

Influencia de dos hongos xilófagos sobre la durabilidad natural de diez especies maderables de Ucayali, Perú

Influence of two xylophagous fungi on the natural durability of ten timber species in Ucayali, Peru

Influência de dois fungos xilófagos na durabilidade natural de dez espécies madeiras em Ucayali, Peru

Ayda Guisella Avalos Díaz^{1*}  <https://orcid.org/0000-0003-0329-9506>

Jhnon Edwar Aviles Sandi¹  <https://orcid.org/0000-0002-4656-9441>

¹Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. Perú.

*Autor para la correspondencia: aydaguisellaavalosdiaz@gmail.com

Recibido: 31 de marzo de 2020.

Aprobado: 13 de julio de 2020.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar la durabilidad natural en diez especies maderables procedentes de bosques secundarios y primarios residuales de la región de Ucayali, Perú, a partir de la infección con dos hongos xilófagos *Pycnoporus sanguineus* (que origina pudrición blanca) y *Lenzytes erubescens* (agente causal de pudrición parda). Las muestras de madera analizadas fueron: *Apeiba membranacea*, *Apuleia molaris*, *Brosimum utile*, *Croton matourensis*, *Jacaranda copaia*, *Matisia cordata*, *Septotheca tessmannii*, *Schizolobium amazonicum*, *Simauroma amara*, *Terminalia oblonga*; accionado por dos hongos xilófagos, que fueron tratadas en la carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali. El análisis del estudio fue de tipo experimental, según las pautas de la Norma ASTM D 2017-81, bajo condiciones *in vitro* del material tratado. Una vez conseguido el rango del índice de pudrición de las especies, se calculó el promedio por especie de hongo xilófago, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los parámetros de confianza convenientemente a lo que establece COPANT en 1974. Los resultados establecieron la relación estadística significativa, correlacionando la especie de hongo xilófago y los niveles de fuste, ambos en función de la durabilidad natural. Se concluyó, según tipo de riesgo, el manejo que se les podría dar a las maderas estudiadas y las recomendaciones para el correcto uso de maderas vulnerables.

Palabras clave: Bosque tropical; Especie maderable; Hongo xilófago; Durabilidad.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the natural durability in ten timber species from secondary and primary residual forests in the Ucayali region, Perú, from infection with two xylophagous fungi *Pycnoporus sanguineus* (which causes white-rot) and *Lenzytes erubescens* (causal agent of brown rot). The wood samples analyzed were: *Apeiba membranacea*, *Apuleia molaris*, *Brosimum utile*, *Croton*



matourensis, *Jacaranda copaia*, *Matisia cordata*, *Septotheca tessmannii*, *Schizolobium amazonicum*, *Simauroma amara*, *Terminalia oblonga*; powered by two xylophagous fungi, which were treated at the carpentry of the National University of Ucayali. The analysis of the study was experimental, according to the guidelines of the ASTM D 2017-81 Standard, under *in vitro* conditions of the treated material. Once the range of the species rot index was achieved, the average per species of xylophagous fungus, the standard deviation, the coefficient of variation and the confidence parameters were calculated in accordance with COPANT in 1974. The results established the relation among xylophagous fungi species and the height of the trunk, both as a function of natural durability. It was concluded, according to the type of risk, the management that could be given to the studied woods and the recommendations for the correct use of vulnerable woods.

Keywords: Tropical forest; Timber species; Xylophagous fungus; Durability.

RESUMO

O objectivo da investigação era determinar a durabilidade natural em dez espécies madeiras provenientes de florestas residuais secundárias e primárias na região de Ucayali, Peru, de infecção com dois fungos xilófagos *Pycnoporus sanguineus* (que causa a podridão branca) e *Lenzytes erubescens* (agente causal da podridão castanha). As amostras de madeira analisadas foram: *Apeiba membranacea*, *Apuleia molaris*, *Brosimum utile*, *Croton matourensis*, *Jacaranda copaia*, *Matisia cordata*, *Septotheca tessmannii*, *Schizolobium amazonicum*, *Simauroma amara*, *Terminalia oblonga*; alimentadas por dois fungos xilófagos, que foram tratados na carpintaria da Universidade Nacional de Ucayali. A análise do estudo foi experimental, de acordo com as diretrizes da Norma ASTM D 2017-81, em condições *in vitro* do material tratado. Uma vez atingido o intervalo do índice de apodrecimento das espécies, a média por espécie de fungo xilófago, o desvio padrão, o coeficiente de variação e os parâmetros de confiança foram calculados de acordo com a COPANT 1974. Os resultados estabeleceram a relação entre as espécies de fungos xilófagos e os níveis de caule, ambos em função da durabilidade natural. Concluiu-se, de acordo com o tipo de risco, a gestão que poderia ser dada às madeiras estudadas e as recomendações para o uso correto das madeiras vulneráveis.

Palavras-chave: Floresta tropical; Espécie madeireira; Fungo xilófago; Durabilidade.

INTRODUCCIÓN

La Amazonia es conocida por su incontable variedad de especies maderables, sobre todo en países como Perú y Brasil, las naciones con mayor extensión. Los bosques secundarios representan gran porción de la Amazonia. El estudio de la biología de los bosques secundarios se enfoca principalmente en los bosques secundarios naturales, como causantes de las sucesiones que rehabilitan un bosque (Dourojeanni, 2016); diferenciándose de los originados por la actividad humana, que representan actualmente una mayor superficie que los ocasionados por perturbaciones naturales, además de poseer mayores implicaciones sobre el uso de tierra, el desarrollo rural y la conservación de recursos naturales en general (Tuezta y Rodríguez, 2018).

La amazonia peruana posee más del 50 % del territorio nacional, las especies forestales maderables usufructuales y virtualmente comerciales fluctúan holgadamente en sus propiedades químicas, físicas, mecánicas e idoneidad de manejo. Por este motivo, la explotación de la especie tratada es selectiva, generando presión en una minoría de la población forestal. La demanda de especies maderables



en el mercado nacional e internacional es cada vez más exigente, obligando así a ejecutar investigaciones determinantes de especies potencialmente maderables, que logren satisfacer el aumento de la demanda en el mercado; para esto, una propiedad inherente a una especie natural y maderable es su capacidad de resistencia (durabilidad natural) al ataque de microorganismos, como agentes destructores (hongos xilófagos), que ocasionan pudrición sobre la especie.

La madera es, sin duda alguna, el producto de mayor demanda comercial brindado por los bosques, así como uno de los más importantes componentes del complejo recurso forestal en Perú. La madera se define como un grupo importante de carbono orgánico del suelo, cuyos componentes estructurales y paredes celulares incluyen: celulosa, hemicelulosa y lignina (Taylor *et al.*, 2002). La falta de conocimiento y comprensión sobre las principales características de la madera y su correcto empleo ocasiona una sobreexplotación selectiva de una determinada especie sobre otras (González e Icochea, 1980).

De acuerdo al informe de MINAGRI (2017), en Perú la relación entre superficie anual de plantaciones forestales con fines comerciales (maderable) desde el año 2011 al 2017, respecto del total de la superficie con potencial para plantaciones forestales con fines comerciales, se encuentra en un nivel promedio de 0,23 %. La importancia de la durabilidad natural radica en el tiempo de vigencia de las propiedades físicas y químicas de la madera, ya que de estas depende la indicación de su correcto manejo. Asimismo, facilita información básica para seleccionar y atribuir idóneamente los procedimientos de preservación y secado existentes, en función de la disposición final del material, lográndose así el correcto e íntegro provecho de las especies maderables existentes (Taylor *et al.*, 2002).

De acuerdo con Cartwright y Findlay (1958), por durabilidad natural de las especies se debe entender la facultad de resistencia al ataque de factores de destrucción (tanto bióticos como abióticos), pero considerando el efecto de los hongos sobre los otros agentes. Además, se acordó internacionalmente atribuir el término "durabilidad natural" al efecto causal de los hongos, considerándose los mayores causantes de pudrición en especies maderables. González e Icochea (1980) sostienen que la real trascendencia de clasificar las maderas en función a su inherente durabilidad natural, se encuentra sujeta a que este criterio permite proponer el estado de preservación para las que sea necesarias, así como el reporte de los probables niveles de toxicidad del preservador recomendado y usado. Asimismo, Cruz *et al.*, (2018) concluyen que, para sentar las bases de un adecuado uso de la madera, es primordial conocer su durabilidad natural bajo el efecto de agentes perniciosos, tanto bióticos como abióticos.

La demanda actual de especies maderables, ubica a Perú como un proveedor preferente, lo que genera la necesidad de que el producto ofrecido cumpla con los estándares de calidad impuestos por el mercado, pero a su vez sin dañar el ecosistema donde se ubican estas especies forestales. Por este motivo, en la presente investigación, el principal objetivo es determinar la durabilidad natural en 10 especies eventualmente maderables procedentes de bosques secundarios y primarios residuales de la región de Ucayalí, Perú, a partir de la infección con dos hongos xilófagos *Pycnoporus sanguineus* (que origina pudrición blanca) y *Lenzytes erubescens* (agente causal de pudrición parda). Según el anterior precepto, Silva-Castro *et al.*, (2016) manifiestan que la madera estructural es altamente sensible a diferentes modelos de biodegradación, originada principalmente por hongos, bacterias e insectos. Lo que se determina a continuación, es la medición del nivel de pudrición de una madera para determinar su uso en la industria. Los ensayos se llevan a cabo siguiendo el método experimental establecido en la norma internacional ASTM D 2017-81, avalado por la Sociedad Americana de Preservadores de la Madera



(AWPA). La evaluación de la durabilidad de las diez especies maderables propuestas anteriormente, son valoradas en función a la pérdida del peso seco inicial, medido en porcentaje, siguiendo las recomendaciones de Cartwright y Findlay (1958).

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la investigación fue en la carpintería de la Universidad Nacional de Ucayali. El rango de la muestra fue constituido por trozos de madera de diez especies (*Simauroma amara*, *J. copaia*, *Schizolobium amazonicum*, *Apeiba membranacea*, *B. utile*, *M. cordata*, *Apuleia molaris*, *T. oblonga*, *C. matourensis*, *Septotheca tessmannii*), procesadas durante tres días. Las muestras fueron procedentes de cinco trozos por especie, recogidos del Centro de Investigación y Capacitación Forestal Macuya-CICFOR, situado en la Carretera Federico Basadre km. 19, provincia Coronel Portillo, en la Región Ucayali. Los especímenes fueron seccionados circularmente con diámetros entre 4 a 6" de espesor, delimitándose cada porción en un rango de tres niveles: base, medio y ápice. Se extrajeron 16 probetas por nivel, utilizándose solo ocho probetas por nivel y se multiplicó por cinco secciones del material tratado, lo que generó un total de 120 probetas por cada especie tratada (libres de grietas y rajaduras, sanas, sin señales de infección por insectos, pudrición, mohos o mancha azul). Al finalizar el acopiamiento de la muestra de cada especie maderable y su posterior traslado a la ubicación de la investigación, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros.

Identificación dendrológica

La identificación dendrológica de las especies forestales, potencialmente maderables, fue desarrollada en los establecimientos del Herbario Regional del Instituto de Investigación de Enfermedades Tropicales y de Altura-IVITA, perteneciente a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Método de investigación

Para el desarrollo de este análisis investigativo se ejecutó el método experimental de 10 especies forestales en condiciones *in vitro*, siguiendo las indicaciones de la Norma internacional ASTM D: 2017-81. Los indicadores del análisis fueron dos tipos de hongos xilófagos (*P. sanguineus* y *L. eurebecens*), que se cultivaron en una cámara de pudrición, contenido en un medio artificial estándar esterilizado, en un ambiente ajustado a condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa para apoyar el fenómeno de la pudrición sobre el material tratado. Para la precisión del peso seco inicial se secaron las probetas de madera en una estufa regulada a 30 °C, hasta que se logró un peso seco constante, luego las muestras fueron esterilizadas en autoclave con vapor húmedo a presión (120 °C y 15 lb plg⁻², durante 20 min.) y se colocaron dentro de las cámaras de pudrición. La etapa de incubación duró alrededor de 12 semanas, culminado este período las probetas usadas anteriormente volvieron a pasar la fase de secado en estufa hasta que se consiguió un peso constante y con este valor se determinó el peso final de las muestras.

Procedimiento de recolección de datos. Preparación de probetas de ensayo

Las probetas fueron procesadas sobre una sierra de disco con dientes diamantados, luego con una lija 120 se eliminaron los remanentes de aserrín y astillas del material de muestra. Se deshumedecieron sobre estufa regulada a 100 ± 2 °C, hasta obtener finalmente un peso invariable. Posterior a este proceso, se colocaron por espacio de 20 minutos (conforme a la Norma ASTM-1413) en una campana de desecación



abastecida de cristales de CaCl_2 anhidro y después se ponderaron en una balanza con 0,01 g de precisión, considerándose el peso original del análisis.

Especies de hongos xilófagos

Los hongos seleccionados fueron recogidos y coleccionados del Centro de Investigación Forestal Macuya, de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali. Posteriormente, fueron clasificados en el Laboratorio de Preservación de la Madera, de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las especies utilizadas para la investigación son: *P. sanguineus* y *L. erubescens*.

Preparación del medio de cultivo

Paralelamente a la preparación del medio de cultivo estándar (Tabla 1), el medio de cultivo fue preparado, por disolución, en agua destilada caliente y posteriormente se uniformizó por agitación manual, hasta llegar al punto de ebullición.

Tabla 1. - Composición del medio de cultivo estándar

Compuesto	Cantidad en gramos
Agar agar	20 g
Extracto de malta	12 g
Dextrosa	20 g
Peptona	1 g
Agua destilada	1 000 g

Preparación de las cámaras de pudrición

Se trasvasaron 20 ml de medio de cultivo caliente y líquido, conteniendo 0,5 g de solución desinfectante en cada frasco de vidrio y se esterizaron en autoclave a 120 °C de temperatura y 15 lb/pg² de presión, en un tiempo de 20 min. Luego se dejó enfriar y se colocó en dirección horizontal, sobre un espacio previamente esterilizado con una solución de cloruro de mercurio II (HgCl_2) al 0,1 %.

Inoculación de las cámaras de pudrición

Las cámaras previamente esterilizadas fueron infectadas con porciones pequeñas (1 cm de diámetro) de los hongos xilófagos escogidos para la experimentación, con la ayuda de un sacabocado y fueron introducidas en la estufa eléctrica regulada a 27 ± 1 °C de temperatura y 70 ± 4 % de humedad relativa, hasta que el micelio cubrió al menos la mitad de la región superficial del medio de cultivo. Las cámaras de podredumbre fueron colocadas en el cuarto de incubación, durante un período de 90 días.

Acondicionamiento de las probetas de ensayo

Las probetas secas se esterizaron en estufa con autoclave a 120 °C y 15 lb plg⁻² de presión por espacio de 20 minutos y se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente bajo condiciones esterilizadas en un dispositivo *microvoid*. Luego, se introdujo una probeta por cada cámara de pudrición, usando pinzas y guantes quirúrgicos



desinfectados. Asimismo, las tapas fueron parcialmente enroscadas para favorecer la disponibilidad de oxígeno y el intercambio gaseoso, imprescindible para el correcto metabolismo en hongos xilófagos.

Determinación del peso final

Culminada la etapa de exposición del material manipulado, las probetas fueron retiradas de cada cámara de pudrición usada y se lavaron con alcohol acetona, luego se secaron en estufa hasta obtener un peso constante; limpiando los restos de micelio, se colocó una campana de desecación provista de cloruro de calcio, en un período de 20 min. Posteriormente, el material fue pesado en balanza con 0,01 g. de precisión, considerándose este resultado como el peso final del análisis experimental. La pérdida de peso de la madera (material manipulado) se calculó con la siguiente fórmula matemática (Ecuación 1).

$$\text{Pérdida de peso} = [(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / \text{Peso inicial}] \times 100 \% \quad (1)$$

Donde:

- i. Se expresó la pérdida de peso de las probetas del experimento en porcentaje (%).
- ii. El peso inicial y final de las probetas del experimento está expresado en gramos (g).

Cuando se determinó la pérdida de peso de cada especie, siguiendo la fórmula matemática anteriormente indicada, se diferenciaron cuatro grupos de resistencia de la madera, de acuerdo al grado de resistencia propuesto, siguiendo la Norma ASTM D: 2017-81 (Tabla 2).

Tabla 2. - Clasificación de maderas según ASTM Norma D-2017-81

% Pérdida de peso	Grado de resistencia al hongo de prueba	Grupo por resistencia
0-10	Altamente resistente	A
11 a 24	Resistente	B
25 a 44	Moderadamente resistente	C
+ 44	No resistente	D

Tratamiento estadístico de los datos

De los resultados obtenidos de los índices de pudrición, se computó el promedio por especie en relación al hongo xilófago seleccionado, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los límites de confianza, según la norma COPANT (1974), Comisión Panamericana de Normas Técnicas. Se usó el método aleatorio, para la determinación de la resistencia a la pudrición bajo la acción de cada hongo xilófago, con arreglo factorial, considerándose en el desarrollo de la experimentación probetas provenientes de cinco árboles, tres niveles longitudinales por árbol y seis tratamientos.

Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial de dos factores (Tabla 3):



F₁ Hongos = 2 (H₁ = *P. sanguineus*, H₂ = *L. erubescens*)

F₂ Niveles = 3 (N₁ = Bajo, N₂ = Medio, N₃ = Ápice)

Repeticiones = 5 (árboles)

Unidades experimentales = 2 x 3 x 5 = 30

Por cada nivel se dispusieron ocho probetas, de las cuales cuatro estaban infectadas con *P. sanguineus* (hongo 1) y 4 con *L. erubescens* (hongo 2), obteniéndose el promedio aritmético de las cuatro probetas inoculadas en relación con cada hongo usado (Tabla 3).

120 (probetas) / 4 (probetas inoculadas) = 30 UE

Tabla 3. - Diseño completamente al azar con arreglo factorial de dos factores

% Pérdida de peso	Grado de resistencia al hongo de prueba	Grupo por resistencia
0-10	Altamente resistente	A
11 a 24	Resistente	B
25 a 44	Moderadamente resistente	C
+ 44	No resistente	D

Se trabajó con un nivel de significación igual a 5 %, mediante las pruebas de ANOVA y de Múltiples Rangos LSD de Fisher, en relación con el nivel de pudrición ocasionado por cada especie de hongo y su efecto en las especies de árboles. Para el análisis se empleó el DCA con arreglo factorial de dos factores y cinco repeticiones, teniendo seis tratamientos (dos especies de hongos xilófagos, por tres niveles). Las repeticiones se ejecutaron en cinco lugares diferentes y, para cada lugar se obtuvo un promedio de las cuatro probetas, resultando 30 unidades experimentales (2 x 3 tratamientos y cinco repeticiones); además, las cámaras de pudrición se situaron al azar en la cámara de incubación (Calzada, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Culminada la fase de exposición de las probetas de *Apeiba membranacea*, *J. copaia*, *C. matourensis*, *Schizolobium amazonicum*, *M. cordata*, *Simauroma amara*, *B. utile*, *Septotheca tessmannii*, *Apuleia molaris*, *T. oblonga*, para la valoración de durabilidad natural bajo el efecto de dos hongos xilófagos: *P. sanguineus* y *L. erubescens*, se desarrolló el promedio de pérdida de peso de la madera (%) en una relación inversamente proporcional a la clasificación de la resistencia de la madera frente al fenómeno de pudrición (Tabla 4).



Tabla 4. - Resultados de la prueba de resistencia a la pudrición a los 90 días de experimentación

N.º	Especie	Nivel	Pérdida de peso/Hongo		Promedio de Pérdida Peso/Especie (%)	Clasificación de la madera por su resistencia
			<i>p. sanguineus</i>	<i>L. eurebencens</i>		
1	<i>A. membranacea</i>	Base	51,24	53,67	54,21 %	Ligeramente resiste a no resistente
		Medio	52,06	57,05		
		Ápice	53,89	57,33		
	PROMEDIO	52,4	56,02			
2	<i>J. copaia</i>	Base	48,76	50,96	52,12 %	Ligeramente resiste a no resistente
		Medio	50,78	54,67		
		Ápice	50,73	56,82		
	PROMEDIO	50,09	54,15			
3	<i>C. matourensis</i>	Base	44,17	49,64	49,63 %	Ligeramente resiste a no resistente
		Medio	48,95	51,65		
		Ápice	50,16	53,21		
	PROMEDIO	47,76	51,5			
4	<i>S. amazonicum</i>	Base	44,01	45,83	46,11 %	Ligeramente resiste a no resistente
		Medio	44,87	46,78		
		Ápice	45,78	49,37		
	PROMEDIO	44,89	47,33			
5	<i>M. cordata</i>	Base	24,26	29,82	29,16 %	Moderadamente resistente
		Medio	26,86	32,02		
		Ápice	28,28	33,7		
	PROMEDIO	26,47	31,85			
6	<i>S. amara</i>	Base	24,12	25,05	28,03 %	Moderadamente resistente
		Medio	25,3	30,85		
		Ápice	29,66	33,23		
	PROMEDIO	26,36	29,71			
7	<i>B. utile</i>	Base	22,4	25,66	25,33 %	Moderadamente resistente
		Medio	24,23	26,39		
		Ápice	25,61	27,66		
	PROMEDIO	24,08	26,57			
8	<i>S. tessmannii</i>	Base	15,21	12,63	15,52 %	Resistente
		Medio	16,32	14,63		
		Ápice	18,3	16,03		
	PROMEDIO	16,61	14,43			
9	<i>A. molaris</i>	Base	11,66	11,02	12,92 %	Resistente
		Medio	14,00	11,97		
		Ápice	15,7	13,16		
	PROMEDIO	13,68	12,05			
10	<i>T. oblonga</i>	Base	10,7	7,89	10,26 %	Altamente resistente
		Medio	11,49	8,53		
		Ápice	12,7	10,24		
	PROMEDIO	11,63	8,89			



De acuerdo a los resultados obtenidos en la interpretación de los índices de resistencia de la madera se detectó que *Apeiba membranacea*, *J. copaia*, *C. matourensis* y *Schizolobium amazonicum* son poco o ligeramente resistentes, con promedios de 54,21 %; 52,12 %; 49,63 % y 46,11 %, respectivamente. Por otra parte, las especies resistentes con promedios de 15,52 % y 12,92 % son *Septotheca tessmannii* y *Apuleia molaris*, mientras que *T. oblonga* resultó ser altamente resistente con un promedio de pérdida de peso del 10,26 %.

En las especies manipuladas, se observaron diferencias relevantes entre los valores de porcentajes de pudrición, en función al nivel del fuste: en todos los casos el nivel apical representó al factor de mayor vulnerabilidad, mientras que el nivel medio presentó valores intermedios y la base de la madera señaló valores mínimos (Tabla 5).

Tabla 5. - Estadística descriptiva en relación al porcentaje promedio de pérdidas de peso

	ESPECIE	N	Media	Desv.	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
HONGO 1 (<i>P. sanguineus</i>)	<i>T. oblonga</i>	1	11,63	15,87	5,02	20,04	42,75	11,63	11,63
	<i>A. molaris</i>	1	13,68					13,68	13,68
	<i>S. tesmannii</i>	1	16,61					16,61	16,61
	<i>B. utile</i>	1	24,08					24,08	24,08
	<i>S. amara</i>	1	26,36					26,36	26,36
	<i>M. cordata</i>	1	26,47					26,47	26,47
	<i>S. amazonicum</i>	1	44,89					44,89	44,89
	<i>C. matourensis</i>	1	47,76					47,76	47,76
	<i>J. copaia</i>	1	50,09					50,09	50,09
	<i>A. membranacea</i>	1	52,40					52,40	52,40
	Total	10	31,40					11,63	52,40
HONGO 2 (<i>L. eurebecens</i>)	<i>T. oblonga</i>	1	8,89	18,08	5,72	20,31	46,19	8,89	8,89
	<i>A. molaris</i>	1	12,05					12,05	12,05
	<i>S. tesmannii</i>	1	14,43					14,43	14,43
	<i>B. utile</i>	1	26,57					26,57	26,57
	<i>S. amara</i>	1	29,71					29,71	29,71
	<i>M. cordata</i>	1	31,85					31,85	31,85
	<i>S. amazonicum</i>	1	47,33					47,33	47,33
	<i>C. matourensis</i>	1	51,50					51,50	51,50
	<i>J. copaia</i>	1	54,15					54,15	54,15
	<i>A. membranacea</i>	1	56,02					56,02	56,02
	Total	10	33,25					8,89	56,02

De acuerdo al análisis de varianza, el factor pudrición originado a partir del hongo xilófago aplicado, tuvo efecto estadísticamente diferente entre las especies arbóreas (Tabla 6). Se observó que el $P < 0,05$; este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre pérdida de peso por pudrición con un 95 % de nivel de confianza, lo que indica que la pérdida de peso es dependiente del tipo de especie arbórea analizada. Mientras que en el caso del factor tipo de hongo, $P > 0,05$ indica que no existe influencia significativa del factor, lo que se refiere a que los dos tipos de hongo utilizado afectaron de la misma forma a las especies de árboles.



Tabla 6. - Análisis de varianza para pérdida de peso por pudrición

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Especie	5280,26	9	586,696	111,54	0,0000
B: Tipo de Hongo	22,472	1	22,472	4,27	0,0687
RESIDUOS	47,3392	9	5,25991		
TOTAL (CORREGIDO)	5350,07	19			

En cuanto a las especies de árboles, al aplicar el análisis de Múltiples Rangos LSD de Fisher, se observaron cinco grupos homogéneos respecto al porcentaje de pérdida de la madera por pudrición (A, B, C, D y E) intergrupo, no existe diferencia significativa $P > 0,05$ y extragrupo, existen diferencias significativas $P < 0,05$. En este sentido, el grupo C está aparte del resto y lo forman *B. utile*, *Simauroma amara* y *M. cordata*, sin diferencias entre ellas, pero diferentes al resto de las maderas, las cuales, de acuerdo a la clasificación de resistencia mencionada en la Tabla 4, representan maderas moderadamente resistentes (Tabla 7).

Por otra parte, se puede considerar que el grupo E, con *C. matourensis*, *J. copaia* y *A. membranacea*, es diferente que el grupo C, y en este caso, estas especies fueron clasificadas como maderas ligeramente o poco resistentes. Asimismo, las especies de este grupo, presentaron diferencias significativas en el porcentaje de pudrición con las especies, *T. oblonga*, *Apuleia molaris* y *Septotheca tessmannii*, las cuales fueron clasificadas como maderas resistentes y altamente resistentes.

Tabla 7. - Pruebas de Múltiples Rangos LSD de Fisher para pérdida de peso por pudrición por especie

Especie	Casos	Media	LS	Sigma	LS	Grupos Homogéneos
<i>T. oblonga</i>	2	10.26	1.62171			A
<i>A. molaris</i>	2	12.865	1.62171			A B
<i>S. tessmannii</i>	2	15.52	1.62171			B
<i>B. utile</i>	2	25.325	1.62171			C
<i>S. amara</i>	2	28.035	1.62171			C
<i>M. cordata</i>	2	29.16	1.62171			C
<i>S. amazonicum</i>	2	46.11	1.62171			D
<i>C. matourensis</i>	2	49.63	1.62171			D E
<i>J. copaia</i>	2	53.455	1.62171			E
<i>A. membranacea</i>	2	54.21	1.62171			E

La ejecución de un examen fotoquímico reveló la presencia de compuestos como flavonoides, terpenoides y esteroides en los extractivos usados, en agua caliente y alcohol. Este experimento también determinó el uso adecuado de extractivos en las muestras manipuladas y el planteamiento de una relación con el efecto de la resistencia al fenómeno de la pudrición ocasionado por hongos xilófagos. *Habboo et al.*, (2018) plantearon que el extractivo de agua fría presenta dos componentes



adicionales: saponina y alcaloide, que pueden ser destruidos por la exposición al calor. Ello añadió a la información obtenida parámetros de influencia del entorno sobre las especies tratadas.

La acción perjudicial de los hongos xilófagos para estas diez especies forestales, potencialmente maderables, es el fenómeno de pudrición, lo que se considera un factor negativo sobre especies forestales con demanda comercial, que se ven fuertemente afectadas por este fenómeno. En este estudio, se observó que la pudrición marrón se inició y avanzó con mayor rapidez en comparación con la pudrición blanca y blanda, coincidiendo así con [Brischke y Meyer-Veltrup \(2016\)](#); sin embargo, no representó diferencias estadísticamente significativas (Tabla 8).

Tabla 8. - Pruebas de Múltiples Rangos LSD de Fisher para pérdida de peso por pudrición por especie

Hongo	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
<i>P. sanguineus</i>	10	31,397	0,725252	A
<i>L. eurebencens</i>	10	33,517	0,725252	A

En este estudio, se destacaron tres especies forestales potencialmente maderables: *Septotheca tessmannii*, *Apuleia molaris* y *T. oblonga*; donde, el factor de varianza estableció notables diferencias estadísticas en relación con el resto de especies madereras, en cuanto a la resistencia hacia los hongos *P. sanguineus* y *L. erubescens*. Caso contrario a los parámetros de pudrición ocasionados por *P. sanguineus*, responsable de la pudrición blanca, respecto a la pudrición que se generó por *L. erubescens*, que, si bien se aprecian algunas diferencias en los porcentajes de pérdida de peso, no fueron estadísticamente significativas.

Los resultados obtenidos son contradictorios a los obtenidos por otros autores: [González e Icochea \(1980\)](#) y [Ahn et al., \(2005\)](#), quienes señalan que la cualidad específica de la acción bioenzimática de los hongos xilófagos, dan paso a leños en los cuales diferentes especies de esta clase de hongos se distribuyen de forma homogénea en el sustrato, estimulando la pudrición mixta.

[Lehnebach et al., \(2017\)](#) indicaron que, sobre el origen de la albura, la configuración de sustancias preservadoras de naturaleza fenólica y mecanismos físicos (tílides), se produjo el duramen propio de la especie. La valoración del incremento radial y la región de albura propia del tronco se rigieron bajo un modelo único a la altura del pecho, con un desarrollo inicial y un valor consecutivo continuo, como resultado de la capacidad de crecimiento hacia la corona en lugar de la reducción del árbol. La región del duramen y el volumen propio del tronco aumentaron con mayor rapidez luego que se efectuara este cambio.

La durabilidad natural está asociada al alto contenido de compuestos fenólicos antioxidantes, especialmente taninos y flavonoides, combinados con la presencia de alcaloides fungistáticos, al aumento según las clases de preservación natural, de madera duradera a madera moderadamente duradera y se correlacionó con la capacidad antioxidante ([Anouhe et al., 2018](#)). El comportamiento de deterioro observado pudo deberse a que la madera de duramen de las especies presentó mayor cantidad de extractivos en relación a la albura, cooperando con una mejor



preservación del duramen, el índice de humedad, la baja penetrabilidad y el bloqueo de las cavidades celulares por gomas, resinas y tilosis.

Asimismo, al evaluar la actividad antioxidante de los extractivos con taninos de corteza, incluyéndose fracciones y compuestos aislados, en cromatografía de capa fina, a la par, se consideraron estos extractivos como inhibidores de crecimiento del hongo; todas las fracciones y compuestos aislados mostraron actividad antioxidante. La actividad antifúngica se calculó mediante la Concentración Inhibitoria Mínima (MIC) y la Concentración Fungicida Mínima (MFC), de acuerdo a lo establecido por Sanches *et al.*, (2005).

CONCLUSIONES

Luego de la evaluación de la durabilidad natural en 10 especies forestales, se las clasificó de acuerdo a sus porcentajes de pudrición en las siguientes categorías: ligeramente resistentes, *Apeiba membranacea*, *J. copaia*, *C. matourensis* y *Schizolobium amazonicum*; moderadamente resistentes; resistentes, *M. cordata*, *Simauroma amara* y *B. utile*; y las especies resistentes y altamente resistentes, *Septotheca tessmannii*, *Apuleia molaris* y *T. oblonga*.

L. erubescens fue el agente causal de la pudrición marrón y presentó mayor agresividad, lo que dio paso a una mayor pérdida de peso en las probetas que la especie *P. sanguineus*, que estimula el fenómeno de la pudrición blanca; pero no fue estadísticamente significativo.

Por lo que se concluye que, las especies de árboles *Septotheca tessmannii*, *Apuleia molaris* y *T. oblonga* pueden ser usadas en condiciones de exposición al ataque de hongos xilófagos, en contacto directo con el suelo y el exterior, siempre que no exista el riesgo presencial de insectos termitidos o que estos sean prevenidos y/o purgados por medios físicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHN, Y.J., LEE, H.S., OH, H.S., KIM, H.T. y LEE, Y.H., 2005. Antifungal activity and mode of action of Galla rhois-derived phenolics against phytopathogenic fungi. En: *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 81(2), pp. 105-112. DOI: 10.1016/j.pestbp.2004.10.003
- ANOUHE, J. B. S., NIAMKÉ, F.B., FAUSTIN, M., VIRIEUX, D., PIRAT, J.L., ADIMA, A.A., COULIBALY, S.K. y AMUSANT, N., 2018. The role of extractives in the natural durability of the heartwood of *Dicorynia guianensis* Amsh: new insights in antioxidant and antifungal properties. En: *Annals of Forest Science*, vol. 75, No. 1, pp. 5-15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0691-0>
- BRISCHKE, C. y MEYER-VELTRUP, L., 2016. Modelado de la descomposición de la madera causada por hongos de pudrición marrón. En: *Materiales y estructuras*, vol. 7, No. 2, pp. 89 - 95. DOI: <https://doi.org/10.1080/20426445.2016.1160591>
- CALZADA B.J., 1985. *Métodos estadísticos aplicados a la investigación*. Editorial Jurídica, Lima, Perú.



- CARTWRIGHT, K. Y FINDLAY, W., 1958. *La decadencia de la madera y su prevención*. En: *LWW*, Vol. 69, No. 5, pp. 415, 19481100130. Inglaterra.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS, 1974. Descripción de características organolépticas, macroscópicas y microscópicas de la madera. *Anteproyecto de Norma COPANT*. Vol 30. pp. 119.
- CRUZ C. R., CARRILLO PARRA, A. NÁJERA LUNA, J. A., CRUZ COBOS, F., HERNÁNDEZ, F.J. y MÉNDEZ GONZÁLEZ, J., 2018. Natural durability of wood of seven forest species of El Salto, Durango. En: *Revista Mexicana de ciencias forestales*, vol. 9, No. 46. DOI: <http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.144>
- DOUROJEANNI R.M., 2016. Aprovechamiento del barbecho forestal en áreas de agricultura migratoria en la Amazonía Peruana. En: *Revista forestal del Perú*, vol. 14, No. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v14i2.136>
- GONZÁLEZ V.F. E ICOCHEA, T.Y., 1980. Pudrición de la madera de diez especies forestales por acción de cinco hongos xilófagos. En: *Revista Forestal del Perú*, vol. 10, No. 1-2, pp. 1-38. Disponible en: [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol10_no1-2_80-81_\(14\)/vol10_art4.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol10_no1-2_80-81_(14)/vol10_art4.pdf)
- HABBOO, M. D., NOR, N.S.M. y IBRAHIM, N., 2018. Phytochemical content of hot and cold water extracts of *Orthosiphon stamineus* leaves. En: *American Institute of Physics Conference Proceedings*, Vol. 19, No. 4, pp. 20 - 67. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5027982>
- LEHNEBACH, R., MOREL, H., BOSSU, J., LE MOGUÉDEC, G., AMUSANT, N., BEAUCHÊNE, J., Y NICOLINI, E., 2017. Heartwood/sapwood profile and the tradeoff between trunk and crown increment in a natural forest: the case study of a tropical tree (*Dicorynia guianensis* Amsh., Fabaceae). *Trees*, 31(1), 199-214. DOI:10.1007/s00468-016-1473-7
- SANCHES, A.C., LOPES G.C., NAKAMURA V.C., DÍAS FILHO P.B. Y PALAZZO DE MELLO J.C., 2005. Actividades antioxidantes y antifúngicas de extractos y taninos condensados de *Stryphnodendron obovatum* Benth. En: *Revista Brasileira De Ciencias Farmacéuticas*, vol. 41, No. 1, pp. 101-107. Brasil. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-93322005000100012>
- SILVA-CASTRO, I., ALONSO CORTÉS, A., CASADOS SANZ, M., ACUÑA RELLO, L., MARTÍN RAMOS, P. Y MARTÍN GIL, J., 2016. Prevención y tratamiento de la pudrición blanca de la madera mediante recubrimientos basados en oligómeros de quitosano. En: *13º Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)*, España. pp. 1-6. Disponible en: <https://docplayer.es/89201804-Prevencion-y-tratamiento-de-la-pudricion-blanca-de-la-madera-mediante-recubrimientos-basados-en-oligomeros-de-quitosano.html>
- TAYLOR, A., GARTNER, B. y MORRELL, J., 2002. Heartwood formation and natural durability - a review. En: *Wood and Fiber Science*, vol. 34, No. 4, pp. 587-611. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/41043844_Heartwood_formation_and_natural_durability_-_A_review



TUEZTA GIACOMOTTI, J. y RODRÍGUEZ REYNEL, C., 2018. Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque secundario tardío del valle de Chanchamayo, Perú. En: *Revista Forestal del Perú*, vol. 33, No. 1, pp. 42-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1154>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2020 Ayda Guisella Avalos Díaz, Jhnon Edwar Aviles Sandi

