

Durabilidad inducida de *Caryodaphnopsis cogolloi* bajo la acción de tres preservantes hidrosolubles

*Induced durability for **Caryodaphnopsis cogolloi** under three different water-soluble preservatives products*

OSVALDO ENCINAS BLANCO¹,
DIEGO BELTRÁN HERNÁNDEZ²,
CESAR POLANCO TAPIA²
y JENNY CAICEDO VELÁSQUEZ²

1 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Laboratorio Nacional de Productos Forestales y Ambientales, Grupo en Conservación de la Madera, Mérida, Venezuela, correo electrónico: oencinas@ula.ve, osenbla@gmail.com

2 Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, correos electrónicos: diegodistrital@gmail.com

Recibido: 20-09-13 / Aceptado: 15-01-14

Resumen

Se evaluó el efecto de los preservantes hidrosolubles CCA, ACQ y Ecoplus sobre la madera de la especie *Caryodaphnopsis cogolloi* van der Werff mediante el ensayo acelerado de laboratorio para la durabilidad inducida utilizando la metodología agar block y los hongos de pudrición *Trametes versicolor* y *Gloeophyllum trabeum* establecido por la norma EN 350-1. La durabilidad fue determinada mediante pérdida de peso y estudio de las características de degradación de los hongos durante cuatro meses de incubación en la madera. Al finalizar el periodo de exposición se observó que en todas las probetas tratadas hubo pérdida de peso, registrándose las mayores en la muestras preservada con ACQ y Ecoplus, alcanzando un valor promedio de 10,5% y 11,1%, respectivamente, bajo la acción del hongo *T. versicolor* y de 10,4% y 10,9% bajo la de *G. trabeum*, lo que determinó que la limitada absorción y retención de los preservantes, debido a la presencia de tilides y contenidos de sílice en la mayoría de las estructuras anatómicas, no garantizó la inhibición de los procesos de biodegradación como consecuencia del ataque de los hongos *T. versicolor* y *G. trabeum*.

Palabras clave: CCA, ACQ, Ecoplus, *Trametes versicolor*, *Gloeophyllum trabeum*, agar block, pudrición de la madera.

Abstract

The effect of water-borne preservatives CCA, ACQ and Ecoplus on wood species *Caryodaphnopsis cogolloi* van der Werff was evaluated using agar block method and rot fungi *Trametes versicolor* and *Gloeophyllum trabeum*, according to EN 350-1 Accelerated laboratory test for induced durability. The durability was determined by weight loss and study of the characteristics of degradation of fungi for four months of incubation in the wood. At the end of the exposure period there was weight loss in all treated samples, with highest in samples preserved with ACQ and Ecoplus, reaching an average value of 10.5% and 11.1%, respectively, with *T. versicolor* and 10.4% and 10.9% with *G. trabeum*, which determined the limited absorption and retention of the preservative, since tyloses and silica contained in most anatomical structures, did not ensure the inhibition of biodegradation processes in the attack of tested fungi.

Key words: CCA, ACQ, Ecoplus, *Trametes versicolor*, *Gloeophyllum trabeum*, agar block, wood rotting.

1. Introducción

Los preservantes son sustancias químicas que aplicadas convenientemente a la madera la protegen de la acción simple o combinada de sus enemigos naturales. La preservación aumenta la durabilidad de la madera, lo que permite que ciertas especies no durables se puedan transformar en elementos capaces de competir ventajosamente con las especies durables y con otros materiales (Junac, 1988).

Tradicionalmente se ha conseguido ampliar la utilización de la madera como material estructural mediante la aplicación de sustancias o compuestos

químicos (Hickin, 1971), empleando solventes orgánicos y acuosos y aplicando técnicas de preservación (Encinas y Molina, 2007), lo que mejora sus propiedades, prolonga su vida de servicio e incrementa su protección (Groenier, 2006).

Gil (2011) expone que uno de los grupos de preservantes son los productos inorgánicos o hidrosolubles, los cuales están constituidos por sales metálicas simples, dobles o múltiples, que se solubilizan en agua. En su composición intervienen sustancias de reconocido poder fungicida e insecticida, además de un fijador que impida su lixiviación de la madera tratada. La mayor ventaja de este

grupo es la de conocerse perfectamente sus componentes y sus porcentajes en la formulación; además se pueden transportar en forma concentrada, no son fitotóxicos, no aumentan la inflamabilidad ni conceden olores a la madera (Junac, 1988).

Habitualmente se usan sales hidrosolubles CCA (Cobre-Cromo-Arsénico) y CCB (Cobre-Cromo-Boro), pero las normativas han venido prohibiendo su uso dado sus altos niveles de toxicidad, producto del componente arsénico que es perjudicial para el ser humano y el ambiente, infringiendo el requisito de inocuidad establecido por la normatividad (Lauwerys, 1994; Atsdr, 2001; Alternative Medicine Review, 2004); por lo tanto, estas sales se han venido reemplazando progresivamente por una nueva generación de preservantes inorgánicos como el ACQ (cobre amoniacal cuaternario) y el Ecoplus (combinación de Iodo Propil Butil Carbamato (Ipbc y propiconazol), exentos de compuestos de arsénico y cromo, los cuales han nacido de la necesidad de investigar y explorar nuevas tecnologías para conservar y asegurar que la madera dure más en servicio (Paredes, 2007; Acosta, 2009).

Las anteriores consideraciones establecen que la durabilidad inducida de la madera incrementa la vida útil de servicio, especialmente cuando es colocada en ambientes con una fuente continua de humedad o presencia de agentes destructores, los cuales aceleran su proceso de degradación. El presente estudio determinó el grado de durabilidad inducida de la especie *Caryodaphnopsis cogolloi* van der Werff a través de métodos de preservación con compuestos químicos hidrosolubles frente a dos tipos de hongos, *T. versicolor* y *G. trabeum*. El objetivo principal fue evaluar el efecto de los inmunizantes CCA, ACQ y Ecoplus sobre la durabilidad de la madera de *C. cogolloi* según la norma UNE-EN 350-1 de 1995.

2. Materiales y métodos

2.1 La especie *Caryodaphnopsis cogolloi* van der Werff

La especie *C. cogolloi* pertenece a la familia Lauracea, es conocida con los nombres vulgares de Yumbé, Aguacatillo o Yumbí y ha sido categorizada como una especie en peligro crítico de extinción (Cárdenas y Salinas, 2007).

Su madera es de color castaño, con transición abrupta entre albura y duramen, olor fuerte y penetrante, lustre alto, grano inclinado, textura mediana, diseño tenue determinado por el contraste de tejidos, dura y pesada, con una densidad anhidra que alcanza los 810 kg/m³. Anatómicamente su porosidad es difusa, los poros son distinguibles a simple vista y en mayor proporción solitarios; las punteaduras intervasculares son areoladas y con abertura extendida; las punteaduras radiovasculares son simples y con borde reducido; presenta gran cantidad de tilides; sus fibras son de paredes gruesas y engrosamiento espiralado; sus radios son procumbentes, con una ruta de células marginales y multiseriados; presenta contenidos e inclusiones de sílice en células radiales (Caicedo *et al.*, 2013).

La madera en su estado natural se clasifica como altamente resistente al ataque de hongos de pudrición blanca y marrón, lo que genera un alto interés comercial sobre la especie (Polanco *et al.*, 2013).

Los productos químicos ensayados se consiguen usualmente en el comercio de la madera y productos para la madera.

2.2 Preparación de las probetas

La madera fue extraída de los bosques húmedos tropicales del Magdalena Medio Colombiano. Las muestras fueron tomadas de tres bloques de madera en servicio, con dimensiones de 10 cm x 10 cm x 100 cm. Las probetas se obtuvieron del dimensionamiento de los bloques, obteniendo 96 piezas de duramen de 2,5 cm x 2,5 cm x 1,0 cm, cada una con la menor dimensión en sentido paralelo al grano. Las piezas fueron divididas en tres grupos, cada uno con 32 probetas, para su posterior preservación con los preservantes hidrosolubles CCA, ACQ o Ecoplus. La preservación con sales CCA fue realizada en la empresa Serrano Gómez, ubicada en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia, mediante el método Bethell, mientras que la preservación con ACQ y Ecoplus se realizó en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes, ubicado en la ciudad de Mérida, Venezuela y se usó el método Lowry modificado, debido a que no se realizó un vacío final. La concentración del ingrediente activo a la que se inmunizó con CCA fue del 2,2%, para ACQ 3,0% y Ecoplus 2,0%.

La evaluación del grado de protección que se dio en la madera luego de la aplicación de las sustancias químicas se realizó midiendo la absorción y retención de los preservantes empleados en los procesos de impregnación, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Absorción} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Volumen}} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Retención} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Volumen}} \times \frac{\text{Concentración del preservante}}{100} \quad (\text{Ec. 2})$$

Al obtener los resultados estos fueron comparados con las tablas de la Junta del Acuerdo de Cartagena (Junac, 1988) que clasifican la madera según el grado de absorción y retención (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Clasificación según la capacidad de absorción (Junac, 1988).

Grado	Absorción del Preservante (kg/m ³)
Alta absorción	Más de 200
Buena absorción	150 a 200
Mala absorción	100 a 149
Nula absorción	Menos de 100

Cuadro 2. Clasificación según la capacidad de retención (Junac, 1988).

Grado	Retención del Preservante (kg/m ³)
Alta retención	Mayor a 10
Buena retención	8 a 10
Mala retención	4 a 8
Nula retención	Menor a 4

2.3 Preparación del sustrato

Para la preparación del sustrato se siguieron los lineamientos de la norma EN 350-1 (1995). Se vertieron 100 ml de agar y extracto de malta (2,5 % p/v) en los frascos de ensayo; se le colocaron las tapas sin cerrarlos herméticamente; se colocaron en autoclave durante un tiempo aproximado de 90 minutos a una presión de 15 psi y 121 °C, finalmente los frascos fueron llevados a la cámara de flujo laminar, con el fin de evitar su contaminación.

2.4 Montaje del ensayo

El montaje del ensayo se realizó según la metodología establecida por la norma EN 350-1 (1995). Se utilizaron dos especies de hongos xilófagos, *T. versicolor* Pilát, que causa pudrición blanca, y *G. trabeum* Murr, que origina pudrición marrón.

Los frascos de cristal se inocularon en cámara de flujo laminar extrayendo, con ayuda de una pipeta Pasteur, muestras de las cepas originales; cada inóculo se colocó al interior de los frascos, una vez inoculados fueron cerrados, sellados con parafilm y marcados con fecha de inoculación y tipo de hongo. Posteriormente se llevaron al cuarto de incubación durante un periodo aproximado de tres semanas para que cubrieran la totalidad del medio de cultivo. Después se introdujeron dos probetas de *C. cogolloi*, sobre una rejilla estéril con el plano transversal en contacto con el hongo. Inicialmente las probetas fueron secadas a 61 °C por 24 horas y luego fueron pesadas, para controlar la pérdida de peso al finalizar cada periodo de exposición.

Una vez realizado el montaje, los frascos debidamente rotulados con la inicial del tratamiento (C para CCA, A para ACQ y E para Ecoplus y para los hongos T para *T. versicolor* y G para *G. trabeum*), se llevaron de nuevo al cuarto de incubación a 25 °C y 70% de humedad relativa.

2.5 Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental factorial al azar 3x2. Con tres tratamientos (CCA, ACQ y Ecoplus), dos hongos (*G. trabeum* y *T. versicolor*) y un periodo de tiempo de cuatro meses de exposición, completando 24 unidades experimentales, cada una con tres repeticiones, para un total de 72 muestras, distribuidas en 36 frascos, entendiéndose por muestra cada una de las probetas expuestas al ataque de los hongos.

2.6 Periodo de exposición

El periodo de exposición de las probetas fue de 16 semanas, según lo establecido en la norma UNE EN 350-1. Cada cuatro semanas se seleccionaron dos frascos de forma aleatoria, de los cuales se extrajeron las probetas y se les retiró el micelio cuidadosamente, luego tres muestras fueron pesadas a las mismas condiciones en las que se tomó el peso

antes de realizar el montaje y una fue llevada a la nevera para conservarla sin contaminación y realizar las observaciones microscópicas para estudiar el patrón de ataque de los hongos.

2.7 Pérdida de peso

Una vez extraídos los frascos de forma aleatoria y pesadas las probetas, mensualmente se realizaron controles de pérdida de peso en porcentaje hasta llegar a las 16 semanas establecidas por la norma EN 350-1. La pérdida de masa se determinó mediante la ecuación 3:

$$\text{Pérdida de masa (\%)} = \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa final}}{\text{Masa inicial}} \times 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

2.8 Patrones de degradación

Para la evaluación de las características de la pudrición generada por los dos tipos de hongos utilizados, se realizaron mensualmente cortes finos de las probetas, se tiñeron con safranina al 0,1%, y se observaron en microscopio óptico de luz normal Nikon Eclipse E200 MVR.

2.9 Índices de durabilidad

Una vez finalizado el ensayo, las pérdidas promedio de masa se ubicaron en la clasificación propuesta por la UNE EN 350-1 cuyos rangos de resistencia al ataque de hongos de pudrición se visualizan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Índices de durabilidad según la UNE EN 350-1 (1995).

Clase	Pérdida de Peso Promedio (%)	Índice de Durabilidad
1	Menor a 15	Muy durable
2	15 a 30	Durable
3	30 a 60	Medianamente Durable
4	60 a 90	Poco Durable
5	Mayor a 90	No durable

3. Resultados y discusión

3.1 Absorción y retención

La cantidad total de preservante y sustancia activa que fue absorbida y retenida en la madera después del tratamiento, y el método de impregnación, se presenta en el cuadro 4. El preservante CCA obtuvo los valores más altos de absorción y retención en la madera de *C. cogolloi*. Los preservantes ACQ y Ecoplus presentaron valores bajos en comparación con el primer preservante. En la absorción, la diferencia entre el CCA y los otros dos inmunizantes fue de 51,94 kg/m³ para ACQ (54%) y 48,6 kg/m³ para Ecoplus (50,5%); la diferencia entre Ecoplus y ACQ fue de tan solo 3,34 kg/m³ (7%). Para la retención, la del ACQ equivale al 62,4% y la del Ecoplus corresponde al 44,6% con referencia a la retención del CCA.

Cuadro 4. Valores de absorción y retención de los preservantes utilizados en el estudio.

Preservante	Método de Impregnación	Absorción (kg/m ³)	Retención (kg/m ³)
CCA	Bethell	96,17	2,13
ACQ	Lowry modificado	44,23	1,33
ECOPLUS	Lowry modificado	47,57	0,95

Las piezas de madera de la especie *C. cogolloi* presentaron bajos niveles de absorción y retención de los tres preservantes, considerándose como nulas al estar la absorción por debajo de los 100 kg/m³ y la retención por debajo de los 4 kg/m³ en todos los casos, cuadros 1 y 2. La baja retención puede estar asociada a la gran cantidad de tilide y contenidos celulares que presenta la madera en sus estructuras anatómicas (vasos, fibras, radios) (Caicedo *et al.*, 2013), además de ser en su totalidad madera de duramen. La abundancia de tilide crea una barrera que impide la entrada del preservante, que se conjuga con obstrucciones de las vías de acceso por parte de las sustancias del duramen (extractos, taninos, entre otros), el cual es menos receptivo en comparación con la albura, resultando impermeable (Encinas, 2004).

Esta situación se observó también en un estudio de Machuca *et al.*, 2006, sobre la absorción de soluciones preservantes de nueve especies de madera mediante procesos de impregnación a vacío,

presión e inmersión en Chapingo (México), donde la especie *Manilkara zapota*, presentó una absorción nula, que se relacionó con su alta densidad y presencia de contenidos celulares en los elementos vasculares y en las células de parénquima.

Lo anterior coincide con Wang y Degroot (1996) quienes mencionan que los vasos son los principales conductos, pero cuando están obstruidos la penetración de los preservantes disminuye considerablemente. Caso similar fue encontrado por Erazo *et al.* (2011), quienes determinaron que la baja proporción de albura, presente en la madera de *Eucalyptus urophylla* con un diámetro mayor a 12 cm usada para estacones, hace que se disminuya la absorción y retención de las sales CCA.

La diferencia entre los valores de absorción y retención del preservante CCA respecto a ACQ y Ecoplus se debe a los métodos utilizados, ya que el método Bethell es un proceso de célula llena que fuerza la entrada de preservante en la madera, en cambio el método Lowry es un proceso de célula vacía que preserva la madera lo más profundamente posible pero con absorciones bajas de preservante (Junac, 1988).

El método Bethell permite crear una ligera tensión diferencial en el interior de la estructura leñosa que facilita la penetración posterior de solución preservante durante el periodo de aplicación de presión. También permite remover parte de la humedad y aire retenido en capas superficiales de la madera y que representan barreras a la penetración del preservante (Donoso y Manríquez, 1978). Esta etapa es la responsable de los mejores niveles de retención de solución preservante en el tratamiento Bethell respecto a Lowry (Hunt y Garrat, 1962). Lo anterior fue observado en la madera de *Populus nigra* cv. *Italica* preservada con sales CCA por los tratamientos de Bethell y Lowry, donde se encontró que por el método Lowry solo se alcanzó el 21% de retención en comparación con la retención obtenida por el método Bethell (Díaz *et al.*, 2002).

3.2 Pérdida de peso

Las pérdidas de peso a lo largo de todo el ensayo para el hongo *T. versicolor* fueron de 6,4% para la madera tratada con CCA, 10,5% para ACQ y 11,1% para Ecoplus, por otro lado para *G. trabeum* se obtuvo una media general de 6,6% para la madera

preservada con sales CCA, 10,4% para la preservada con ACQ y finalmente 10,9% para la preservada con Ecoplus (Figura 1). Siendo estos dos últimos preservantes de nueva generación, en los cuales se registraron las mayores pérdidas de peso promedio, teniendo una diferencia porcentual de casi un 50% en los dos hongos ensayados con respecto a la madera preservada con sales CCA.

La pérdida de peso promedio en CCA fluctuó en un rango de 5,2% a 8,1% para el hongo de pudrición blanca, y de 5,6% a 8,0% para el de pudrición marrón, registrándose los valores más bajos en el primer mes de medición y los más altos en el último (Figura 2). Las pérdidas promedio de peso de la madera preservada con ACQ se ubicaron en un rango de 9,8% a 11,4% para el hongo de pudrición blanca *T. versicolor*, y de 9,4% a 11,8% para el hongo de pudrición marrón *G. trabeum* (Figura 3). Durante los cuatro meses de exposición, la madera preservada con Ecoplus perdió en promedio de un 10,2% a 12,5% de su peso inicial, bajo la incidencia

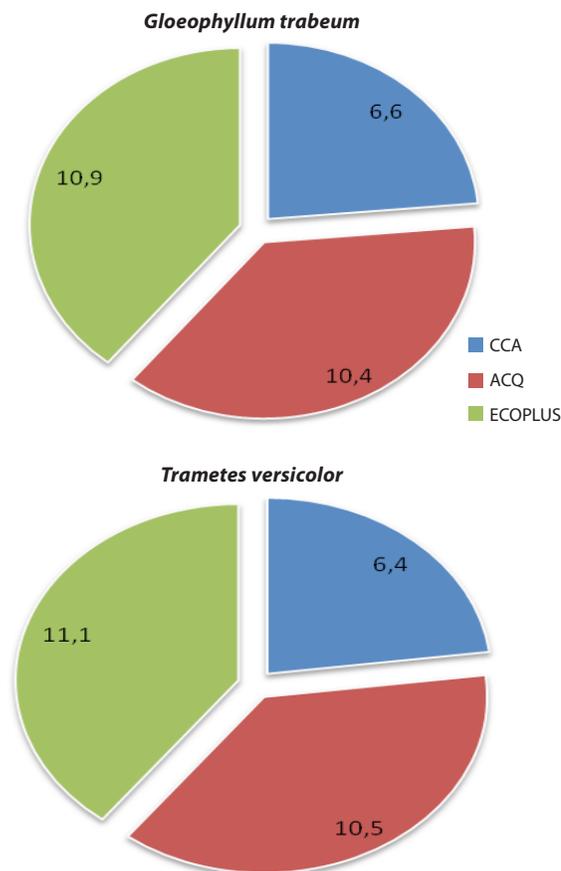


Figura 1. Pérdida de peso promedio general para los preservantes evaluados.

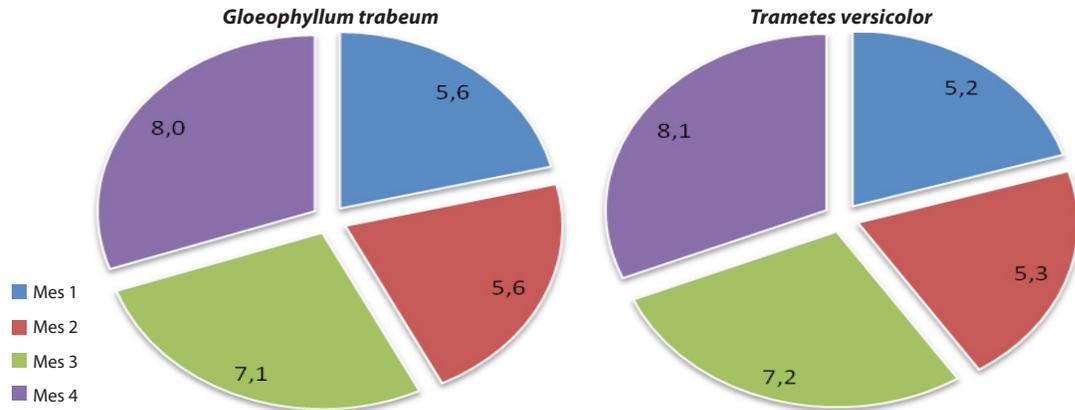


Figura 2. Pérdida de peso promedio mensual con CCA.

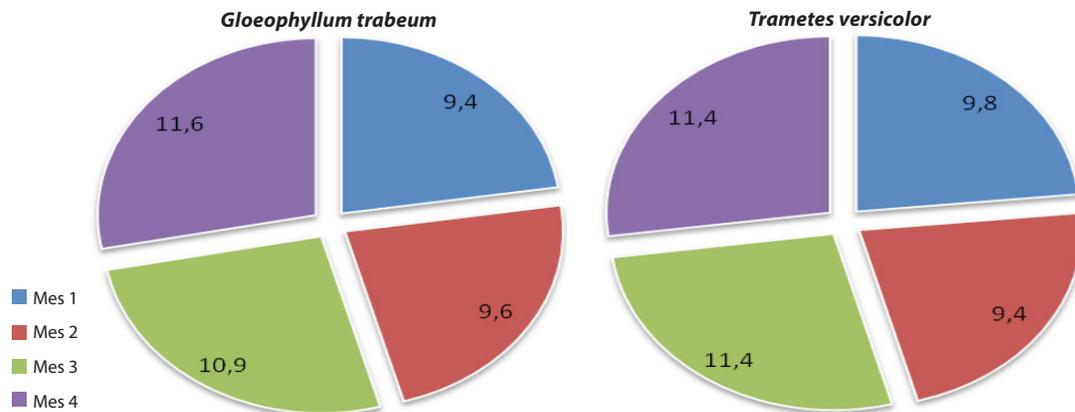


Figura 3. Pérdida de peso promedio mensual con ACQ.

del hongo *T. versicolor*, y de 9,6% a 12,3% bajo la incidencia de *G. trabeum* (Figura 4).

La pérdida de peso para la madera de *C. cogolloi* preservada con CCA, ACQ o Ecoplus, a una concentración de 2,2%, 3% y 2% respectivamente, hace que deba ser considerada como madera muy durable al ataque de hongos de pudrición blanca y marrón, ya que las mayores pérdidas de peso se encuentran en un rango menor al 15% (Cuadro 3).

Al realizar el análisis estadístico de los datos se aplicó en primera instancia un test de normalidad de Shapiro Wilk, dado que el tamaño de la muestra era inferior a 50, el cual arrojó como resultado que los datos de pérdida de peso se comportaban de manera normal a un nivel de significancia del 95%. Luego se aplicó un análisis de varianza univariante, el cual reflejó diferencias altamente significativas entre los productos preservantes para un nivel de significación del 5%. Mediante pruebas de comparaciones de medias (Tukey y Duncan) se

estableció que no existieron diferencias significativas en la pérdida de peso entre los preservantes ACQ y Ecoplus, que si son diferentes a las pérdidas registradas por CCA (Figura 5).

La pérdida de peso en la madera tratada fue mayor en los preservantes ACQ y Ecoplus, que alcanzaron las mayores medias aritméticas a lo largo de todos los periodos de exposición (Figura 4); este comportamiento pudo ocurrir por dos razones, el primero, que en el momento de preservar la madera, debido a las presiones generadas por el tratamiento, algunos de los elementos de la pared celular pudieron quedar expuestos, facilitando el ataque del hongo; una segunda razón, específicamente para los preservantes ACQ y Ecoplus, puede ser que los valores de pérdida de peso tan altos con respecto a los observados en CCA, se deben a los químicos que componen cada preservante, los cuales pudieron actuar sobre la pared celular debilitándola o modificándola en el momento de la

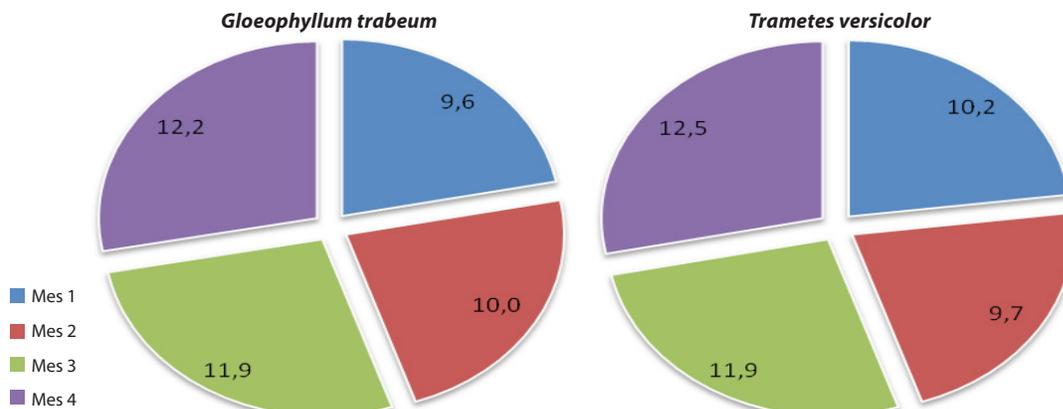


Figura 4. Pérdida de peso promedio mensual con EcoPlus.

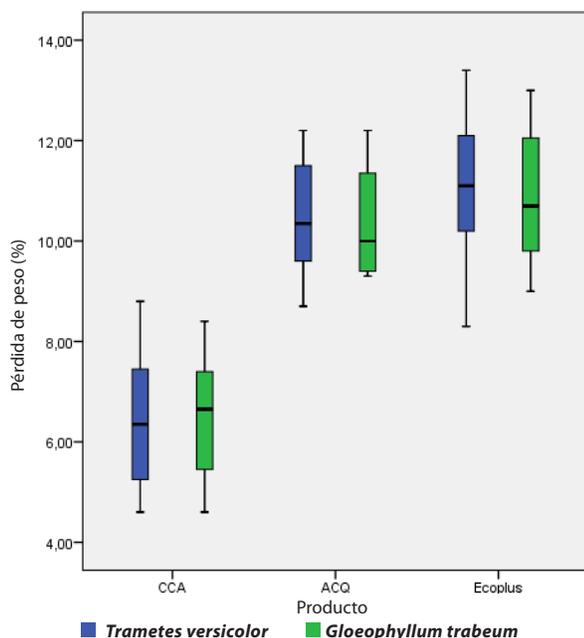


Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes para la pérdida de peso promedio de cada uno de los preservantes evaluados.

preservación, esto se infiere una vez descartada la posibilidad que la concentración de estos dos preservantes hubiese influido, ya que, a través de una prueba de umbral de eficiencia las concentraciones de 2% en EcoPlus y 3% en ACQ eran suficientes para inhibir el crecimiento del hongo.

Mora y Encinas (2001) realizaron un estudio de durabilidad inducida con madera de las especies *Pterocarpus acapulensis* (Drago) y *Tabebuia serratifolia* (Curarire) inmunizadas con sales CCA al 5% de concentración, utilizando el método de presión de Lowry modificado, obteniendo como resultado una pérdida de peso menor a 1% en las dos especies

para los hongos *T. versicolor* y *G. trabeum*, mejorando así en un gran porcentaje su resistencia a la degradación por hongos de pudrición. La especie *C. cogolloi* tuvo un porcentaje de pérdida de peso promedio de 8,1% para *T. versicolor* y 8,0% para *G. trabeum*, teniendo en cuenta que se utilizó una concentración de preservante al 2,2% y que la retención de 2,23 kg/m³ fue notablemente menor a la que se obtuvo en *P. acapulensis* (12,03 kg/m³), pero mayor a la que registró *T. serratifolia* (1,08 kg/m³), por lo que se podría inferir que la concentración de 2,2% no es suficiente para inhibir el ataque de los hongos en la madera de *C. cogolloi*, mientras que una de 5% si lo es sin importar la retención obtenida.

No se encontraron reportes de estudios de durabilidad inducida con los preservantes ACQ y EcoPlus para los hongos de pudrición blanca y marrón, con la madera ensayada, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo son los primeros

3.3 Patrones de degradación

En las probetas preservadas con sales CCA no se observó afectación por parte de los hongos *T. versicolor* y *G. trabeum*. El lumen de las células se encontró bien definido, no se observó degradación de la pared celular y la presencia de hifas fue nula. En el mes cuatro los cortes longitudinales mostraron una baja erosión del parénquima radial, siendo visible solo en el plano tangencial (Figura 6).

En los primeros meses de ataque en las probetas inmunizadas con ACQ por parte de *T. versicolor* no se observó degradación de los tejidos de la madera (Figura 7a), pero se observaron hifas muy del-

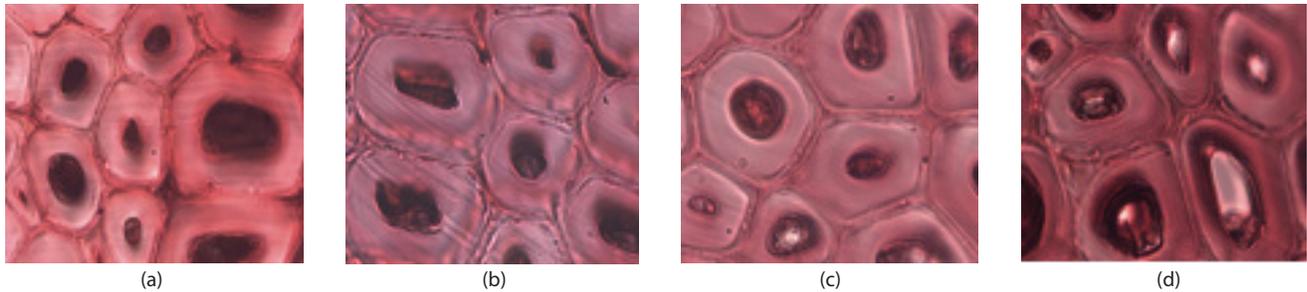


Figura 6. Muestras preservadas con CCA: a) Primer mes de ataque, hongo *T.versicolor*. b) Cuarto mes de ataque, hongo *T.versicolor*. c) Primer mes de ataque, hongo *G.trabeum*. d) Cuarto mes de ataque, hongo *G.trabeum*.

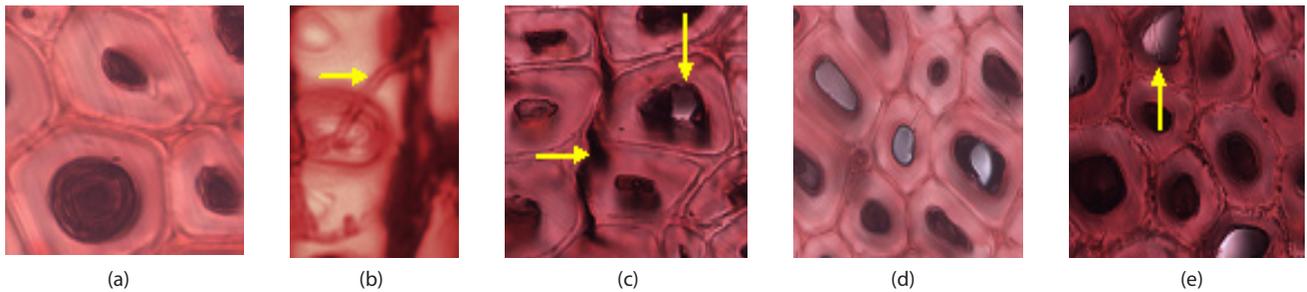


Figura 7. Muestras preservadas con ACQ: a) Primer mes, hongo *T. versicolor*. b) Tercer mes, hongo *T. versicolor*, la flecha señala una hifa con fibula. c) Cuarto mes, hongo *T. versicolor*, la flecha vertical señala degradación de la pared celular y la flecha horizontal señala desprendimiento de la lámina media. d) Primer mes, hongo *G. trabeum*. e) Cuarto mes hongo, *G. trabeum*, la flecha señala erosión de la pared celular.

gadas a través de los vasos y el parénquima radial, que se desarrollaron en baja proporción dentro de los elementos vasculares y radios (Figura 7b), y produjeron a partir del tercer mes erosión de las paredes celulares y degradación de la lámina media en algunas células. Al finalizar el periodo de incubación aumentó el ataque sobre la pared celular, se generó el desprendimiento de la lámina media y se presentó erosión del parénquima radial (Figura 7c). *G. trabeum* colonizó la madera a través de los elementos vasculares. En los primeros meses las células conservaron su forma y estructura (Figura 7d), pero en la evaluación del mes tres se pudo observar el inicio del ataque sobre la pared celular, que se incrementó en el cuarto mes. En este último también se identificó la erosión del parénquima radial (Figura 7e).

La degradación de las estructuras anatómicas en las muestras preservadas con Ecoplus por parte del hongo *T. versicolor* se inició en el segundo mes de incubación, al presentarse un ataque mínimo sobre la pared celular (Figura 8a); pero en el tercer mes los daños se acentuaron y se observaron hifas con fibula en los elementos vasculares (Figura 8b), para finalmente encontrar al cuarto mes

el deterioro de algunas células y la erosión de los radios (Figura 8c). En las probetas inoculadas con el hongo *G. trabeum* no se observaron daños en los primeros meses evaluados (Figura 8d). En el mes tres se evidenció el ataque sobre la pared celular de algunas células, acentuándose en el cuarto mes, y encontrándose la degradación del parénquima radial (Figura 8e).

G. trabeum y *T. versicolor* concentraron su ataque inicial en mayor proporción hacia las células del parénquima axial y radial. La degradación de células parenquimáticas se explica, puesto que están constituidas principalmente por almidones, azúcares y proteínas, los cuales son compuestos fácilmente asimilables por los hongos (Zabel y Morrell, 1992).

El patrón de crecimiento del hongo *T. versicolor* sobre la madera de *C. cogolloi*, originó una degradación gradual de unas pocas células desde el lumen hacia la lámina media, produciendo una disminución en el espesor de las paredes como resultado del ataque simultáneo sobre los componentes principales de la pared celular (celulosa, hemicelulosas y lignina). Pocas hifas lograron colonizar la madera, las cuales no produjeron erosiones a gran

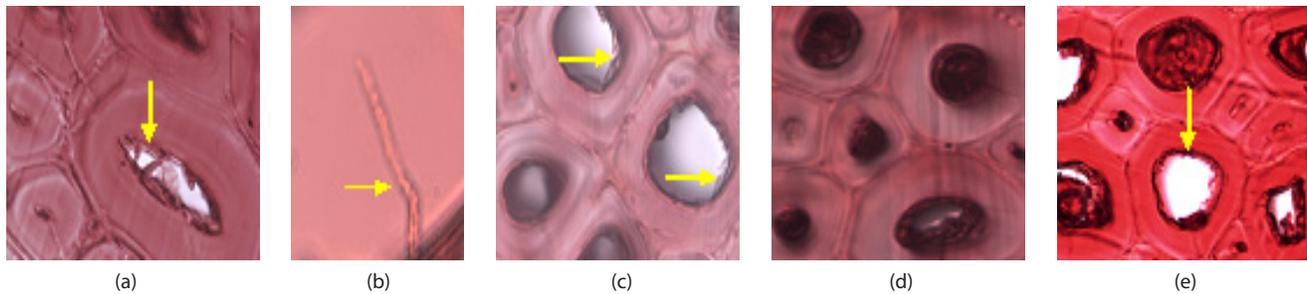


Figura 8. Muestras preservadas con Ecoplus: a) Segundo mes, hongo *T. versicolor*, la flecha señala erosión de la pared celular. b) Tercer mes, hongo *T. versicolor*, la flecha señala una hifa con fíbula. c) Cuarto mes, hongo *T. versicolor*, la flecha señala deterioro de la pared celular. d) Primer mes, hongo *G. trabeum*. e) Cuarto mes, hongo *G. trabeum*, la flecha señala erosión de la pared celular.

escala en ninguno de los tejidos. Los daños más relevantes fueron identificados en las muestras preservadas con ACQ, donde se encontró desprendimiento de la lámina media.

La colonización de la madera por hongos de pudrición marrón puede ser facilitada por la destrucción de las membranas de las punteaduras y células del parénquima radial (Jellison *et al.*, 1997). En *C. cogolloi*, el deterioro por parte de *G. trabeum* se inició luego del tercer mes, localizándose el ataque a nivel de la pared celular y del parénquima radial.

Las sales CCA causaron una acción fungitóxica sobre los dos hongos de prueba, impidiendo parcialmente la colonización de la madera. Inmediatamente después del tratamiento, las sales CCA incrementan el pH dentro de la madera mediante reacción iónica, obstruyendo el desarrollo de los microorganismos (Daniel y Nilsson, 1989), ejerciendo su acción tóxica sobre los hongos Basidiomycetes en la superficie del lumen de la pared celular, debido a que este es el sitio de crecimiento de los hongos (Rayner y Boddy, 1988); por lo tanto la degradación de estas probetas solo se observó a nivel del parénquima radial.

4. Conclusiones

Las mayores pérdidas de peso se registraron en la madera preservada con ACQ y Ecoplus, alcanzando un valor promedio de 10,5% y 11,1% respectivamente, bajo la acción del hongo *T. versicolor* y de 10,4% y 10,9% bajo la acción de *G. trabeum*, comparado con las pérdidas de peso promedio de las probetas preservadas con sales CCA, que presentaron valores de 6,4% como respuesta al ataque del

hongo de pudrición blanca y de 6,6% al del hongo de pudrición marrón.

Las pérdidas de peso observadas, se relacionan directamente con los patrones de degradación; los ataques más severos fueron observados en las muestras preservadas con los preservantes ACQ y Ecoplus.

La baja absorción y retención de los preservantes hidrosolubles CCA, ACQ y Ecoplus, a las concentraciones ensayadas de 2,2%, 3% y 2% respectivamente, no garantiza la inhibición de los procesos de biodegradación originados por el ataque de los hongos *T. versicolor* y *G. trabeum* en la madera de *C. cogolloi*, en condiciones de laboratorio.

Es posible que la absorción y retención de los preservantes ensayados haya sido limitada por presencia de tilides y contenidos de sílice en la estructura anatómica de la madera ensayada.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a los campesinos del Magdalena Medio Colombiano, a la empresa Inmunezadora de Maderas Serrano Gómez S.A. y al Grupo de Investigación en Conservación de Maderas (Gicom) de la Universidad de Los Andes.

6. Referencias bibliográficas

ACOSTA, G. 2009. Efectividad del producto preservante ACQ (Compuesto de Cobre Amonio Cuaternario), para el control de hongos de pudrición blanda en la madera de pino caribe (*Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret y Golfari) en clase de riesgo 4. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Forestal,

- Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 74 p.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2001. Toxicological profile for Pentachlorophenol. Atlanta, Georgia. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/> [Consultado: 10/06 /2012].
- ALTERNATIVE MEDICINE REVIEW. 2004. Boro (Boron). One file custom full text. Gale. *Gale* 9(4): 434-437.
- CAICEDO, J. P., C. A. POLANCO y J. E. NIETO. 2013. Primer reporte xilológico de la especie *Caryodaphnopsis cogolloi* van der Werff. *Revista Colombia Forestal* 17(1): 25-39.
- CÁRDENAS, L. D. y N. R. SALINAS. 2007. *Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas. Primera parte*. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi)-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia. 232 p.
- DANIEL, G. y T. NILSSON. 1989. Interactions between soft rot fungi and CCA preservative in *Betula verrucosa*. *Journal of the Institute of Wood Science* 11: 162-171.
- DÍAZ, B., M. LUNA, G. KEIL, M. OTAÑO y P. PERI. 2002. Comportamiento de la madera de *Populus nigra* cv. *Italica* ante la preservación con creosota y CCA. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 11(2): 325-338.
- DONOSO, J. y L. MANRÍQUEZ. 1978. Estudio en la impregnación a vacío-presión de maderas refractarias. *Boletín Técnico No. 53*. Universidad de Chile. 20 p.
- ENCINAS, O. 2004. *Taller de tratamiento de maderas*. Grupo de Investigación en Conservación de Maderas (Gicom), Universidad de Los Andes. Trujillo, Venezuela. 22 p.
- ENCINAS, O. y Y. MOLINA. 2007. Mejora de la Durabilidad de la Madera Pino Caribe Mediante Acetilación. *Revista Forestal Latinoamericana* 41: 15-36.
- ERAZO, O., O. ENCINAS y Y. MOLINA. 2011. Preservación de estantillos de *Eucalyptus urophylla* con sales CCA. *Revista Forestal Venezolana* 55(2): 177-181.
- GIL, V. A. 2011. *Protección de la madera*. Universidad Michoacana de San Nicolás. Facultad de Ingeniería en tecnología de la madera. México, México. 87 p.
- GROENIER, J. 2006. *Preservative-Treated Wood and Alternative Products in the Forest Service, USDA Forest Service*. Missoula, USA. 4 p.
- HICKIN, N. 1971. *Wood Preservation, a guide to the meaning of terms*. Hutchinsion and Co. LTD. Londres, Inglaterra. 109 p.
- HUNT, G. y G. GARRAT. 1962. *Preservación de la madera*. Ed. Salvat. Barcelona, España. 486 p.
- JELLISON, J., J. CONNOLLY, B. GOODELL, B. DOYLE, B. ILLMAN, F. FEKETE y A. OSTROFSKY. 1997. The role of cations in the biodegradation of wood by the brown rot fungi. *Elsevier Article* 1312: 103-117.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (Junac). 1988. *Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas*. Lima, Perú. 402 p.
- LAUWERYS, R. R. 1994. *Toxicología, Industria e Intoxicaciones Profesionales*. Cromo. Primera edición. Elsevier-Masson. Madrid, España. 346 p.
- MACHUCA, R., M. FUENTES y M. BORJA. 2006. Absorción de soluciones preservantes de nueve especies de maderas, mediante procesos de impregnación a vacío-presión e inmersión. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(1): 71-78.
- MORA, N. y O. ENCINAS. 2001. Evaluación de la durabilidad natural e inducida de *Pterocarpus acapulcensis*, *Tabebuia serratifolia* y *Pinus caribaea* en condiciones de laboratorio. *Revista Forestal Venezolana* 45(1): 23-31.
- PAREDES, P. M. 2007. Evaluación en campo de la eficacia de compuestos químicos antimancha sobre la madera de pino caribe. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 75 p.
- POLANCO, C. A., J. P. CAICEDO y D. BELTRÁN. 2013. Durabilidad natural de la madera de la especie *Caryodaphnopsis cogolloi*. *Revista Colombia Forestal* 17(1): 25-39
- RAYNER, A. y L. BODDY. 1988. *Fungal decomposition of Wood. Its biology and ecology*. Jhon Wiley and Sons. London, Reino Unido. 587 p.
- UNE EN 350-1. 1995. *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte I: Guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera*. Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid, España. 5 p.
- WANG, J. y R. DEGROOT. 1996. Treatability and durability of heart wood. National Conference on Wood Transportation Structure. 23 al 25 de octubre. Madison. USA.
- ZABEL, R. A. y J. MORRELL. 1992. *Wood Microbiology. Decay and its prevention*. Harcourt Brace Jovanovich Publishers. Academic Press. San Diego. USA. 476 p.