

Incremento de la durabilidad de compuestos madera-polímero procesadas por radiación gamma frente al hongo *Polyporus sanguineus*

Javier Gago^{1,*}, Kety León¹, Alcides López^{1,2}, Marco Munive¹, Juan Rodríguez²

¹ Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Tupac Amaru 210 Rimac, Lima 25, Perú

Resumen

El estudio de la durabilidad de la madera se realiza midiendo la pérdida del peso del mismo después de 90 días y el cambio de la morfología de su superficie. Este estudio se realizó con el hongo *Polyporus sanguineus* sobre tres especies madereras: Catahua (*Hura crepitans* L.), Mohena (*Aniba amazónica* Meiz) y Capirona (*Calycophy spruceanum* Be) sin tratamiento alguno y en forma de compuesto madera-polímero obtenido por irradiación gamma. Las maderas Capirona y Mohena polimerizadas mejoran su durabilidad, mientras que la madera Catahua polimerizada mantiene su nivel de durabilidad. Respecto a la morfología superficial, no se aprecia cambio significativo entre la madera sin tratamiento y Madera polimerizada correspondiente a la Capirona y Mohena. Mientras en la Madera Catahua sin tratamiento se aprecia un deterioro en su superficie.

Abstract

The study of wood durability was done measuring the wood weight lost after 90 days and the change of surface morphology. This study was done with the fungus *Polyporus sanguineus* in three wood species: Catahua (*Hura crepitans* L.), Mohena (*Aniba amazónica* Meiz) and Capirona (*Calycophy spruceanum* Be) without treatment and wood-polymer composite obtained by gamma irradiation. The Capirona and Mohena composites improve its durability, while the Catahua composite maintains its level of durability. Regarding surface morphology, there is no a significant change between the untreated woods and Capirona and Mohena composites. While the untreated Catahua shows deterioration of its surface.

1. Introducción

La amazonía peruana posee una gran riqueza natural de flora y fauna, y desde hace décadas hay una creciente y descontrolada explotación maderera, poniendo en riesgo la extinción de algunas especies como la caoba y el cedro [1]. Estas variedades, aparte de poseer buenas propiedades físicas como dureza, poseen también gran durabilidad, manteniéndose los productos obtenidos de esta madera, estables por mayor tiempo respecto a las otras maderas y son materia de estudio en este trabajo. La alternativa que presentamos es mostrar que una madera de baja calidad pueda alcanzar mayor valor comercial y durabilidad, mediante el compuesto madera-polímero. En estudios previos se han mostrado que estos compuestos, con procesos de polimerización similares, han resultado eficientes con una dosis de radiación gamma de 20 kGy. El

comercio de maderas compuestas se viene imponiendo por ofrecer un mejor acabado y mayor durabilidad.*

La durabilidad natural de la madera se asocia a la resistencia que posee, sin tratamiento químico alguno, frente al ataque de hongos, insectos perforadores, agentes marinos y otras influencias. Normalmente, se mide el tiempo en años durante el cual una madera es capaz de mantener sus propiedades mecánicas estando puesta en servicio en contacto con el suelo o el agua. La mayoría de las maderas tienen una durabilidad diferente frente a los diversos organismos que la pueden degradar [2].

El estudio del compuesto madera-polímero, es una consecuencia de ensayos de caracterización donde se determinó la mejora

* Correspondencia autor: jgago@ipen.gob.pe

en la dureza y la disminución de la absorción de agua [3]. Las maderas seleccionadas se encuentran en la amazonía peruana (Loreto, Huánuco, San Martín) y muchos de ellos también se encuentran en otros países y son conocidos con otros nombres [4].

Para el ensayo de durabilidad se escogió el hongo *Polyporus sanguineus*, una de las especies características en la degradación de la madera y ser el referente en la evaluación a la madera con tratamiento y sin tratamiento, en otros ensayos similares no llegaron establecer gran diferencia al utilizar con cinco especies de hongos diferentes, los resultados de mejora entre la madera sin tratar y tratada eran similares [5].

El hongo utilizado, también es conocido como *Pycnoporus sanguineus* L.:Fr. Murrill. Es un hongo xilófago, compuesto de cuerpos fructíferos con forma de repisa semicirculares y de consistencia parecida al corcho cuando está fresco, su superficie es aterciopelada. Cuando está muy joven y es lisa de adulto, algunas veces rugosa, rojo anaranjado brillante cuando está húmedo y anaranjado rojizo a anaranjado amarillento cuando está muy seco. El relleno (contexto) tiene entre 0,2 y 0,8 cm de ancho y es rojo anaranjado, la superficie inferior o fértil está formada por tubos de 0,1 a 0,2 cm de longitud y color anaranjado rojizo brillante, con 5 a 6 poros por milímetro, del mismo color que los tubos. No posee pie o estípote, debido a que se adhiere lateralmente a la madera. Las esporas son blancas cuando están agrupadas. Crece saprofitamente sobre la madera como se aprecia en la Figura 1. Durante el cultivo, el patógeno entra en la planta gracias a su actividad parasítica y luego cuando la planta muere, el hongo sobrevive.



Figura 1. *Polyporus sanguineus* hongo de la clase basidiomycetes [6].

La constitución del hongo es simple, el cuerpo fructífero se compone de células individuales llamadas hifas que en conjunto forman el micelio. Las hifas son células muy finas, con un diámetro de aproximadamente 2 μm y visibles únicamente bajo el microscopio. Tiene muchas ramificaciones, paredes transversales y sus paredes celulares contienen quitina, una sustancia de alta resistencia.

El micelio, a través de la secreción de enzimas, suministra el alimento a los hongos. Estas enzimas desintegran, el contenido de las células o las paredes celulares, lignina o celulosa de la madera [2].

Para determinar la evaluación de la durabilidad de la madera, se sigue el criterio de Findlay [2] quien clasificó las maderas en 5 grupos, basado en que los promedios de pérdidas de peso producido por los hongos durante un determinado lapso de tiempo, estaban relacionadas con su grado de resistencia a la pudrición. Dicha clasificación se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de Findlay.

Pérdida de peso (%)	Grado de durabilidad
< 1	Muy resistente
2 – 5	Resistente
5 – 10	Moderadamente resistente
10 – 30	No resistente
> 30	Perecederas

Igualmente, hay clasificaciones similares a la norma ASTM-D-2017 [2,7] y la europea EN113, pero estos difieren con el tamaño de la muestra y las condiciones iniciales.

2. Experimental

2.1 Material

Las muestras de madera de Catahua, Capirona y Mohena fueron proporcionadas por el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Estas maderas seleccionadas son comercialmente poco estimados y utilizadas en la industria del mueble y de la construcción. Los criterios para su selección fueron: ausencia de nudos, manchas, rajaduras y que sean homogéneas e intactas.

La cepa utilizada en el estudio es *Polyporus sanguineus*, fue adquirida en la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina. El agar Extracto de Malta proviene de Merck.

2.2 Métodos

Se siguió la metodología de la Norma IRAM N° 9518. Se cultiva la cepa de hongo *Polyporus sanguineus* en el medio de cultivo agar extracto de malta incubándose a 25 °C por un lapso de 14 días, luego se colocan sobre el mismo las probetas por un lapso de 90 días [2].

Para la preparación de las probetas, se cortaron las maderas de 10 mm x 10 mm x 40 mm de longitud. Se prepararon 6 probetas, dos de cada especie, una se mantuvo en condiciones naturales y la otra impregnada con polímero (poliéster) fue procesada mediante radiación gamma.

El hongo previamente cultivado fue inoculado en tubos de vidrio conteniendo Agar extracto de malta en plano inclinado (la cantidad de medio de cultivo y el grado de inclinación fue la misma en todos los tubos, ver Figura 2 lado izquierdo). Se incubó por espacio de 2 semanas a temperatura ambiente hasta que el hongo cubra toda la

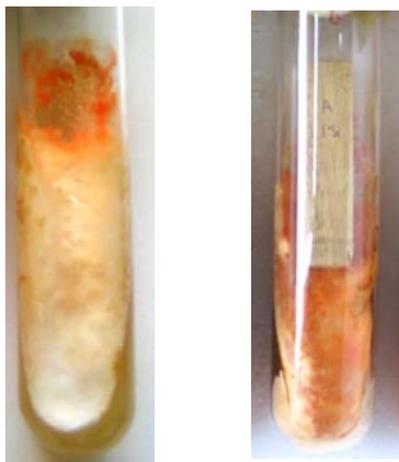


Figura 2. En el lado izquierdo se muestra la reproducción del hongo *Polyporus sanguineus*, en el lado derecho se muestra su traslado a los tubos de ensayos.

superficie del medio de cultivo. Se añadió las probetas de las diferentes maderas con y sin tratamiento de polímero (Figura 2 lado derecho). Se separó un testigo conteniendo solo el medio de cultivo. Se registraron los

pesos iniciales antes y después de añadir las probetas, y se continuó registrando los pesos correspondientes durante el proceso.

3. Resultados y discusión

3.1 Evaluación de la pérdida de peso

Se aplicó la siguiente fórmula para la evaluación de la pérdida de peso P(%):

$$P(\%) = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Pi: peso inicial

Pf: peso final

En la tabla 2 se registra los pesos iniciales de las muestras de madera.

Tabla 2. Peso inicial de las muestras antes de ser sometido al contacto con los hongos.

Madera	Peso inicial (g)
Catahua natural	3,00
Catahua con polímero	3,20
Mohena natural	3,50
Mohena con polímero	3,70
Capirona natural	4,1
Capirona con polímero	4,8

En la Tabla 3 indica los pesos de las muestras después de haber estado sometida al ataque de los hongos, y respectiva variación de peso en porcentaje, respecto al peso inicial.

Tabla 3: Peso final de muestras sometidas al ataque de hongos.

Madera	Peso final (g)	Variación de peso (%)
Catahua natural	2,88	4,00
Catahua con polímero	3,13	2,19
Mohena natural	3,33	4,86
Mohena con polímero	3,56	3,78
Capirona natural	3,46	15,61
Capirona con polímero	4,49	3,12

Con estos datos se realiza una representación de la tasa de degradación de estas maderas:

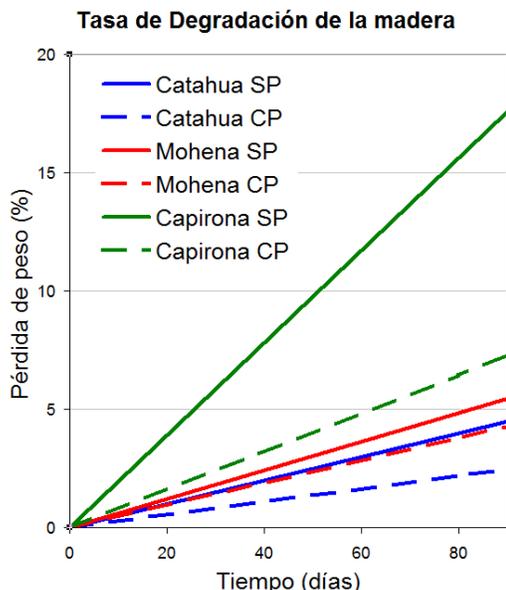


Figura 3. Tasa de degradación de las maderas.

En la Figura 3 se observa la disminución del peso debido a la degradación de la madera sin polímero y con polímero en el transcurso del tiempo. La tendencia de la tasa de degradación es lineal en algunos casos hasta 120 días, a partir de los cuales, comienza a estabilizarse el peso de la madera, debido a que los hongos no encuentran más nutrientes [8,9]. Se observan diferentes pendientes entre las probetas de estudio; por ejemplo, la Catahua sin polímero tiene una variación de peso alrededor del 4% clasificándolo como una madera resistente, y la Catahua con polímero se degrada sólo en un 2,19%, manteniéndose en la clasificación inicial, según el criterio Findlay.

Analizando el comportamiento de la Mohena, se observa que no hay una diferencia significativa entre la madera sin polímero y con polímero. Esto se debe a que la madera tiene como característica una baja absorción del polímero, demostrado en experimentos realizados anteriormente [3]. Por lo tanto, el polímero impregnado en la Mohena ligeramente incrementa su nivel en la clasificación de durabilidad, en la escala de madera Moderadamente Resistente a Resistente.

Con respecto a la madera Capirona, según la Figura 3, se observa que hay diferencia entre la madera tratada con polímero y la no tratada. Esta madera tiene la característica de presentar una densidad más alta con respecto a las dos maderas mencionadas

anteriormente. Pero la presencia de los hongos ha provocado una rápida proliferación llegando a cubrirla completamente. Esta madera no aparenta daño en su superficie como sí se observa en la Catahua, sin embargo muestra una pérdida de peso considerable. En cambio, en la Capirona con polímero se tiene una tasa de degradación menor. Mejorando su clasificación de madera No Resistente a madera Resistente.

3.2 Estudio morfológico de las muestras

En la Madera Catahua se puede observar el deterioro de la superficie de la madera por el ataque del hongo *Polyporus sanguineus* (Figura 4). Esta es la madera que más ha variado la estructura en su superficie. El hongo *Polyporus sanguineus* se adhiere a esta superficie; al momento de retirar este hongo, esta se desprende arrastrando una capa delgada de la madera, el peso modificado está en el orden del 4 %. Pero la velocidad de proliferación es muy diferente a las otras maderas, al cabo de 80 días solo han cubierto aproximadamente el 75 %.



Figura 4. Catahua sin polímero afectada por los hongos.



Figura 5. Catahua: se observa la adherencia del hongo *Polyporus sanguineus*.

En la Figura 5, se tiene una ampliación de la zona donde se adhiere el hongo con su color característico de anaranjado. En la Figura 6 se observa la capa uniforme que hace el hongo *Polyporus sanguineus* sobre la superficie de la madera adherida por las hifas (Fibrillas blancas).

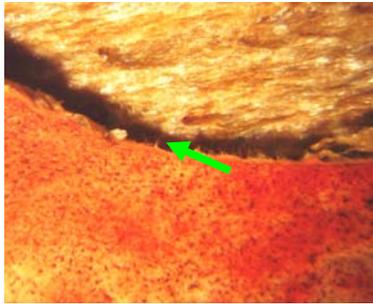


Figura 6. Desprendimiento del hongo de la Catahua.

En la madera Catahua tratada una vez retirada el hongo, en forma aparente no se observa algún deterioro sobre la superficie (Figura 7). Pero la parte que se encontraba en contacto con el Agar presenta una coloración adquirida por esta sustancia (Figura 8).



Figura 7. Luego del ataque con hongos, se puede observar que la superficie esta casi intacta, pero con una ligera coloración.



Figura 8. Superficie que se encontraba apoyado sobre el Agar. Hacia al lado derecho se observa mayor coloración.

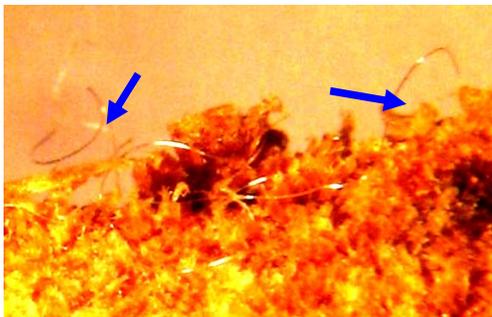


Figura 9. Formación de hifas (Flechas). En esta muestra se formaron en menor proporción que la madera sin polímero.

Los hongos al desarrollar sus hifas (Figura 9) y formar el micelio, penetran en la madera y casi siempre permanecen ocultos en ella, aunque algunas especies, en cierta época de su vida, se ven en la necesidad de hacerse visibles para fructificar. En consecuencia, la pudrición no es fácil de reconocer en sus

etapas incipientes y solo es posible detectarla por cambios de color en la madera o por manifestaciones miceliales de los cuerpos fructíferos cuando la pudrición ya se ha generalizado [2].

Respecto a la madera Mohena, esta tiene casi el mismo comportamiento en relación con la madera sin polímero, no se aprecia cambios en la superficie por la presencia del hongo como se aprecia en la Figura 10.



Figura 10. No se observa deterioro superficial. Al lado derecho se observa un cambio en el color.



Figura 11. Cambio de coloración de la Mohena debido a la absorción del líquido del Agar, se aprecia el desplazamiento del cambio de color.

En la Figura 11, se observa dos zonas con diferente coloración debido al desplazamiento de la sustancia líquida del Agar a través de los poros de dicha madera. La presencia de la sustancia del Agar es prácticamente la cuarta parte de la longitud de la muestra.



Figura 12. Mohena con polímero luego del ataque con hongos.

En la Figura 12, la madera Mohena con polímero, después de estar sometida a la presencia del hongo, no se observa un deterioro apreciable.

Con respecto a la madera Capirona se ha observado la rápida proliferación de los hongos, prácticamente al mes del ensayo se encontraba totalmente cubierta. En la Figura 13 se observa el avance en la coloración de la madera desde la parte inferior izquierdo (parte apoyada en el Agar) hacia la parte superior de la madera.



Figura 13. Capirona sin polímero luego del ataque con hongos.

En la madera Capirona tratada con polímero (Figura 14), a simple inspección se observa que el hongo no ha producido gran cambio en la estructura superficial pero si una coloración marrón oscura que avanza de izquierda a derecha.



Figura 14. Capirona con polímero luego del ataque con hongos.

4. Conclusiones

Se concluye que el tratamiento de la madera mediante la impregnación de polímero (resina poliéster) e irradiación gamma optimizada a una dosis de 20 kGy, modifica sus propiedades dándoles mayor resistencia y durabilidad.

En las tres maderas impregnadas con polímero e irradiadas incrementaron su resistencia al ataque del hongo *Polyphorus sanguineus*, destacando principalmente la madera Capirona impregnada mejorando su clasificación de madera No Resistente a madera Resistente, según el criterio de Findlay. Respecto a la madera Mohena, se incrementa de Moderadamente Resistente a Resistente. Finalmente la madera Catahua ligeramente disminuye su tasa de degradación, pero al final se mantiene su clasificación inicial de madera Resistente. El hongo tiene mayor incidencia sobre la madera Catahua sin tratamiento, deteriorando su superficie, pero esta acción no se presenta en la Catahua tratado con polímero.

5. Agradecimientos

Al Ing. Marco Linares y al Lic. Johnny Vargas por los servicios de irradiación de las muestras. A los técnicos Pablo Sosa y Wilfredo Pumahuacre por la preparación de las muestras de madera.

5. Bibliografía

- [1] Inforegion. Agencia de Prensa Ambiental. [serie en Internet]. Disponible en URL: <http://www.inforegion.pe/medio-ambiente/1188/comunidades-nativas-piden-al-gobierno-les-permita-exportar-madera-que-cuenta-con-sello-verde-fsc>
- [2] Bobadilla E A. Durabilidad Natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción. [Tesis de Maestría]. Misiones, Argentina: Universidad Nacional de Misiones; 2004.
- [3] Gago J, *et al.* La radiación gamma en el mejoramiento de las propiedades físicas de compuestos polímero-madera. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2005. Lima: Perú; 2006. p. 71-77.
- [4] Maderas Tropicales en Perú. [serie en Internet]. Disponible en URL: <http://www.geocities.com/obregon22/madera-speruanas.html>
- [5] Bobadilla E. *et al.* Durabilidad de la madera del *Pinus taeda* L. impregnado con arseniato de cobre cromatado, frente a hongos xilófagos, misiones, Argentina. Floresta, Curitiba, PR, v. 37, n. 1, Enero/Abril. 2007.
- [6] Espinoza M. Hongos macroscópicos de la clase Basidiomycetes en el centro de Investigación Allpahuayo Loreto Perú, 2003. [serie en Internet]. Disponible en URL: http://www.iiap.org.pe/avances/pbio/informe_hongos.pdf
- [7] Gonzáles R. Preservación de postes de eucalipto para líneas aéreas de conducción de energía. Revista Forestal del Perú. 1977; 7(1-2): 1-12.
- [8] Papinutti VL, *et al.* Degradación de madera de álamo por *Fomes sclerodermeus*: producción de enzimas ligninolíticas en aserrín de álamo y cedro. Revista Iberoamericana de Micología. 2003; 20(1): 16-20.
- [9] Diaza B, Peri P. Ajuste de técnica de ensayo de la durabilidad de madera de *Populus nigra* en laboratorio. 1. Metodologías para el cálculo de la pérdida de peso. Publicación Técnica Forestal. N° 19, INTA, Santa Cruz, Argentina, 1999.