

DURABILIDAD NATURAL E INDUCIDA CON COBRE AMONIACAL CUATERNARIO (ACQ) DE LAS MADERAS DE *ACACIA MANGIUM*, *SIMAROUBA AMARA* Y *GMELINA ARBOREA*

NATURAL AND INDUCED DURABILITY WITH QUATERNARY AMMONIACAL COPPER (ACQ) OF *ACACIA MANGIUM*, *SIMAROUBA AMARA* AND *GMELINA ARBOREA* WOODS

OSVALDO ENCINAS B. Y MARY MAR RONDÓN

ORCID: 0000-0001-6781-6053

ULA-MINEC LNPf Grupo de Investigación en Conservación de Maderas Email: osenbla@gmail.com

Recibido 29 agosto 2023 – Aceptado 23 noviembre 2023

Resumen

Palabras clave:

Durabilidad natural

Durabilidad inducida

ACQ

Acacia mangium

Simarouba amara

Gmelina arborea

Se evalúa la durabilidad natural e inducida con preservante a base de cobre amoniacal cuaternario ACQ a 1, 2 y 3 % de concentración, de las maderas de *Acacia mangium*, *Simarouba amara* y *Gmelina arborea* expuestas a hongos de pudrición marrón *Gloeophyllum trabeum* y *Coniophora puteana* y hongos de pudrición blanca *Trametes versicolor* e *Irpex lacteus*, mediante el método Soil/Block (ASTM, 2012). La durabilidad natural de las maderas ensayadas varía con el tiempo y en su resistencia a la degradación por los hongos ensayados; al tercer mes ocasiona pérdidas de peso en *A. mangium* de 30,79 % con el hongo de pudrición blanca *Trametes versicolor* y de 22,48 % con *Coniophora puteana*; con los hongos de pudrición marrón *Gloeophyllum trabeum* las pérdidas de peso fueron de 26,55 % y con *Irpex lacteus* de 20,17 %. La madera de *S. amara* presenta pérdidas de peso ocasionadas por *G. trabeum* de 38,21 %, por *T. versicolor* de 42,80 %, por *I. lacteus* de 25,96 % y por *C. puteana* de 16,65 %. La madera de *G. arborea* tuvo pérdida de peso por *T. versicolor* de 36,35 %, por *I. lacteus* de 29,30 %, por *G. trabeum* de 18,82 % y por *C. puteana* de 21,95 %.

Se mejora su durabilidad y resistencia a la degradación por hongos, mediante aplicación de productos químicos como ACQ (cobre cuaternario alcalino) obteniendo durabilidad inducida según la concentración del producto y el tiempo: en el tercer mes la madera de *A. mangium* frente a *T. versicolor* y con concentraciones de 1,2 y 3 % ocasiona pérdidas de solo 5,45 %, 4,42 y 4,12 %, seguido de *G. trabeum* con pérdidas de 4,21 %, 4,18 %, 3,64 %, *C. puteana*

con pérdidas de 4,25 %, 2,78 %, 2,33 % e *I. Lacteus* con pérdidas de 5,68 %, 4,67 %, 2,29 %. En la madera de *S. amara*, en el tercer mes de incubación con *T. versicolor* la durabilidad inducida solo permite pérdidas de 8,18 %, 5,95 %, 4,75 %; con *G. trabeum* las pérdidas fueron de 8,23 %, 5,91 %, 3,48 %; con *I. lacteus* las pérdidas fueron de 6,78 %, 5,67 %, 3,17 % y con *C. puteana* las pérdidas de peso fueron de 3,67 %, 2,06 %, 3,12 %. La durabilidad inducida por ACQC de la madera de *G. arborea* solo permite bajas pérdidas de peso, según la concentración empleada (1, 2 y 3 % de ACQ), al tercer mes con los hongos de pudrición blanca, *T. versicolor* las pérdidas de peso fueron 6,67 %, 6,53 % y 2,78 %, y con *I. lacteus* las pérdidas de peso fueron de 6,39 %, 5,52 %, 1,89 %. Con los hongos de pudrición marrón, *C. puteana* ocasiona pérdidas de 4,36 %, 4,18 %, 1,45 %, y *G. trabeum* origina pérdidas de 5,12 %, 5,12 %, 1,28 %.

La preservación de las maderas ensayadas con ACQ, mejora notablemente su durabilidad natural. La observación microscópica de los patrones de ataque de los hongos utilizados confirma que el producto ensayado protege a los componentes anatómicos de las maderas ensayadas.

Abstract

Key Words:

Natural durability

Induced durability

ACQ

Acacia mangium

Simarouba amara

Gmelina arborea

The natural and induced durability with ACQ quaternary ammoniacal copper at 1, 2 and 3 % concentration of *Acacia mangium*, *Simarouba amara* and *Gmelina arborea* woods exposed to brown rot fungi *Gloeophyllum trabeum* and *Coniophora puteana* and white rot fungi *Trametes versicolor* and *Irpex lacteus* are evaluated using the Soil/Block method (ASTM, 2012). The natural durability of the tested woods varies in their resistance to degradation by the fungi tested: at the third month *A. mangium* showed weight losses of 30.79 % with the white rot fungi *Trametes versicolor* and *Coniophora puteana* of 22.48 %; with the brown rot fungi *Gloeophyllum trabeum* of 26.55% and with *Irpex lacteus* of 20.17%. *S. amara* wood showed weight losses caused by *G. trabeum* of 38.21%, *T. versicolor* of 42.80%, *I. lacteus* of 25.96% and *C. puteana* of 20.07%. *G. arborea* wood had weight loss by *T. versicolor* of 34.66%, *I. lacteus* by 29.33%, *G. trabeum* by 18.82% and *C. puteana* by 21.95%. Preserved with ACQ, the induced durability improves according to the concentration of the product: in the third month, *A. mangium* wood against *T. versicolor* and with concentrations of 1.2 and 3 % causes losses of only 5.45 %, 4.42 and 4.12 %, followed by *G. trabeum* with losses of 4.21 %, 4.18 %, 3.64 %, *C. puteana* with losses of 4.25 %, 2.78%, 2.33% and *I. Lacteus* with losses of 5.68%, 4.67%, 2.29%. In the wood of *S. amara*, in the third month of incubation with *T. versicolor*, the induced durability only allows losses of 8.18%, 5.95%, 4.75%; with *G. trabeum* the losses were 8.23%, 5.91%, 3.48%; with

I. lacteus the losses were 6.78 %, 5.67 %, 3, 17 % and with *C. puteana* the weight losses were 3.67 %, 2.06 %, 3.12 %. With *G. arborea* wood, the durability induced by ACQ only allows for low weight losses; according to the concentration used (1, 2 and 3 % of ACQ) at the third month with white rot fungi, *T. versicolor*, weight losses were 6.67%, 6.53 % and 2.78 %, and with *I. lacteus* weight losses were 6.39 %, 5.52 %, 1.89 %. With brown rot fungi, *C. puteana* causes losses of 4.36%, 4.18%, 1.45%, and *G. trabeum* causes losses of 5.12%, 5.12%, 1.28%. The preservation of the woods tested with ACQ significantly improves their natural durability. Microscopic observation of the attack patterns of the fungi used confirms that the tested product protects the anatomical components of the tested woods.

1. INTRODUCCIÓN

Los componentes más abundantes e importantes de la madera son celulosa, hemicelulosa y lignina, cualquiera de estos componentes es, a su tiempo, degradado, sea por organismos especializados degradadores de la madera o por otros agentes físicos y/o químicos, lo que caracterizan la madera por su durabilidad natural. Es posible disminuir la degradación de la madera, otorgándoles lo que se conoce como durabilidad adquirida o durabilidad inducida, mediante procesos físicos o químicos, sumamente importante cuando se utiliza la madera en construcción y con fines arquitectónicos (González, 2015).

La degradación de la madera se inicia cuando se corta el árbol y comienza la pérdida de humedad, se convierte en fuente alimenticia para muchos organismos ocasionando un deterioro progresivo en el tiempo hasta llegar a su completa descomposición. Existen maderas que tienen durabilidad natural, otras requieren de la aplicación de procesos de protección de la madera, para prolongar su vida útil (JUNAC, 1988) usando técnicas de preservación, que consisten en introducir en la madera compuestos químicos con propiedades fungicidas y/o insecticidas para controlar el ataque de organismos biológicos destructores de la madera o mediante procesos físicos que buscan la modificación de los componentes químicos de la madera haciéndola difícil a su degradación. Introducir productos químicos en la madera, proceso conocido como preservación; puede realizarse de diferentes maneras y su éxito depende del método utilizado para la aplicación del preservante en la madera, del tipo de preservante y de la cantidad de preservante o producto químico, selección que se hace de acuerdo con el ambiente o sitio en donde será puesta la madera en servicio (Mayo *et al.*, 2010).

Son diversos los productos químicos utilizados, la mayor parte se refieren a preservantes clásicos que aún se están utilizando como los compuestos de boro o de cobre, cromo y arsénico (CCA), observados ambientalmente y cobre amoniacal

cuaternario (ACQ) considerado menos contaminante que CCA y recientemente compuestos de cobre micronizado. Existen también preservantes con ingredientes activos de nueva generación que pretenden ser inocuos a los organismos vivos y no contaminantes del suelo o de las aguas. La evaluación de productos químicos menos contaminantes es una preocupación actual en el sector industrial forestal, particularmente para introducir al mercado las maderas de especies forestales de rápido crecimiento que usualmente tienen muy poca durabilidad natural, como acacia *Acacia mangium* Willd y melina *Gmelina arborea* Roxb o de maderas poco durables provenientes del bosque natural que están comenzando a industrializarse como el cedro blanco *Simarouba amara* Aubl.

La industria forestal en la actualidad está siendo afectada directamente por la falta de conocimiento acerca de productos químicos protectores o preservantes de la madera que cumplan con la exigencia, cada día más creciente, de que sean lo más ambientalmente compatibles con organismos vivos y con el ambiente. A nivel mundial se continúan las investigaciones con productos cada día más innovadores; sin embargo, en muchos países, como Venezuela, aún no se ha superado este aspecto y se continúa investigando el uso de productos tradicionales que no sean dañinos al ambiente. En el Laboratorio Nacional de Productos Forestales se continúa la línea de investigación en este aspecto, ensayando productos que se anuncian como menos contaminantes y de acceso posible al mercado e industria forestal del país, como el cobre amoniacal cuaternario (ACQ).

En cuanto a las materias primas, en las circunstancias actuales las industrias forestales de Venezuela requieren para su desarrollo disponer de materias primas que tradicionalmente han sido abastecidas por el bosque natural, pero presiones de diversa naturaleza, malas prácticas de manejo y conservación de los bosques e influencias externas han ocasionado que en la actualidad se estén comenzando a introducir en el mercado especies madereras que no tenían utilidad conocida. Sin embargo, los volúmenes disponibles y el desconocimiento de sus propiedades están limitando su comercialización, por lo que se está recurriendo a la utilización de maderas de especies de rápido crecimiento de las diferentes plantaciones que hay en el país; de éstas se conoce poco acerca de sus propiedades, particularmente de su durabilidad natural y menos aún su durabilidad inducida con productos químicos. Los productos químicos utilizados en la protección de las maderas tienen que ser objeto de cuidadosas investigaciones para proporcionar información tanto de su adecuado empleo como su capacidad preservante de la madera, y ante todo su inocuidad al ambiente y a los organismos vivos; naturalmente esta tarea debe ser complementaria a la efectividad de los químicos y la cantidad que puede usarse hasta alcanzar su umbral de eficiencia.

Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar la durabilidad natural e inducida de las maderas de acacia (*Acacia mangium*), melina (*Gmelina arborea*) y cedro blanco (*Simarouba amara*) mediante impregnación con soluciones hidrosolubles de cobre amoniacal cuaternario (ACQ) y determinar su umbral de eficiencia frente a dos hongos de pudrición marrón *Gloeophyllum trabeum* y *Coniophora puteana* y dos hongos de

putridión blanca *Trametes versicolor* e *Irpex lacteus*, adicionalmente describir los patrones de degradación de los componentes celulares de la madera, causada por los hongos de pudrición sobre las maderas sin tratamiento y con tratamiento preservante.

2. MATERIALES Y METODOS

Las maderas provienen de dos especies maderables de plantaciones de rápido crecimiento: melina (*Gmelina arborea*) de la zona del Sur del Lago Maracaibo y acacia (*Acacia mangium*) de las plantaciones de la empresa DEFORSA del Estado Cojedes en los llanos centrales de Venezuela y una madera del bosque natural de Imataca en el oriente venezolano: simaruba o cedro blanco (*Simaruba amara*).

Los microorganismos degradantes fueron dos hongos xilófagos de pudrición marrón: *Coniophora puteana* y *Gloeophyllum trabeum* (Pers.: Fr.) y dos hongos xilófagos de pudrición blanca: *Irpex lacteus* y *Trametes versicolor* de la micoteca del LNPF, Figura 1.

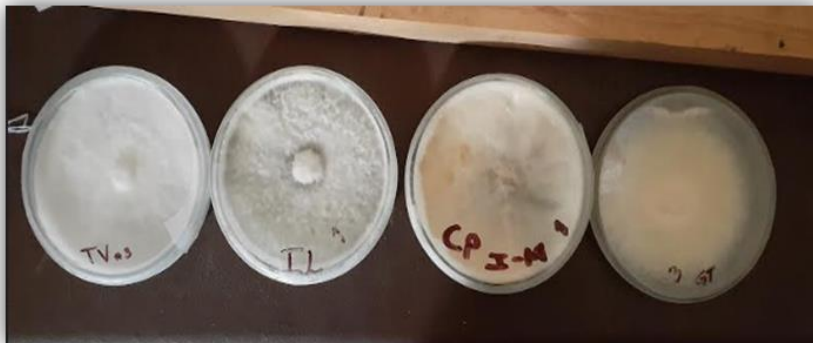


Figura 1. Hongos xilófagos en cápsulas de Petri, *Trametes versicolor*, *Irpex lacteus*, *Coniophora puteana* y *Gloeophyllum trabeum*

Para la preservación de las maderas se utilizó el producto ACQ-D (cobre amoniacal cuaternario) proporcionado por FKR Química de España, como parte de los ensayos que se realizan en conjunto con el LNPF. Se prepararon tres concentraciones: 1 %, 2 % y 3 % con la finalidad de evaluar el efecto de las concentraciones recomendadas por el fabricante y buscando el umbral de eficiencia del producto ante el deterioro biológico ocasionado por los hongos.

Para evaluar la eficacia del ACQ en la protección de las maderas se siguió la Norma ASTM 212 (Soil Block) (2014) que consiste en la inoculación de las maderas con hongos de pudrición estandarizados. El ensayo requiere suelo estéril para el medio del cultivo que fue colectado en las adyacencias del edificio del LNPF, de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales en la ciudad de Mérida, Venezuela. Para los

bloques de alimentación, que facilitan el desarrollo inicial de los hongos, se utilizó madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, pino Caribe, utilizada como patrón en el LNPF para este tipo de ensayos, con dimensiones 3,5 cm x 2 cm x 0,4 cm. Estos bloques

El equipo de preservación utilizado se encuentra en el LNPF y forma parte de las instalaciones semi industriales para preservar la madera por procesos que requieren tanto presión como vacío; los controles son manuales, Figura 2.



Figura 2. Planta semi industrial de preservación de maderas, LNPF

El trabajo se inició con la determinación de las densidades de las maderas ensayadas; luego se procedió a la preservación las probetas de las tres maderas con las tres concentraciones del producto ACQ, realizando las mediciones respectivas para evaluar la cantidad del preservante retenido en cada caso por las maderas mediante la medición de la absorción, retención y penetración del preservante en las maderas. Se procedió a la determinación del umbral de eficacia de la preservación, completando con la descripción de los patrones de degradación que siguen los hongos en el proceso de degradación de la madera.

El diseño experimental adoptado consideró como variable dependiente la pérdida de peso y como variables independientes los tres niveles de concentración de ACQ (1 %, 2 %, 3 %) más los testigos, las cuatro especies de hongos y los tres períodos de incubación (mes 1, mes 2, mes 3). Se consideraron tres replicaciones en un diseño factorial sin reposición. El procesamiento de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS 20.

2.1. Las especies forestales utilizadas en el ensayo

Acacia mangium Willd., acacia. Es una especie autóctona del noroeste de Australia, Papúa Nueva-Guinea y el este de Indonesia. En América central se conoce como mangium y en Venezuela y otros países como acacia. Es un árbol que en su hábitat

natural alcanza 25 a 30 m de altura y hasta 90 cm de DAP; de fuste recto y libre de ramas hasta las dos terceras partes de su altura. Como especie heliófila, crece sobre gran diversidad de condiciones de suelos, incluyendo los muy ácidos; regenera prolíferamente en sitios abandonados, o después de disturbios fuertes como incendios. Es una especie de crecimiento rápido, y crece muy bien en las condiciones de bosque húmedo y muy húmedo tropical; sobre todo en zonas más bajas, de topografía plana (CATIE, 1992). La madera presenta un duramen de color marrón y a menudo atractivamente rayado, la albura es amarillenta definitivamente demarcada del duramen. Con densidad cercana a $0,500 \text{ g/cm}^3$, es de fácil secado y buena trabajabilidad y por su gran belleza y finos acabados, es utilizada para muebles, fabricación de armarios, construcción ligera o pesada, molduras, postes, paneles, maderas mineras, construcción de barcos entre otros (CIFOR, 2011). En Venezuela se conoce que las empresas DEFORSA, Maderas del Orinoco, MASISA y otros pequeños emprendimientos tienen ensayos para determinar tanto el crecimiento como el rendimiento y las aptitudes tecnológicas que adquiera en suelos variados.

Gmelina arborea Roxb., melina. Originaria de la India y del Sudeste de Asia introducida en África y centro y sur América. Árbol grande, decíduo, de tronco recto y copa ancha; ramitas y partes jóvenes cubiertas de una pubescencia fina, blanca y farinosa; corteza cenicienta, lisa en los ejemplares jóvenes; ramas numerosas, que se extienden en todas direcciones (López, 1977). Se reconoce como una especie maderable con un crecimiento extraordinariamente rápido. En condiciones verdes la albura generalmente se distingue del duramen y en condición seca, no se presenta variación significativa de color; cuando la madera se seca incorrectamente puede mancharse y tomar un color grisáceo a café grisáceo (González y Serrano, 2004). Con densidad seca al aire de $0,510 \text{ g/cm}^3$ (González y Serrano, 2004), la madera de melina se utiliza para carpintería, componentes de muebles, tableros contrachapados de utilidad general, pulpa y productos de papel, tableros de partículas, fósforos, objetos torneados y tallados y zapatos de plataforma tipo “zuecos”. En Venezuela existen varias plantaciones de diferentes tamaños tanto en los llanos occidentales como en el oriente del país y el sur del lago de Maracaibo.

Simarouba amara Aubl., amara, marupa o cedro blanco. Árbol neotropical, que se encuentra en bosques húmedos de tierras bajas de la parte alta de Mesoamérica (Honduras, Nicaragua), en todo el borde inferior de la cuenca del Amazonas (Bolivia y Perú), hacia el este de la Guayana Francesa. Crece hasta 35 m de altura con un diámetro máximo a la altura del pecho (DAP) de 70 cm (Hardesty *et al.*, 2005). Con densidad seca al aire de $0,369 \text{ g/cm}^3$ (Metcalf y Chalk, 1957) esta madera tiene valor en la industria de aserrío y elaboración de papel; también puede utilizarse para la elaboración de chapas de madera, construcciones temporales y livianas, cajonería, muebles pintados, construcción de gavetas, tacos de zapatos, molduras, alma de muebles, palos de fósforos, chapas, madera contrachapada, instrumentos musicales (Delgado y Couturier 2008).

2.2. Los hongos utilizados en el ensayo

Trametes versicolor (L.: Fr.) Pilal, es un hongo de pudrición blanca que ocurre en árboles en pie o muertos, muy común en troncos y tocones y ocasionalmente en tocones de madera blanda. Observado en astillas de madera para pulpa, en maderas de mina, en traviesas de ferrocarril y en maderas en servicio fuera del contacto con el suelo (Eaton y Hale, 1993). Frecuente en países templados como: Argentina, Uruguay, Norte de Estados Unidos, Sur de Canadá, Gran Bretaña, Francia, Alemania y Nueva Zelanda. Se suele indicar que este hongo es sensible a los preservantes de sales inorgánicas (por ejemplo, Cu, Zn) y menos sensibles a los preservantes con disolventes orgánicos (Kravetz *et al.*, 2018).

Irpex lacteus (Fr.) Fr., hongo de pudrición blanca, presente en madera muerta de numerosos géneros de especies latifoliadas, con frecuencia en las ramas muertas o en los troncos de los árboles muertos en pie (Kravetz *et al.*, 2018).

Gloeophyllum trabeum (Pers.: Fr.) Murr., hongo de pudrición marrón que ocurre en árboles en pie y madera externa, incluidos troncos caídos, tocones, madera en servicio en contacto con tierra o mortero, maderas de techado, carpintería de ventanas, maderas de minas, postes de telégrafo, traviesas de ferrocarril, maderas de puentes, maderas de torres de enfriamiento, barcos de madera, maderas en almacenamiento. Hongo extendido en Australia, Europa, Nueva Zelanda, América del Norte y los estados del sur de África.

Coniophora puteana (Schum.: Fr.) Hongo de pudrición marrón que suele ocurrir en madera al aire libre y edificios de madera, maderas blandas, pero a veces maderas duras, incluidas algunas de las especies más duraderas como el roble (*Quercus* sp) (Eaton y Hale, 1993). Distribuido en Australia, Europa, Reino Unido, Estados Unidos. Sensible a los fungicidas que contienen arsénico y mercurio, pero menos sensible a la creosota de alquitrán de hulla.

2.3. Preservación de las maderas

Se prepararon probetas de 1,9 x 1,9 x 1,9 cm, libres de defectos como nudos, rajaduras o cualquier otro defecto, las cuales fueron cuidadosamente codificadas por especie, concentración del preservante ACQ, tiempo del ensayo y número de probeta, (Figura 3). Se tomó el peso de cada probeta según la codificación para obtener el peso inicial de las probetas (P1).

Para la preservación de las probetas se prepararon tres soluciones conteniendo concentraciones al 1 %, 2 % y 3 % V/V, esto es uno por debajo y uno por encima de la concentración recomendada por el fabricante del producto (Encinas y Molina, 2007). Para cada concentración se emplearon recipientes donde se introdujeron en la solución preservante las probetas. En bandejas especiales se introdujeron en el tanque de preservación aplicando una presión de 10 kg/cm² durante una hora seguido por un período de vacío por espacio de 30 minutos (Método Lowry modificado) para recuperar el exceso de preservante.



Figura 3. Probetas codificadas

Terminado el proceso de preservación, se retiraron las probetas de los recipientes y luego de dejar escurrir la solución preservante se colocaron sobre papel periódico para eliminar el exceso de solución. Se pesaron cuidando la codificación, obteniendo el peso de las probetas preservadas (P2).

La absorción (A) se midió en litros por metro cúbico (l/m³), considerando el volumen y la cantidad del preservante absorbido por cada probeta, determinado por la diferencia entre los pesos antes y después de la preservación, según la fórmula: $A = \frac{P2 - P1}{V}$.

La retención (R) se obtuvo multiplicando la absorción (A) por la concentración (c) del producto, $R = A \times \frac{c}{100}$

La penetración que indica la profundidad que alcanza el producto dentro de la madera, se midió seccionando transversalmente las probetas y rociando una solución de cromo azul 2 %, el cual colorea de azul la sección o porción que contiene la solución preservante.

Tanto las probetas preservadas como las testigos se introdujeron en una estufa a 50 °C hasta peso constante (P_i). Se tomó nota cuidadosamente de estos pesos conforme la codificación establecida. Luego se resguardaron las probetas hasta el momento de su utilización.

2.4. Evaluación de la durabilidad natural y el umbral de eficiencia del preservante (durabilidad inducida)

Se utilizaron frascos de vidrio de 500 ml donde se colocaron 170 g de tierra estéril de las inmediaciones del laboratorio, previamente cernida, inmediatamente se humedeció el suelo con agua destilada y los frascos junto con el suelo, fueron llevados

al autoclave para su esterilización.

Inoculación de los hongos en los frascos

Para esta etapa del experimento se empleó la campana de flujo laminar disponible en el LNPF. Una vez listas las probetas, preservadas y testigos, se replicaron los hongos para disponer de suficiente material y al mismo tiempo se prepararon los bloques de alimentación, puesto que el método exige que los hongos de pudrición deben haberse desarrollado inicialmente sobre la superficie de pequeñas piezas con medidas de 3,5 cm x 2 cm x 0,4 cm de madera de pino Caribe, madera estandarizada para estudios similares en el LNPF.

Antes de la inoculación de los hongos en los frascos se realizó la inoculación del cultivo patrón en cápsulas, del cual se separaron con un tubo sacabocados de 10 mm de diámetro, los inóculos de los cultivos a replicar. Se esterilizó una aguja en el mechero de alcohol para retirar un inóculo de la cepa suministrada y trasladar hasta el centro de la placa Petri previamente preparada con malta-agar, se cubrió con parafilm y fueron llevados al cuarto de acondicionamiento para su desarrollo.

Siempre en la campana de flujo laminar y, en condiciones asépticas, se colocaron dos bloques de alimentación esterilizados en cada frasco conteniendo el suelo esterilizado. Con la ayuda de una aguja previamente esterilizada y flameada por mechero, se extrajo de cada cápsula de Petri correspondiente a cada hongo ensayado, una porción de cerca de 0,5 cm de diámetro con un sacabocados y se colocó encima de cada bloque de alimentación.

Los frascos que contenían la tierra y los bloques de alimentación con los hongos se llevaron al cuarto de acondicionamiento controlando la temperatura y la humedad relativa (25 °C y 75 %) hasta que los hongos cubrieron totalmente el bloque de alimentación (Figura 4).

Inoculación de las probetas con los hongos

Una vez cubierto totalmente el bloque de alimentación por el hongo, siempre bajo la campana de flujo laminar, se introdujeron las probetas previamente esterilizadas y pesadas (Pi), colocando dos probetas en cada frasco, atendiendo a la codificación que diferencia las especies y las concentraciones y testigos. Se taparon los frascos y sellaron con parafilm para llevarlos nuevamente al cuarto de acondicionamiento regulado a 25 °C y 75 % de humedad relativa, por un periodo de 3 meses (Figura 5).



Figura 4. Hongos cubriendo el bloque de alimentación



Figura 5. Frascos con las probetas en cuarto de acondicionamiento.

Finalizando cada mes de establecido el ensayo, las probetas fueron extraídas de los frascos, removiendo cuidadosamente el micelio con un cepillo, se pesaron y se llevaron a estufa a una temperatura de 60 °C, hasta obtener su peso constante, peso final (Pf). La pérdida de peso ocasionada por cada tipo de hongo y en cada madera al cabo del mes de incubación, se calculó utilizando la fórmula:

$$PP \% = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100$$

Donde:

PP % = Pérdida de peso porcentual

Pi= Peso seco al horno antes de introducir las probetas en el frasco.

Pf= Peso seco al horno después de introducir las probetas en el frasco.

2.5. Determinación de los patrones de degradación de los 4 hongos utilizados

Al cabo de cada mes, atendiendo la codificación por meses, madera y hongos, se tomaron probetas para describir los patrones de degradación de los hongos sobre las maderas. Para el efecto se realizaron cortes micrométricos utilizando una hojilla. Coloreada la muestra con safranina fueron observadas mediante el microscopio de luz, describiendo los patrones de ataque ayudándose con microfotografías.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Densidad y características anatómicas de las maderas

En la absorción del preservante por la madera, la densidad y el conocimiento de la estructura anatómica de la madera pueden indicar el comportamiento del preservante en la madera. Sotomayor-Castellanos y Ramirez-Perez (2013) indican la potencial capacidad de absorber líquidos (higroscopía de la madera) que es inversamente proporcional a su densidad. Esta propiedad de la madera también está relacionada con las características de la porosidad y posibles contenidos en la misma (Plotze y Niemz, 2011).

La madera de *S. amara* contiene poros grandes, con paredes delgadas y pequeñas pero numerosos espacios intercelulares Figura 6, esta característica determina su relativamente baja densidad y consecuente mejor capacidad de absorción.

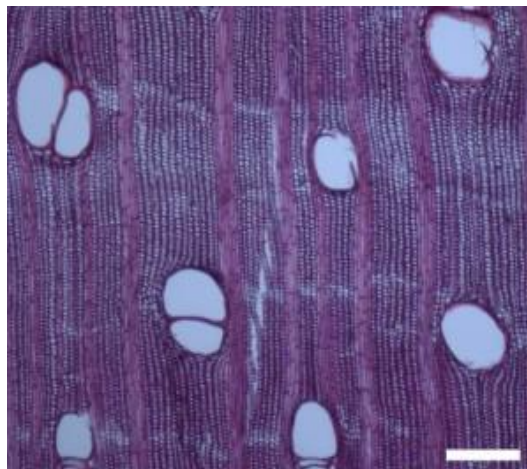


Figura 6. Vista microscópica de un corte transversal de la madera de *S. amara*. Línea de escala = 10 micras.

En el duramen de la madera de *G. arborea* se observan poros más pequeños que los de la madera de *S. amara*, rodeados por parénquima paratraqueal escaso; tiene una

pared celular delgada y abundante tñide en sus poros, lo cual indica que puede ser un limitante para que los productos preservantes puedan penetrar en la madera, Figura 7.

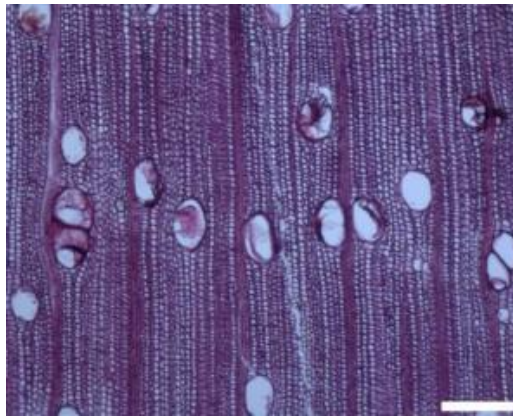


Figura 7. Vista microscópica de un corte transversal de la madera de *G. arborea*. Línea de escala = 10 micras.

El duramen de la madera de *A. mangium* contiene poros de diámetro pequeño que se relacionan con su mediana densidad; contienen abundante goma que indican algunas limitaciones en la absorción de preservantes empleados para su protección, Figura 8.

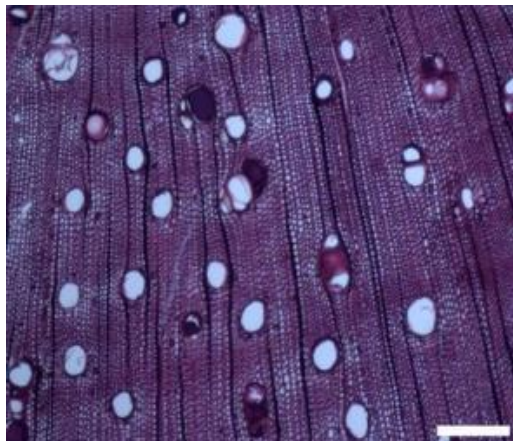


Figura 8. Vista microscópica de un corte transversal de la madera *A. mangium*. Línea de escala = 10 micras.

Las maderas, secas al aire (12 % de contenido de humedad) de *A. mangium* y *G. arborea* tienen densidad media y *S. amara* tiene densidad baja, Cuadro 1.

Cuadro 1. Densidad de las maderas al 12 % de contenido de humedad

Especies	Densidad (g/cm ³)	CV %
<i>A. mangium</i>	0,53 (0,40 - 0,65)	12,33
<i>S. amara</i>	0,33 (0,29 - 0,36)	9,87
<i>G. arborea</i>	0,51 (0,45 - 0,57)	11,20

3.2. Absorción, retención y penetración de ACQ en las maderas

La madera con el máximo valor de absorción resultó ser *S. amara* con 482,664 L/m³ con una variabilidad en los datos obtenidos de 18,89 %, seguida por *G. arborea* y *A. mangium* con 260,138 L/m³ y 258,212 L/m³, y coeficientes de variación entre 25,33 % y 6,85 %; los valores de absorción más heterogéneos se observan en la madera de *G. arborea*. Cuadro 2.

Cuadro 2. Absorción de las maderas de *A. mangium*, *S. amara* y *G. arborea*.

Especie	Media	N	CV
<i>A. mangium</i>	258,21	144	18,89 %
<i>S. amara</i>	482,66	144	6,85 %
<i>G. arborea</i>	260,13	144	25,33 %

La mayor absorción obtenida por *S. amara* puede deberse a que tiene espacios vacíos más grandes que las otras especies; se puede calificar como madera con Alta Absorción, Categoría I según la Clasificación propuesta por la JUNAC (1998), Cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación según la capacidad de absorción (JUNAC, 1998)

Absorción	Categoría	Absorción L/m ³
Alta absorción	I	> de 200
Buena absorción	II	150 a 200
Mala absorción	III	100 a 149
Nula absorción		< de 100

La madera de *G. arborea* absorbió 260,138 L/m³ a pesar de que se observó cierta cantidad de tilde en sus poros que obstruye en diferente grado la penetración del preservante. De igual manera se puede indicar que es una madera con Alta absorción.

La madera de *A. mangium* obtuvo un valor más bajo de absorción en comparación con las otras dos maderas estudiadas, lo que puede atribuirse a que están presentes poros de diámetro pequeño y muchos están llenos de goma, características que permite limitada absorción de esta madera (258,21 L/m³); de todos modos, se clasifica como una madera de Alta absorción por lo que se encuentra también en la Categoría I.

Las absorciones están diferenciadas estadísticamente en los tres tipos de maderas estudiadas, siendo *S. amara* la madera que absorbe prácticamente el doble que las otras

dos maderas, por lo que es posible formar dos subconjuntos homogéneos (Prueba de Tukey al 5 %): el primero conformado por *A. mangium* y *G. arborea* con medias de absorción entre 258,21 kg/m³ y 260,13 kg/m³, y el segundo grupo formado por *S. amara* con una media de 482,66 kg/m³, Cuadro 4.

Cuadro 4. Subconjuntos homogéneos formados por las medias de absorción en las maderas (DHS de Tukey, $\alpha = 0,05$)

Especie	N	Subconjunto	
		1	2
<i>A. mangium</i>	144	258,21	
<i>G. arborea</i>	144	260,13	
<i>S. amara</i>	144		482,66

La retención, por ser una función de la absorción, está determinada por la concentración de los ingredientes activos del producto y naturalmente por el producto preservante, en este caso ACQ. La consideración de la retención es sumamente importante particularmente cuando se toman en cuenta las condiciones del sitio donde prestarán servicio las maderas preservadas; en general, como indicativo se aceptan los valores recomendados por la AWWPA (American Wood Preserver's Association, 2014) que recomienda que la retención de los productos hidrosolubles debe ser de 4,0 kg/m³ para maderas en condiciones de uso sobre el suelo, 6,4 kg/m³ para madera no estructural en contacto con el suelo y 9,6 kg/m³ para maderas expuestas al agua.

En el presente trabajo, la madera de *S. amara* presenta un valor de retención de 9,87 kg/m³ (CV 46,09 %) consecuente con los valores altos de absorción, seguida por *G. arborea* y *A. mangium*, con medias de 5,45 kg/m³ y 5,43 kg/m³ (CV de 56,6 9% y 60,26 % respectivamente); estas dos últimas especies conforman un solo grupo de valores de retención, Cuadro 5.

Cuadro 5. Subconjuntos homogéneos formados por las medias de retención en las maderas (DHS de Tukey, $\alpha = 0,05$).

Especie	N	Subconjunto	
		1	2
<i>A. mangium</i>	144	5,43	
<i>G. arborea</i>	144	5,45	
<i>S. amara</i>	144		9,87

3.3. Evaluación de la penetración

Las maderas de acacia y melina permiten penetración total irregular (Cuadro 10); la madera de cedro blanco presenta una penetración Total regular, observado por la coloración azulada, efecto del cromoazuro, más intensa en las maderas preservadas con mayor concentración de Cu 3 %, ubicadas en la parte superior de la Figura 9.



Figura 9. Penetración del preservante ACQ al 1 %, 2 % y 3 % en las maderas de acacia (*A. mangium*), cedro blanco (*S. amara*) y melina (*G. arborea*)

3.4. Durabilidad natural. Pérdida de peso de las maderas sin tratamiento

La madera de *A. mangium* en su estado natural (sin preservar) tuvo variadas pérdidas de peso, según la acción del hongo y el período de incubación; a los tres meses con el hongo de pudrición blanca *T. versicolor* la pérdida de peso fue de 30,79 %, el hongo de la pudrición marrón *G. trabeum* origina pérdidas de peso de 26,55 %; *C. puteana* origina pérdidas de peso de 22,48 %, *I. lacteus* origina pérdidas de peso de 20,17 %, Figura 10

La pérdida de peso causada por *T. versicolor* en las maderas sin preservar, 30,79 %, es similar a la obtenida por González (2015) que estudió la durabilidad natural de *A. mangium* reportando pérdida de peso de 31,32 % pero utilizando el método de Agar/block después de 4 meses; tal vez debido al método utilizado con el hongo *G. trabeum*, la pérdida de peso 26,55 % obtenida en el presente trabajo, difiere notablemente al reportado por el autor de 14,46 % para *A. mangium*.

Santander Vásquez (2007) presenta resultados diferentes a los obtenidos en este estudio con la madera de acacia, pero este autor trabajó con otra especie; *Acacia melanoxylon* mismo género, pero diferente especie, proveniente de plantaciones de la Universidad Austral de Chile; el hongo *G. trabeum* ocasionó una pérdida de peso de 45 %; en el presente estudio se obtuvo pérdida de peso de 26,55 % con el mismo hongo, pero con *A. mangium*.

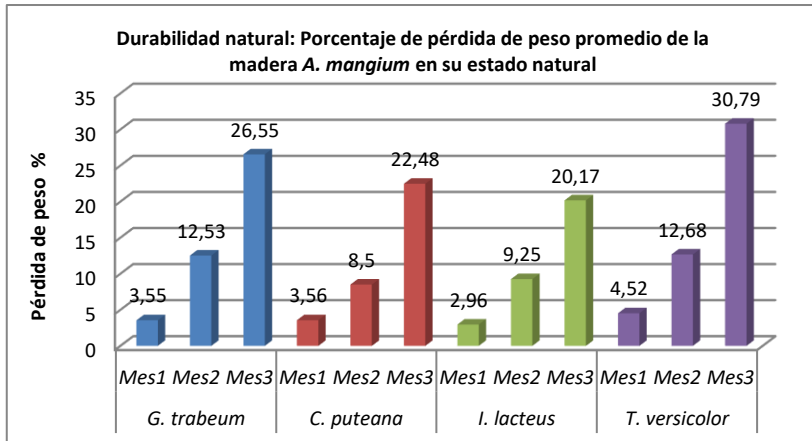


Figura 10. Pérdida de peso de *A. mangium* en su estado natural

En la madera de *S. amara* en su estado natural, se observa mayor pérdida de peso que en *A. mangium*; en el mes tres, el hongo de pudrición blanca *T. versicolor* fue el que causó mayor degradación a la madera con una media de 42,80 %, seguido por *G. trabeum* hongo de pudrición marrón con una media de 38,21 %; los hongos *I. lacteus* y *C. puteana* causaron pérdidas de peso de 25,96 % y 16,65 %, Figura 11.

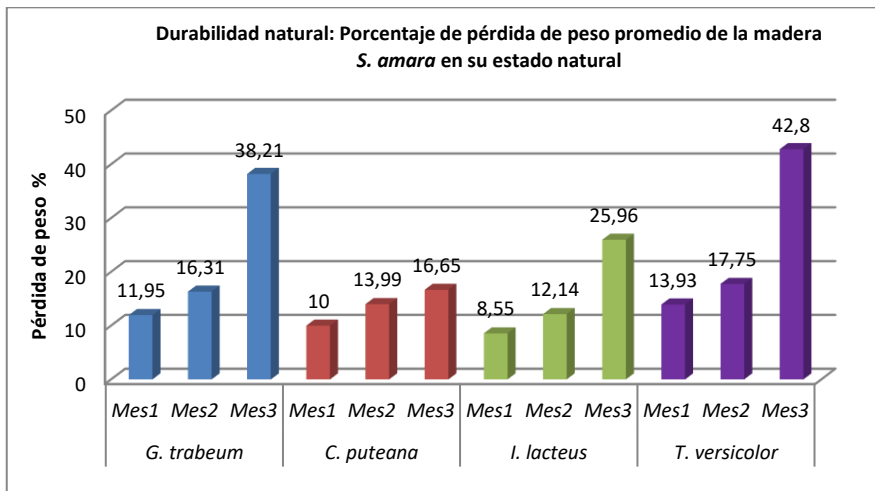


Figura 11. Pérdida de peso de *S. amara* en su estado natural

Los resultados obtenidos se asemejan a los obtenidos por (Ramos León, 2014) determinando la durabilidad natural en condiciones de laboratorio de la misma especie frente a la acción del hongo *Schizophyllum commune*, hongo de pudrición blanca, con pérdida de peso en *S. amara* de 30 %, calificando la especie como no durable o fácil de degradar frente a este tipo de hongo.

González (2009) estudió la durabilidad natural de 53 especies forestales de Yurimagua, Perú, frente a hongos xilófagos, incluida *S. amara* con pérdidas promedio de 28 % clasificando a la madera como no resistente frente a hongos xilófagos. González y Ameas de Icocheas (1981) evaluaron la pudrición de la madera de diez especies forestales por la acción de cinco hongos xilófagos, la madera de *S. amara* tuvo una pérdida de peso de 56,80 % en el último mes del experimento, la de menor resistencia natural de las especies estudiadas.

Las pérdidas de peso en *G. arborea* en su estado natural se presentan en la Figura 12. En el tercer mes de incubación los hongos de pudrición blanca fueron los que causaron la mayor pérdida: *T. versicolor* e *I. lacteus* originaron pérdidas de 36,35 % y 29,30 %, mientras que los hongos de pudrición marrón *C. puteana* y *G. trabeum* provocaron menores pérdidas de peso, con medias de 21,95 % y 18,82 % respectivamente.

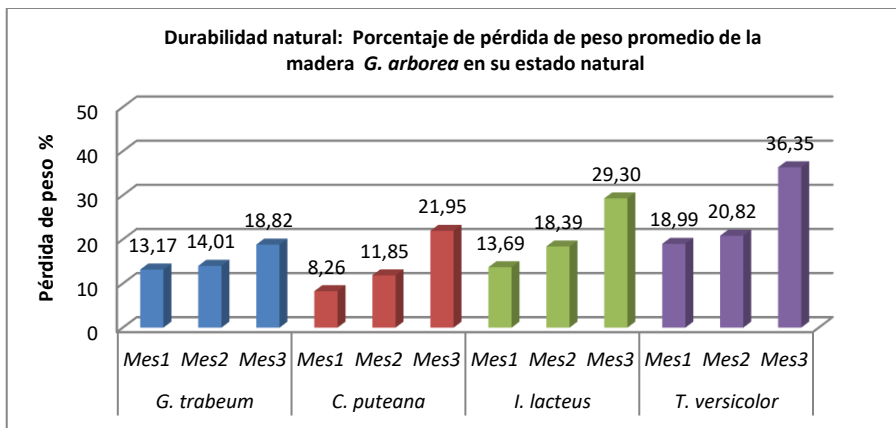


Figura 12. Pérdida de peso de *G. arborea* en su estado natural.

La pérdida de peso por *T. versicolor* es 36,35 % en *G. arborea* fue menor que las reportadas por Fallas Valverde (2015) que estudió la durabilidad de la madera termo-tratada de *Gmelina arborea* a cinco diferentes temperaturas, por medio de ensayos acelerados de laboratorio; el hongo *Trametes versicolor* provocó en las maderas testigos pérdidas de 55 % luego de 16 semanas de incubación. Las maderas termo tratadas con 180 °C y 220 °C de temperatura ocasionaron pérdidas de peso de 47 % y 20 %.

Como era de esperar, la mayor pérdida de peso ocurrió en el tercer mes (último mes de incubación de los hongos; en general, estadísticamente, las pérdidas de peso ocasionadas por los cuatro hongos en las tres especies muestran diferencias altamente significativas de pérdidas de peso en las especies, así como en la interacción hongos y tiempo de incubación.

La durabilidad natural de las maderas varía entre las especies según el hongo ensayado: tomando las pérdidas de peso al cabo de tres meses de incubación; la

madera de *S. amara* es la que tiene mejor durabilidad natural frente a *C. puteana* mientras que *G. arborea* tiene la mejor durabilidad frente a *I. lacteus* y *G. arborea* tiene mejor durabilidad natural frente a *G. trabeum*.

3.5. Clasificación de las maderas según durabilidad natural, pérdidas de peso, por la Norma ASTM y el Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas

Las propuestas de clasificaciones de las especies en cuanto a su durabilidad se basan en la pérdida de peso ocasionada por los agentes destructores de la madera. Sin embargo, hay diferencias entre los sistemas de clasificación de la ASTM y la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1988); la primera se relaciona con las maderas en general en cualquier condición de servicio y usualmente se refiere a maderas de países templados, aunque no descarta maderas de otras regiones. La de la JUNAC se refiere a las pérdidas de peso en ensayos al aire libre, o sea en contacto con suelo y agua y se refiere particularmente a las condiciones en los países miembros de la JUNAC.

A falta de normas nacionales y sin considerar aspectos propios de las metodologías empleadas, en el Cuadro 6 se presenta una clasificación relativa de las maderas ensayadas en cuanto a su durabilidad natural frente a los hongos ensayados, considerando la Norma ASTM D-2017 - 1986; las especies ensayadas tienen una durabilidad natural de resistente a moderadamente resistente, frente a los cuatro hongos ensayados. Considerando la propuesta del Grupo Andino, deberán considerarse como maderas con durabilidad baja, muy poco resistentes a no resistentes, Cuadro 7.

Cuadro 6. Clasificación de las maderas sin tratamiento, estado natural, según la Norma (ASTM D-2017, 1986).

Especie maderable	Hongos de pudrición	Pérdida de peso			
		0- 10 % Altamente resistente	11- 24 % Resistente	25- 44 % Moderadamente resistente	> 45 % No resistente
<i>A. mangium</i>	<i>G. trabeum</i>			26,55	
	<i>C. puteana</i>		22,48		
	<i>I. lacteus</i>		20,17		
	<i>T. versicolor</i>			30,79	
<i>G. arborea</i>	<i>G. trabeum</i>		18,82		
	<i>C. puteana</i>		21,95		
	<i>I. lacteus</i>			29,30	
	<i>T. versicolor</i>			36,35	
<i>S. amara</i>	<i>G. trabeum</i>			38,21	
	<i>C. puteana</i>		16,65		
	<i>I. lacteus</i>			25,96	
	<i>T. versicolor</i>			42,80	

Cuadro 7. Clasificación de la madera sin tratamiento, estado natural, según el Manual Del Grupo Andino Para La Preservación De La Madera (basada en la duración de la madera en uso exterior)

Especie maderable	Hongos de pudrición	Pérdida de peso				
		0- 1 % Altamente resistente	1-5 % Resistente	5- 10 % Moderadamente resistente	10-30 % Muy poco resistente	>30 % No resistente
A.						
<i>mangium</i>	<i>G. trabeum</i>				26,55	
	<i>C. puteana</i>				22,48	
	<i>I. lacteus</i>				20,17	
	<i>T. versicolor</i>					30,79
<i>arborea</i>	<i>G. trabeum</i>				18,82	
	<i>C. puteana</i>				21,95	
	<i>I. lacteus</i>				29,30	
	<i>T. versicolor</i>					36,35
<i>amara</i>	<i>G. trabeum</i>					38,21
	<i>C. puteana</i>				16,65	
	<i>I. lacteus</i>				25,96	
	<i>T. versicolor</i>					42,8

3.6. Durabilidad inducida. Pérdidas de peso de las maderas preservadas

El preservante ACQ mejora notablemente la durabilidad natural de las maderas ensayadas; cuanto mayor es la concentración del preservante empleado es menor la pérdida de peso originada por los hongos ensayados.

En la madera de *A. mangium* al tercer mes de incubación con *T. versicolor* se reducen las pérdidas de peso a 5,08 %, 4,92 y 4,12 %, *G. trabeum* origina pérdidas de 4,21 %, 4,18 %, 3,64 %, *C. puteana* pérdidas de 4,25 %, 2,78 %, 2,33 % y en *I. Lacteus* las pérdidas de peso son de 5,68 %, 4,67 %, 2,29 %, siempre considerando las tres concentraciones ensayadas (1 %, 2 % y 3 %), Figura 13.

Con la madera de *S. amara*, al tercer mes de incubación *T. versicolor* en las maderas con concentraciones C1, C2, C3 causó pérdidas de 8,18 %, 5,95 %, 4,75 %, *G. trabeum* en las maderas con C1, C2, C3 provocó pérdida de 8,23 %, 5,91 %, 3,48 %, *I. lacteus* en las maderas con C1, C2, C3 causó pérdidas de 6,78 %, 5,67 %, 3,17 % y *C. puteana* en las maderas con C1, C2, C3 provocó pérdidas de 3,67 %, 2,06 %, 3,12 %, Figura 14.

En la madera de *G. arborea* en el tercer mes de incubación se observan pérdidas de peso por la acción del hongo de pudrición blanca *T. versicolor* en las maderas con C1, C2, C3, de 6,67 %, 6,53 %, 2,78 %, seguido de *I. lacteus* en las maderas con C1, C2, C3, que provocó pérdidas de 6,39 %, 5,52 %, 1,89 %. Los hongos de pudrición marrón causaron los valores de pérdidas más bajos al finalizar el ensayo, *C. puteana* inoculado

en maderas con C1, C2, C3, provocó pérdidas de 4,36 %, 4,18 %, 1,45 %, mientras que *G. trabeum* en las maderas con C1, C2, C3, causó pérdidas de 5,12 %, 5,12 %, 1,28 %, Figura 15.

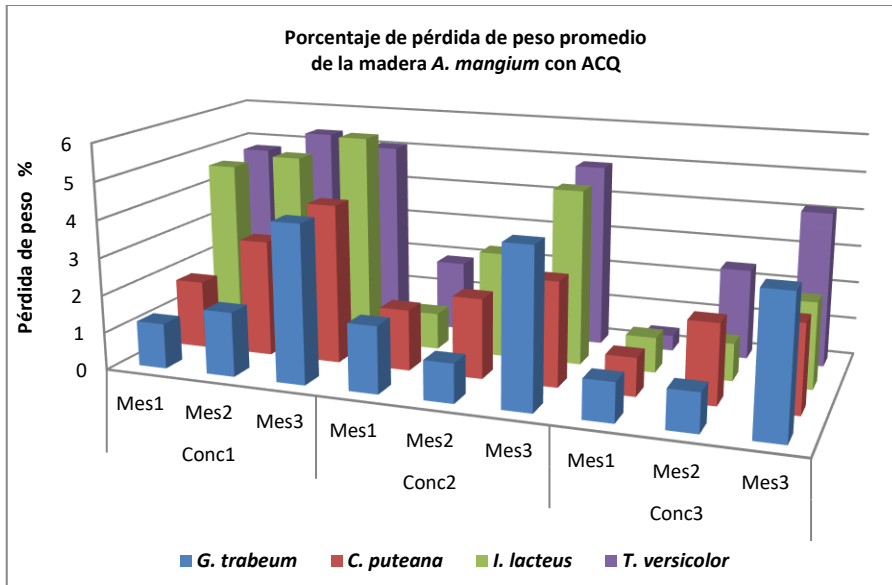


Figura 13. Pérdidas de peso en porcentaje de la madera *A. mangium* preservada con ACQ

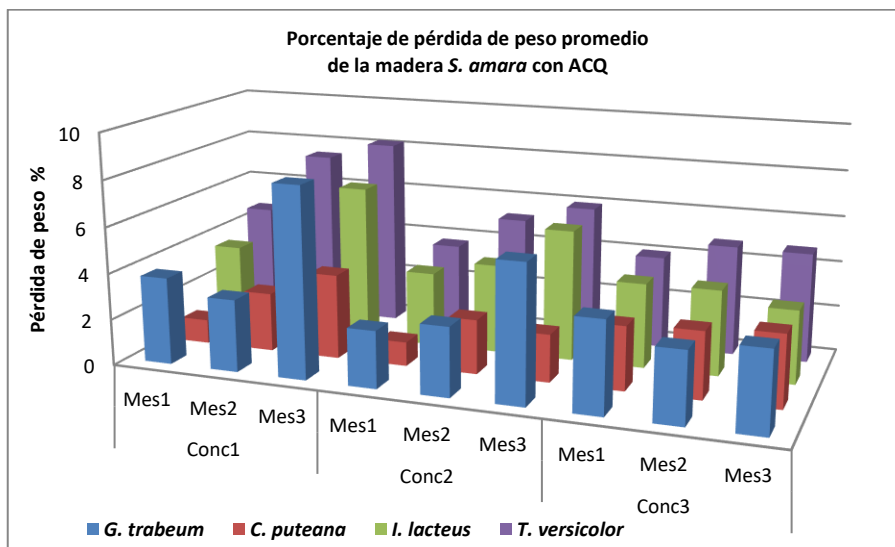


Figura 14. Pérdidas de peso en porcentaje la madera *S. amara* preservada con ACQ

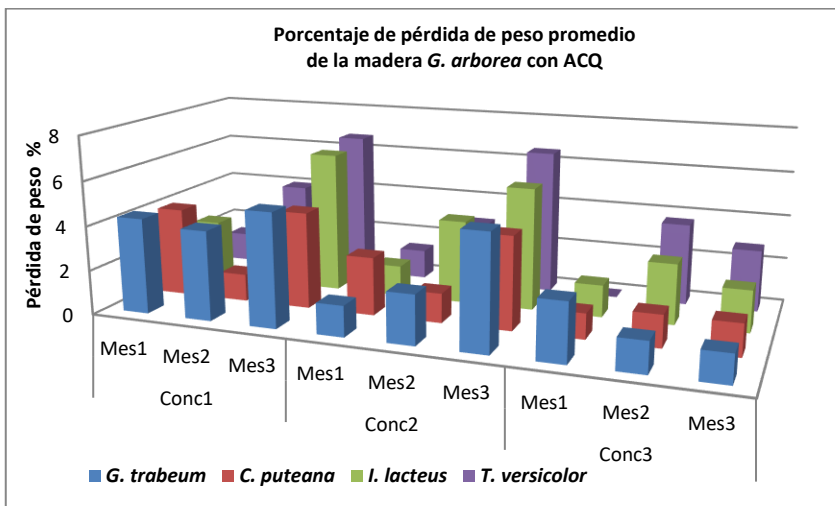


Figura 15. Pérdidas de peso en porcentaje la madera *G. arborea* preservada con ACQ.

Los análisis estadísticos para las pérdidas de peso de las maderas llevan a concluir que las diferencias en pérdidas de peso son altamente significativas entre las maderas en su estado natural y en la madera preservada con ACQ, con todas las concentraciones ensayadas.

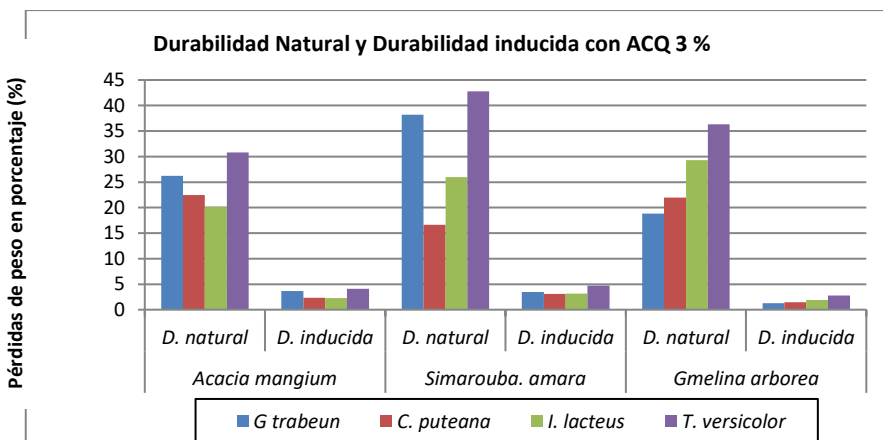


Figura 16. Comparación entre la Durabilidad Natural y Durabilidad inducida con ACQ 3 % de las maderas de *A. mangium*, *S. amara* y *G. arborea*

El efecto de la concentración sugerida por los proveedores, del 2 %, resulta ser suficiente e inclusive la menor concentración del 1 % resulta suficiente para minimizar

la degradación de las maderas ensayadas por los tres hongos ensayados. En la Figura 16 se presentan gráficamente las diferencias que existen en la pérdida de peso entre las maderas en su estado natural y las maderas preservadas con ACQ, maderas con durabilidad inducida.

3.7. Patrones de degradación de los hongos ensayados sobre las maderas

Los patrones de degradación de la pared celular de las maderas ensayadas con visible degradación por los hongos ensayados fueron determinados analizando cortes realizados con hojillas de afeitar en las probetas en el sentido transversal de las fibras. Estos cortes coloreados con rojo de metilo fueron observados con auxilio de microscopio de luz.

Madera de *Acacia mangium*

En las probetas preservadas con ACQ los patrones de degradación que siguen los hongos depende del tipo de hongo ensayado y del tiempo transcurrido desde su inoculación; así, en las probetas de la madera de acacia expuestas al hongo de pudrición marrón *G. trabeum* se observó que el crecimiento miceliar cubrió toda la superficie de la probeta, muy semejante al observado en las probetas testigo sin tratamiento. Este crecimiento miceliar presenta una textura algodonosa de color amarillento (Figura 17).



Figura 17. Crecimiento miceliar de *G. trabeum* sobre *A. mangium*, en probeta sin preservar en el tercer mes de incubación

Así, la degradación se hace evidente a partir del primer mes, mostrando un ataque incipiente del hongo en forma de erosiones leves de la pared celular, Figura 18 A. Al tercer mes fue posible diferenciar la degradación en las maderas sin tratamiento, observando degradación parcial de la pared celular y fisuras o grietas dentro de las paredes siguiendo la orientación de las microfibrillas en la capa S2, originando su parcial deformación, Figura 18 B.

La madera de *A. mangium* atacada por el hongo *C. Puteana* muestra al tercer mes de inoculada erosión de la pared celular y pérdida de su forma original, Figura 19.

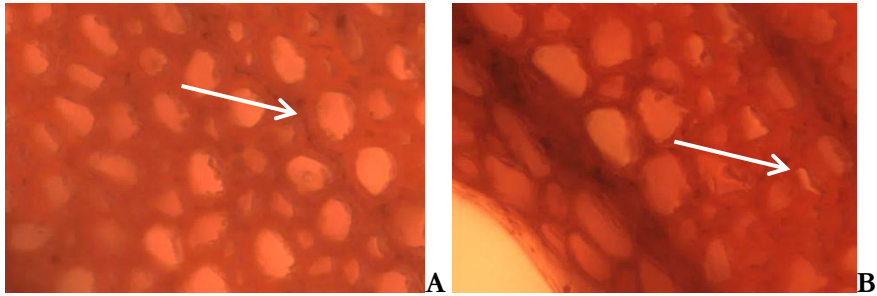


Figura 18. Madera de *A. mangium* inoculada con *G. trabeum* A) Erosión de las paredes de los elementos celulares B) Deformación de la pared celular notoriamente visible en el tercer mes de incubación

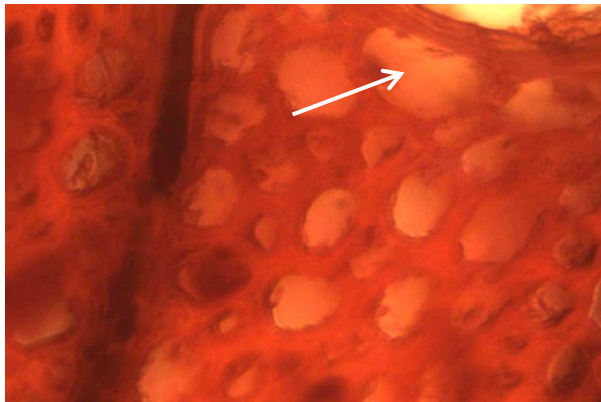


Figura 19. Madera de *A. mangium* al tercer de inoculada con *C. puteana* mostrando erosión de la pared celular y pérdida de su forma original

Con el hongo de pudrición blanca *T. versicolor* al tercer mes de evaluación, el micelio cubre totalmente la madera testigo (sin preservante), Figura 20 y al ser observada al microscopio se puede notar presencia del hongo en los radios y en los vasos, típico de una pudrición simultánea, donde el hongo avanza desde la capa S₃ hacia la capa S₂ de la pared celular, removiendo la lignina y degradándola completamente, Figura 21.

El hongo de pudrición blanca *I. lacteus*, provocó en las probetas sin tratamiento pudrición selectiva, con erosión de la pared celular desde el lumen hacia la lámina media, lo que causa adelgazamiento de la célula (Figura 22).



Figura 20. Crecimiento micelial de *T. versicolor* sobre *A. mangium*, en probeta sin preservar del tercer mes de incubación

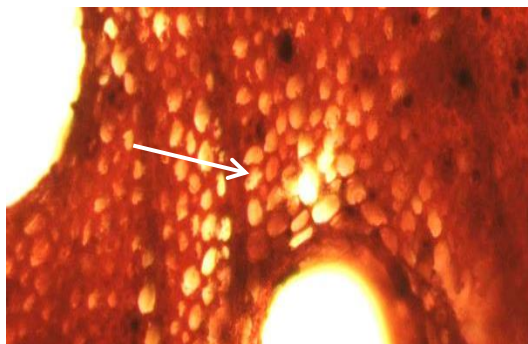


Figura 21. Madera *A. mangium* inoculada con *T. versicolor*, Pudrición blanca simultánea en células con paredes erosionadas y fractura total de la lámina media

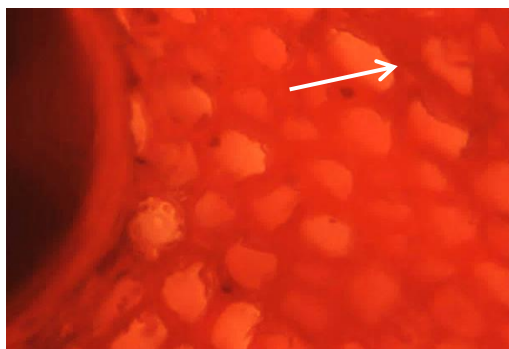


Figura 22. Madera *A. mangium* inoculada con *I. lacteus* Pudrición blanca selectiva, ataque sobre la lámina media el cual origina la separación de las célula

Madera de *Simaruba amara*

En la madera de *S. amara* inoculada con el hongo de pudrición marrón *G. trabeum* tanto en las probetas testigos como en las probetas preservadas se observa cómo el micelio cubre toda la superficie con una capa lanosa delgada (Figura 23) y al remover el micelio se observa un color marrón efecto del ataque de dicho hongo.



Figura 23. Crecimiento micelial de *G. trabeum* sobre madera de *S. amara*, en probeta sin preservar del tercer mes de incubación y mancha marrón causada por el hongo vista después de remover el micelio

Al tercer mes de evaluación en las probetas sin preservante se encontró que las células son uniformemente atacadas por el hongo y se observa presencia de grietas dentro de las paredes: se observa pérdida de la forma original en la célula, Figura 24.

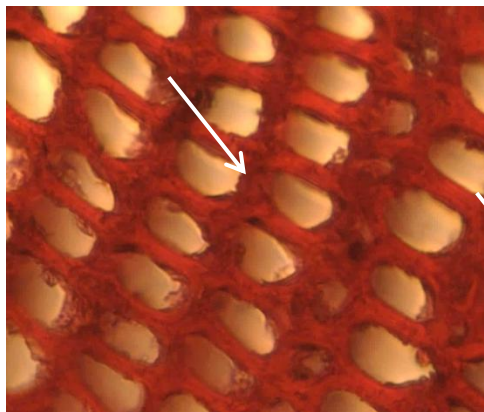


Figura 24. Madera de *S. amara* inoculada con el hongo *G. trabeum*, se observa formación de grietas dentro de la pared celular

Las probetas de la madera de *S. amara* tanto en su forma natural como preservada e inoculadas con el hongo de pudrición blanca *T. versicolor* a finales del segundo mes mostraron crecimiento del micelio en forma abundante con una textura algodonosa, cubriendo totalmente las probetas, Figura 25.



Figura 25. Crecimiento micelial de *T. versicolor* sobre *S. amara*, en probeta sin preservar en el tercer mes de incubación

Microscópicamente se observó tanto en las probetas testigos como en las preservadas presencias de hifas dentro de los vasos durante los dos primeros meses de evaluación Figura 26 A. En el tercer mes las probetas testigos inoculadas con el hongo *T. versicolor* mostraron pudrición de tipo simultánea, en donde a partir de la degradación de la capa S₃ se siguió hacia la capa S₂, removiendo la lignina de la lámina media, provocando su ruptura total Figura 26 B.

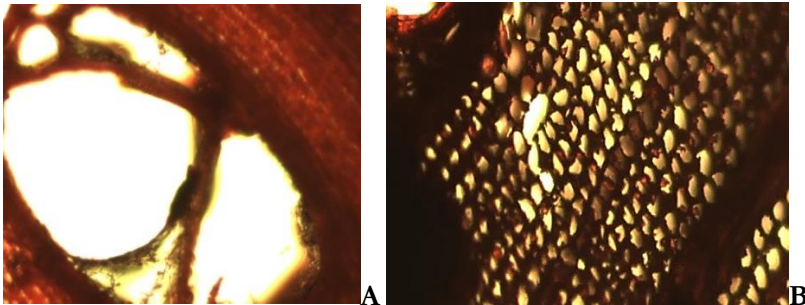


Figura 26. Madera *S. amara* inoculada con *T. versicolor*, A) Hifa del hongo en probetas del primer mes B) Pudrición blanca simultánea, ataque sobre la lámina media el cual origina la separación de las células.

El micelio del hongo de pudrición blanca *I. lacteus* formó una capa esponjosa color blanquecino sobre toda la superficie de la probeta, al ser un hongo de crecimiento rápido se comenzó a observar al finalizar el primer mes de evaluación, Figura 27 A. Con la ayuda del microscopio se pudo observar en las maderas sin preservantes que el hongo de pudrición blanca *I. lacteus* causa erosión de la pared celular desde el lumen hacia la lámina media, adelgazando a la célula Figura 27B.

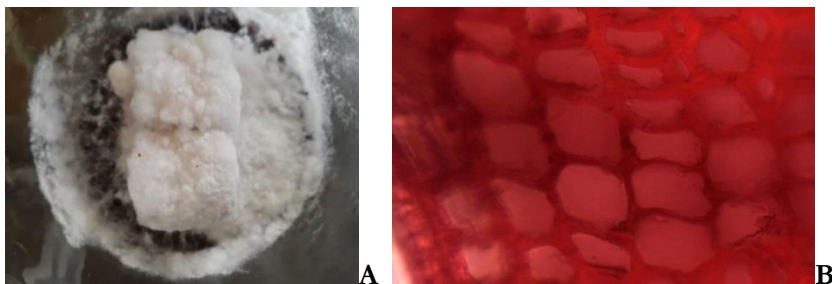


Figura 27. A. Crecimiento micelial de *I. lacteus* sobre *S. amara* en probetas sin preservar del tercer mes de incubación. B. Pudrición blanca simultánea, erosión de la pared celular desde el lumen hacia la lámina media

Madera de *Gmelina arborea*

Las probetas de *G. arborea* tanto en su forma natural como preservadas e inoculadas con el hongo *G. trabeum* en el tercer mes mostraron un desarrollo micelial superficial en el que las muestras se vieron medianamente cubiertas, presentando una textura lanosa, ligeramente densa y de color blancuzco a color crema, Figura 28 A. Observadas microscópicamente las maderas sin preservante presentan deterioro de las células con severa degradación, Figura 28 B.

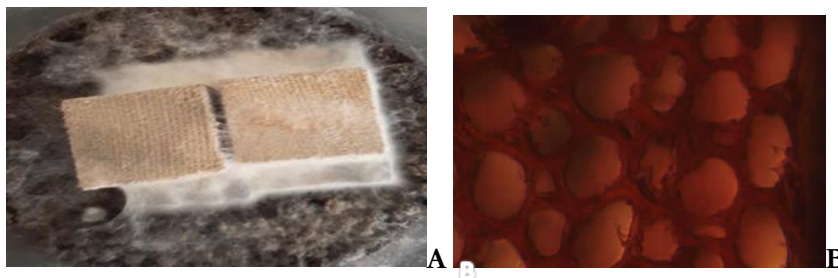


Figura 28. A. Crecimiento micelial de *G. trabeum* sobre *G. arborea*, en probeta sin preservar al tercer mes de incubación. B. Degradación de la pared celular

El hongo de pudrición marrón *C. puteana* al finalizar el tercer mes causa degradación en la mayoría de las células con severo adelgazamiento de las paredes celulares, Figura 29.

El hongo de pudrición blanca *T. versicolor* en la madera de *G. arborea* tanto en su forma natural como preservada cubren toda la madera con el micelio formando una textura blanca algodonosa, Figura 30 A. Al realizar las observaciones microscópicamente en las probetas con preservante se puede observar la presencia de ruptura de algunas células, mientras que en las maderas sin preservante el hongo causó pudrición blanca tipo selectiva, en la cual se evidencia el ataque sobre la lámina media, originando degradación de la pared celular Figura 30 B.

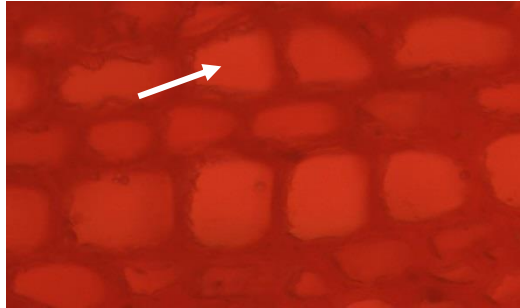


Figura 29. Madera de *G. arborea* inoculadas con el hongo *C. puteana*, pudrición marrón incipiente al finalizar el tercer mes, provocando adelgazamiento de la pared celular

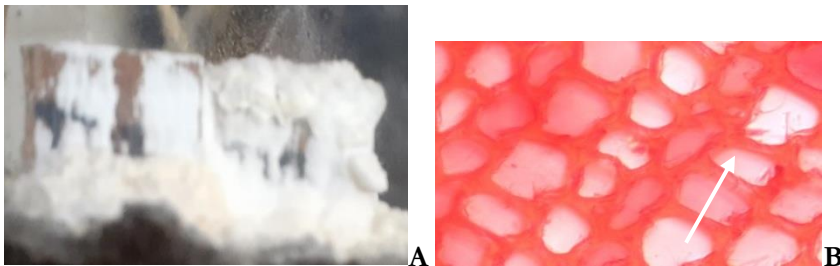


Figura 30. A. Crecimiento miceliar de *T. versicolor* sobre *G. arborea*, en probeta sin preservar en el tercer mes de incubación. B. Erosión de la pared celular con degradación de la lámina media.

El micelio del hongo *I. lacteus* cubrió toda la superficie de las probetas sin preservante y con preservante Figura 31 A; al ser observadas microscópicamente en el tercer mes dicho hongo provocó pudrición blanca de tipo selectiva en la madera sin preservar, por lo que redujo el espesor de la célula y causó destrucción de la lámina media Figura 31 B.

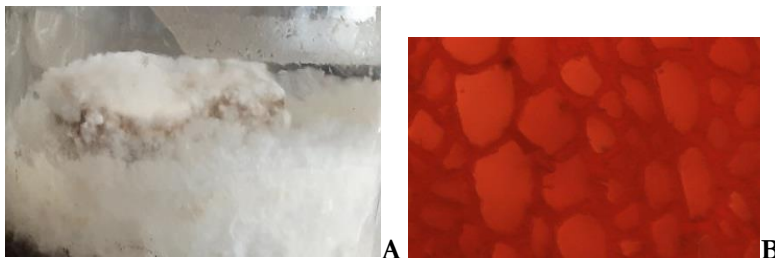


Figura 31 A. Crecimiento miceliar de *I. lacteus* sobre *G. arborea* sin preservar, tercer mes de incubación. B. ataque sobre la lámina media mostrando pudrición blanca selectiva

Los patrones de degradación observados indican que el hongo de pudrición blanca *T. versicolor* fue el más agresivo en las tres maderas estudiadas. El hongo de pudrición marrón *G. trabeum* resultó ser más agresivo en las maderas de *A. mangium* y *S. amara* sin preservante; al término de los últimos periodos de incubación.

En las maderas testigo, sin tratamiento alguno, la degradación avanzada observada en la pared celular, de las tres maderas, especialmente la capa S₂, que contiene mayormente celulosa, con el consecuente colapso de la integridad de los componentes celulares y pérdida de su forma original, junto con las pérdidas de peso observadas al tercer mes del ensayo, indican que la **durabilidad natural de las tres maderas ensayadas es moderadamente baja**, con pérdidas de peso que hace que las maderas sean consideradas muy poco resistentes a los hongos de pudrición blanca y marrón, particularmente al hongo de pudrición blanca *T. versicolor* que ocasiona pérdidas de peso mayores al 30 % en madera de *Acacia mangium* y *Melina arborea* y más del 42 % en la madera de *Simaruba amara* que puede calificarse como No resistente, si se atiende la clasificación de la Junta del Acuerdo de Cartagena para los países andinos.

Se logra una **buena durabilidad inducida** cuando las maderas son tratadas con el preservante ACQ, que demuestra protección a las maderas contra el ataque de hongos de pudrición blanca y marrón, siendo esta durabilidad inducida mayor cuanto más alta es la concentración del producto preservante.

Bibliografía

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2012. *Designación E:10-12 Standard Method of Testing Wood Preservatives by Laboratory Soil-block Cultures*.
- American Wood-Preservers' Association (AWPA). 2014. *P5-07 Standard for Waterborne Preservatives*. American Wood-Preservers' Association, Chicago, USA.
- CATIE. 1992. *Acacia mangium will. Especie de árbol de usos múltiples en América Central*. Informe Técnico (CATIE), Turrialba Costa Rica.
- CIFOR. 2011. *Acacia mangium Willd. Ecology and silviculture in Vietnam*.
- Delgado, C y Couturier, G. 2008. *Atteva punctella Cramer (Lepidoptera: Yponomeutidae), plaga de simarouba amara Aubl. (Simaroubaceae), en Perú*. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa, 43. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, Perú.
- Eaton, R y Hale, M. 1993. *Wood: Decay, pests and protection*. (L. Chapman y Hall, Ed.)
- Encinas, O. y Molina, Y. (2007). Improving the durability of Caribbean pine wood through acetylating. Grupo de Investigación en Conservación de Madera. *Revista Forestal Latinoamericana*.
- Encinas, O y Mora, N. 2006. *Biodegradación de la madera*. Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida. Venezuela.

- Fallas Valverde, L. 2015. Durabilidad de madera termotratada de *Gmelina arborea* (Roxb. ex Sm) y *Tectona grandis* (L.f.). Trabajo de grado, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- González, G y Serrano, R. 2004. Propiedades y utilizaciones de la madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb) procedente de árboles plantados en Costa Rica. *Revista Forestal, Kurú* 1(1).
- González, O. 2015. *Estudio de la durabilidad natural de tres especies forestales de rápido crecimiento proveniente de plantaciones frente a hongos de pudrición en condiciones de Laboratorio*. Trabajo presentado para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencia Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela.
- González, V. y Ameas de Icocheas, T. 1981. Pudrición de la madera de diez especies forestales por la acción de cinco hongos xilófagos. *Revista Forestal del Perú*, 10(1-2).
- González, V. 2009. Durabilidad Natural de 53 Especies Forestales de Yurimaguas. *CEDINFO*, 4(1-2), 1-25.
- JUNAC. 1988. *Manual del Grupo Andino para la preservación de madera*. ((Primera edición. ed.). Lima: Editado por el proyecto subregional de promoción Industrial de la Madera para Construcción (PID- MADERA) de la junta del Acuerdo de Cartagena.
- Kravetz, S., Ranieri, C., Vilches, C., Pérez, B., Jatón, J y Jiménez, S. 2018. *Hongos de la Reserva Forestal Los Robles*. (Primera edición. ed. A. D. Giorg, Moreno. Buenos Aires.
- López, S. 1977. Verbenaceae. Flora de Venezuela. *Flora de Venezuela. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela*.
- Mayo, R; Muñoz, F; Salas, C; Berrocal, A; Zuñiga; Segura, E. 2010. Tenología de la madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas (en línea). *Revista Forestal Mesoamericana KURÚ*, 7(18-19), 207 p.
- Metcalf, C. y Chalk, L. 1957. *Anatomy of the Dicotyledons*. C. Batey, Ed. Londres.
- Plotze, M y Niemz, P. 2011. Porosity and pore size distribution of different wood types as determined by mercury intrusion porosimetry. *European Journal of Wood Products*, 64(4).
- Ramos León, H.M. 2014. *Durabilidad natural de tres especies forestales a la acción de hongos xilófagos*. Universidad Nacional Agraria de Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Lima, Perú.
- Santander Vásquez, K. A. 2007. *Durabilidad natural de Acacia melanoxylon* R. Brown,

frente al ataque de hongos xilófagos. Trabajo de Pregrado, Universidad Austral de Chile, Chile.

Sotomayor-Castellanos, J. R y Ramirez-Perez, M. 2013. Densidad y características higroscópicas de la madera Mexicana. *Investigación e ingeniería de la madera* 9(3), México.