	Desvío Estándar
112	57,83	a*	55,69	10,73	6,21
113	53,59	ab	51,69	9,24	4,95
111 B	50,22	bc	50,19	6,52	3,28
111 A	48,41	cd	44,13	19,25	9,32
114	45,59	d	45,82	4,23	1,93
20 años	0,74	e	0,75	17,73	0,13

*. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Al realizar el análisis comparativo no paramétrico, se observó que no hubo diferencias significativas entre los lotes de 6 años, pero sí existe diferencias significativas con respecto al material de 20 años de edad, los mismos se detallan en el Cuadro 2. De esta forma, todos los lotes de *E. sideroxylon* de 6 años poseen madera no durable.

En este sentido, McCarthy y Cookson (2008) y Bush (2011), detallan que este eucalipto, en su lugar de origen, posee una durabilidad natural muy alta, del tipo 1, comparable con nuestra muestra cultivada durante 20 años en Argentina, con una persistencia estimada de uso superior a los 25 años. A su vez, Bush (2011), menciona reportes de plantaciones de *E. sideroxylon* con durabilidad moderada a alta con menos de 10 años de edad. En este caso, para el *E. sideroxylon* situado en Argentina, la durabilidad con 6 años no fue satisfactoria, dejando a la especie en una categoría de no durable, pese a alcanzar a esta edad diámetros aptos para las distintas categorías de postes de alambrado.

La durabilidad de la madera depende, entre otros factores, de los extractivos que contenga, de esta forma a mayor cantidad de extractivos, mayor resistencia al deterioro (Pometti et al., 2010). Dichos autores estudiaron la durabilidad de *Prosopis* sp. y *Acacia* sp., encontrando diferencias de durabilidad en la madera de albura versus duramen, donde en el duramen la cantidad de extractivos es mayor. Asimismo, remarcan que no todos los extractivos tienen una alta y positiva correlación entre la cantidad presente y la pérdida de peso, dependiendo de otros factores físicos y químicos de la madera. En este sentido, es posible que la especie *E. sideroxylon* de 6 años, este poco duraminizada o con una duraminización muy incipiente, y por tanto no haya formado los extractivos que sí posee aquella de 20 años y que le otorgan alta resistencia al deterioro.

Si bien se busca que la durabilidad sea elevada, su alta correlación con la densidad puede hacer del material una madera poco maleable para su uso, por ello es pertinente, en estudios futuros, buscar un punto de equilibrio entre durabilidad y edad de corta y en este sentido, acortar tiempos de cosecha y mejorar la trabajabilidad de la madera. Dichos turnos serían altamente competitivos y producirían una disminución en la presión sobre especies nativas de crecimiento más lento.

4. CONCLUSIÓN

El material ensayado presentó poca resistencia a la durabilidad a los 6 años de plantación mientras que, a los 20 años, presentó una resistencia muy alta. Será necesario evaluar otras edades intermedias y de forma periódica (entre 6 y 20 años) para determinar el turno aproximado de corta para la obtención de madera apta para usos rurales, específicamente aquellos que tengan contacto directo con el suelo.

Por último, en futuras investigaciones se incluirá la durabilidad frente a agentes de la pudrición castaña y se hará hincapié en el estudio anatómico de la madera para indagar la razón por la cual esta es una especie de alta durabilidad natural.

5. LITERATURA CITADA

ASTM D 1413-76. Standard method of wood preservatives by laboratory soilblock cultures. ASTM Book of Standards, American National Standard. pp: 452-460.

ASTM D-2017-81 (Reapproved 1986). 1986. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. ASTM Book of Standards, American National Standard. pp: 348-352.

BUSH D. 2011. Selecting and breeding eucalypts for natural durability. In: John Walker, editor/s. Developing a



- Eucalypt resource – learning from Australia and elsewhere; 3-4 November 2011; Blenheim New Zealand. Christchurch, New Zealand: University of Canterbury; 2012. 125-136.
<http://hdl.handle.net/102.100.100/98967?index=1>
- COOKSON L. J. y McCARTHY K. J. 2013. Influence of tree age and density on the above-ground natural durability of eucalypt species at Innisfail, Australian Forestry, 76:3-4, 113-120, DOI: [10.1080/00049158.2013.817939](https://doi.org/10.1080/00049158.2013.817939)
- McCARTHY K. y COOKSON L. 2008. Natural durability of five eucalypt species suitable for low rainfall areas: sugar gum, spotted gum, red ironbark, yellow gum and swamp yate. Rural Industries Research and Development Corporation. Publication No. 08/162 Project No. CSF-61A.
- MORA, N., y ENCINAS, O. 2006. Biodegradación de maderas. Mérida, VE, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Ingeniería Forestal, Grupo de Investigación en Conservación de la Madera, Laboratorio Nacional de Productos Forestales.
- PATHAUER, P. y PALAZZINI, D. 2021 Evaluación del crecimiento inicial de procedencias locales de *Eucalyptus sideroxylon* (A. Cunn. ex Woolls) en el norte de la provincia de Buenos Aires. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos 2021. Actas.
- POMETTI, C. L.; PALANTI, S.; PIZZO, B.; CHARPENTIER, J. P.; BOIZOT, N.; RESIO, C.; SAIDMAN, B. O. 2010. Durability of five native Argentine wood species of the genera Prosopis and Acacia decayed by rot fungi and its relationship with extractive content; Springer; Biodegradation; 21; 5; 753-760.
- ZABEL, R. A., y MORRELL, J. J. 1992. Wood microbiology: Decay and its prevention. ISBN: 0-12-775210-2 Academic Press. Inc. San Diego, California.