

Patrones de degradación de las maderas de Pino caribe, Curarire y Drago por *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* y *Pycnoporus sanguineus*

Oswaldo Encinas¹ y Néstor Mora²

Grupo de Investigación en Conservación de Maderas (GICOM),

Laboratorio Nacional de Productos Forestales, ULA – MARN

Apartado 220, Mérida 5101-A, VENEZUELA

¹⁾ Ing. For., MSc., PhD. ²⁾ Ing. For., MSc.

RESUMEN

Se describen los mecanismos de colonización y degradación de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Pino caribe), *Pterocarpus acapulcensis* (Drago) y *Tabebuia serratifolia* (Curarire), causados por los hongos *Gloeophyllum trabeum* (hongo de pudrición marrón), *Trametes versicolor*, *Pycnoporus sanguineus* (hongos de pudrición blanca). La biodegradación de las maderas fue evaluada en condiciones de laboratorio por cuatro meses, estudiando cada mes el mecanismo de colonización, el desarrollo de los hongos y sus características de crecimiento, así como sus efectos sobre la pared celular de las maderas. También se evaluó la acción del preservante sales CCA sobre la capacidad biodegradante de los hongos. Los patrones de degradación de las maderas por los hongos fueron determinados usando microscopio óptico bajo campo brillante y luz polarizada. *G. trabeum* causó colapso de la pared celular en las maderas de Pino caribe y Drago, mientras que *T. versicolor* y *P. sanguineus* causaron erosión gradual desde el lumen de las células hacia la lámina media, produciendo adelgazamiento del espesor de las paredes. Los tres hongos colonizaron escasamente la madera de Curarire y no generaron ningún tipo de degradación; como tampoco se observó en ninguna de las maderas preservadas con CCA, la cual proporcionó excelente protección contra estos agentes destructores.

PALABRAS CLAVES: *Pinus caribaea*, *Pterocarpus acapulcensis*, *Tabebuia serratifolia*, *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor*, *Pycnoporus sanguineus*, microbiología de maderas, CCA, durabilidad natural e inducida de maderas.

Pathway of degradation of Caribbean pine, Curarire and Drago woods by *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* and *Pycnoporus sanguineus*

ABSTRACT

The mechanisms of colonization and degradation of the wood of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Caribbean pine), *Pterocarpus acapulcensis* (Drago) and *Tabebuia serratifolia* (Curarire), caused by *Gloeophyllum trabeum* (brown rot), *Trametes versicolor* and *Pycnoporus sanguineus* (white rot), are described. The biodegradation of the woods was evaluated under laboratory conditions for four months period, describing every month the mechanism of colonization, the development of the fungi into the wood and their growth characteristics. The effects on the cellular wall of the wood were also studied. The pathway of degradation of the wood by fungi was determined using microscope with low brilliant field and polarized light. *G. trabeum* caused collapse of the cellular wall in the wood of Caribbean pine and Drago, while *T. versicolor* and *P. sanguineus* caused gradual erosion from the lumen of the cells toward the middle lamella, producing loss of the thickness of the cell walls. The three fungi colonized the Curarire wood scarcely and they did not produce any type of degradation. Woods preserved with CCA salts showed no degradation and provides excellent protection against these deterioration agents.

Keywords: *Pinus caribaea*, *Pterocarpus acapulcensis*, *Tabebuia serratifolia*, *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor*, *Pycnoporus sanguineus*, wood microbiology, decay pathway, CCA, wood durability.

INTRODUCCIÓN

La resistencia de la madera ante el biodeterioro está determinada por sus características intrínsecas y por las condiciones finales de uso. Dentro de estos procesos y en ambientes húmedos la pudrición está considerada como una de las mayores causas que afectan su durabilidad, la cual es causada por hongos que utilizan la madera y sus componentes como fuente de alimento (Cassens et al., 1995). Los hongos de pudrición marrón y blanca están clasificados taxonómicamente dentro de la subdivisión Basidiomicotina, comúnmente referidos como Basidiomicetes (Carlile y Watkinson, 1994); éstos conforman el 98 % de todos los hongos que habitan y degradan la madera (Ryvarden, 1995). Los hongos que destruyen la madera degradando la pared celular han sido separados en grupos dependiendo de las características de pudrición que produzcan; blanca, marrón y blanda, son las tres categorías más utilizadas para clasificar las diferentes formas de pudrición (Blanchette et al., 1990). Otros hongos utilizan solo los nutrientes de reserva, almacenados en las células de la madera pero no producen una degradación significativa de la pared celular, causan principalmente una decoloración artificial sobre la superficie, adquiriendo diferentes tonalidades como azul, marrón, gris o roja, dependiendo del organismo y del sustrato (Blanchette et al., 1990); sin embargo, recientes investigaciones (Encinas et al., 1998) señalan que algunos hongos manchadores ocasionan cierto grado de degradación de la pared celular y por lo tanto cambios en las propiedades de resistencia de la madera.

Las diferentes formas en que los hongos colonizan y degradan la madera, son aspectos muy importantes en los estudios de durabilidad y deben tomarse en cuenta a la hora de formular nuevos biocidas y técnicas de preservación para prolongar su vida de servicio. Si bien las diversas especies de árboles producen maderas química y estructuralmente diferentes, todas son susceptibles a los procesos de biodegradación y el crecimiento de los hongos dentro de la madera genera cambios sobre los componentes de la pared celular, alterando sus propiedades de resistencia. Una vez que los hongos entran a la madera éstos desarrollan mecanismos propios de degradación, que van a depender no sólo de su capacidad degradante individual y el tipo de pudrición que produzca, sino que van a depender fundamentalmente de las características anatómicas y la composición química de la madera. La microbiología de la madera es una ciencia

que permite estudiar los mecanismos de degradación de diferentes microorganismos en función de las características intrínsecas del sustrato sobre el cual actúan, de modo que se convierte en una herramienta fundamental para los estudios de conservación de maderas, incluyendo los estudios de durabilidad inducida que se logra mediante la aplicación de tratamientos químicos.

Los estudios sobre la durabilidad de maderas en Venezuela se iniciaron hace aproximadamente tres décadas (Silverborg et al., 1970; LABONAC, 1974; Mayorca, 1976), estos ensayos se caracterizaron por reportar la durabilidad natural de un gran número de especies forestales en base a simples pérdidas de peso sin realizar ningún estudio a nivel estructural para determinar los mecanismos de degradación de las maderas por diferentes microorganismos. El presente trabajo pretende describir los mecanismos de degradación y los cambios que se producen a nivel estructural de los componentes de la pared celular en tres maderas venezolanas, producidos por la acción de tres hongos con capacidad biodegradante reconocida y determinar el efecto de las sales CCA para mejorar su durabilidad natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó madera de *Pinus caribaea* (Mor.) var. *hondurensis* Barr. et Golf. de 30 años de edad, proveniente de las plantaciones de la Estación Experimental El Irel en Barrancas, Estado Barinas, *Pterocarpus acapulcensis* Rose y *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nicholson de los bosques naturales de los Llanos Occidentales y Bosque xerofítico del Estado Falcón, Venezuela. Como agentes biodegradantes se utilizaron dos hongos de pudrición blanca *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilát (FP-133255-R) y *Pycnoporus sanguineus* (L.: Fr.) Murr. y un hongo de pudrición marrón *Gloeophyllum trabeum* (Fr.) Murr. (Mad-617-R). El compuesto químico utilizado para lograr durabilidad inducida en las maderas fue el preservante hidrosoluble CCA Wolman® 72 %.

Las maderas fueron preparadas según la norma para la determinación de durabilidad natural e inducida de maderas ASTM (D-1413) E10-91 soil-block (AWPA, 1992). Para medir el efecto de las sales CCA sobre los mecanismos de degradación de los hongos, se utilizaron concentraciones de 5, 10 y 15 % aplicadas mediante tratamiento a presión (Procedimiento Lowry modificado) para obtener diferentes niveles de retención del preservante. Las observaciones microscópicas

fueron realizadas mensualmente utilizando un microscopio óptico bajo luz normal, para estas observaciones se prepararon cortes finos de cada probeta, tanto en sección longitudinal como transversal, que fueron teñidos con safranina al 0,1 % en glicerol y azul de anilina en 50 % de ácido láctico. La depolimerización de la celulosa en la pared celular se apreció por la pérdida de birrefringencia de los cortes a la luz polarizada.

RESULTADOS

G. trabeum colonizó rápidamente la madera de Pino caribe cubriéndola total y uniformemente con una fina capa de micelio después de 8 días de incubación. En Drago y Curarire el desarrollo fue solo sobre la base de las probetas. Al finalizar el último periodo de incubación el crecimiento del micelio fue mayor sobre las maderas de Pino caribe y Drago (Figura 1).

En la madera de Drago, la colonización inicial por *G. trabeum* fue a través de los vasos, parénquima radial y axial. Después de los primeros 30 días de incubación, aunque los vasos fueron colonizados vigorosamente, éstos no presentaron síntomas de erosión; el ataque se observó hacia el parénquima axial y radial, donde la mayoría de sus células fueron parcialmente erosionadas. Las fibras fueron escasamente colonizadas presentando leve erosión de sus paredes celulares. Durante el segundo y tercer mes de incubación el ataque fue concentrado directamente sobre la capa S₂, generando una fuerte erosión y pérdida de la birrefringencia. El ataque sobre el parénquima radial y axial fue también intensificado durante estos periodos, sin embargo, éstos no fueron destruidos completamente. Al finalizar el cuarto mes de incubación el ataque sobre las fibras fue mucho más evidente, observándose una clara erosión de prácticamente toda la pared celular. En los elementos vasculares, aún cuando fueron fuertemente colonizados, no se observaron síntomas de degradación. *G. trabeum* no colonizó internamente las maderas tratadas con sales CCA y no se observaron síntomas de erosión ni degradación de sus tejidos.

La colonización de *G. trabeum* en la madera de Pino caribe durante el primer mes se inicia en el parénquima radial y los canales resiníferos, pasando posteriormente a las traqueidas mediante penetración pasiva (utilizando las aberturas naturales de la madera); igualmente se observaron numerosas hifas en los lúmenes de las células de la madera temprana y tardía, las cuales

generaron leve erosión de las paredes celulares (Figura 2). Los cortes de madera expuestos a la luz polarizada revelaron una moderada pérdida de la birrefringencia de manera irregular en la capa S₂ de la mayoría de las células. El parénquima radial y las células epiteliales de los canales resiníferos fueron atacados fuertemente por *G. trabeum*. Con este tiempo de incubación, en la madera temprana y tardía fueron observados cristales (oxalatos de calcio), no presentes en la madera sin ataque. Durante el segundo y tercer periodo de incubación, las células de la madera tardía presentaron erosión y pérdida de la birrefringencia con presencia de escasos agujeros de penetración. En la madera temprana las traqueidas mostraron adelgazamiento del espesor de sus paredes, permaneciendo en algunos casos solamente la lámina media. Las células del parénquima radial, canales resiníferos y células epiteliales fueron prácticamente degradadas. El hongo comenzó a penetrar activamente en las células vecinas mediante la producción de agujeros de penetración perpendiculares al eje de las células. Después de 90 días *G. trabeum* causó fuerte erosión en la mayoría de las paredes celulares, incrementando la producción de agujeros de penetración, ensanchamiento y degradación de los bordes de algunas punteaduras. Para el último mes prácticamente todas las células de la madera temprana y tardía colapsaron, presentando apariencia porosa y la total pérdida de la birrefringencia, pero sin afectar la lámina media.

En la madera de Curarire, sólo *G. trabeum* colonizó escasamente los elementos vasculares después del segundo mes de incubación. Aún cuando muy pocas hifas lograron desarrollarse en los diferentes tejidos de la madera, éstos no presentaron síntomas de erosión ni pérdida de la birrefringencia durante todo el periodo de incubación. *T. versicolor* y *P. sanguineus* colonizaron la madera de Curarire vía vasos y parénquima radial. Después de finalizar el primer mes de incubación hifas muy delgadas comenzaron a desarrollarse dentro de los elementos vasculares y en menor proporción en los radios y las fibras, produciendo escasamente una leve y casi imperceptible erosión. Estos patrones de crecimiento se mantuvieron hasta el final del cuarto mes sin producirse cambios notables.

T. versicolor se desarrolló vigorosamente sobre las muestras de Drago, mostrando un crecimiento más lento en Pino caribe y Curarire. Al finalizar el último mes de incubación las probetas de Drago fueron cubiertas por abundante micelio, mientras que en Pino caribe solo se presentó en partes aisladas y en Curarire no se observó crecimiento.

La colonización de la madera de Pino caribe comienza vía parénquima radial y canales resiníferos y en menor proporción a través de las células de la madera temprana. El crecimiento del hongo a lo largo de las cavidades celulares fue escaso, pasando a otras células vecinas solamente por penetración pasiva. Las células del parénquima radial y células epiteliales de los canales resiníferos fueron escasamente erosionadas. Después de tres meses, la zona de lisis comenzó a observarse en casi toda la circunferencia de las paredes y se apreció una mayor degradación de células epiteliales. La degradación de la madera de Pino caribe por acción de *T. versicolor* fue más evidente en el último mes, presentando fuerte erosión de la pared celular desde el lumen hacia la lámina media y exhibiendo adelgazamiento de la pared celular, pero con escasa pérdida de la birrefringencia. La colonización de las cavidades celulares fue mayor y se incrementó la producción de agujeros de penetración y ensanchamiento de punteaduras (Figura 3). El parénquima radial fue fuertemente erosionado llegando a ser en la mayoría de los casos prácticamente destruido.

T. versicolor colonizó la madera de Drago a través de los vasos, parénquima radial y axial. Al finalizar el primer mes de incubación éstos tejidos fueron ampliamente colonizados por el hongo. Sin embargo, el ataque fue confinado hacia los radios y parénquima axial, los cuales fueron levemente erosionados. Aún cuando las fibras fueron escasamente colonizadas, las paredes celulares para este período presentaron evidencias claras de erosión, localizado generalmente en áreas adyacentes a las hifas. Para el tercer mes de incubación la erosión de las paredes celulares fue mucho más fuerte, sobre todo en las células de la madera tardía donde se observó adelgazamiento del espesor de la capa S₂. Numerosas hifas dentro de las cavidades celulares generaron abundantes agujeros de penetración y ensanchamiento de algunas punteaduras. En este periodo el ataque se concentró hacia las células del parénquima axial y radial, resultando el primero seriamente erosionado. Después del último mes la madera ya presentaba síntomas externos, visibles a simple vista, de pudrición avanzada y microscópicamente se notó la total destrucción del parénquima radial y axial, así como una fuerte erosión de la pared celular desde el lumen hacia la lámina media, la cual en algunos casos resultó seriamente degradada. La zona de lisis fue siempre mayor en las adyacencias a las hifas; sin embargo, también se pudo observar ciertas células donde la erosión abarcaba toda la circunferencia de la pared celular. Aún cuando las hifas se presentaron abundantemente dentro de los elementos vasculares, éstos no mostraron

erosión de sus paredes.

T. versicolor colonizó la madera de Curarire vía vasos y parénquima radial. Después de finalizar el primer mes de incubación, hifas muy delgadas comenzaron a desarrollarse dentro de los elementos vasculares y en menor proporción en los radios y las fibras, produciendo escasamente una leve y casi imperceptible erosión. Estos patrones de crecimiento se mantuvieron hasta el final del cuarto mes sin producirse cambios notables.

P. sanguineus colonizó rápidamente las maderas de Pino caribe y Drago, en Curarire su crecimiento fue más o menos abundante. Para el último mes de incubación el desarrollo fue mas notorio sobre las maderas latifoliadas. *P. sanguineus* no colonizó las maderas tratadas con sales CCA logrando crecer escasamente sobre la base en las tres maderas.

Este hongo colonizó la madera de Pino caribe vía parénquima radial y canales resiníferos, invadiendo rápidamente algunas traqueidas a través de penetración pasiva y activa, produciendo una acelerada erosión de las paredes celulares y la aparición de agujeros de penetración transversales. Después del primer mes de incubación, los canales resiníferos, células epiteliales y parénquima radial del pino caribe fueron completamente degradados. Al finalizar el segundo mes de incubación *P. sanguineus* continuó la colonización de la madera temprana y tardía incrementando la degradación con ensanchamiento de punteaduras y erosión de algunos de sus bordes como consecuencia de la penetración pasiva, otro mecanismo de degradación de este hongo. Para el final del cuarto mes el ataque fue observado prácticamente en toda la madera, evidenciándose una erosión gradual desde el lumen hacia la lámina media, la cual generó en la mayoría de los casos disminución del espesor de las paredes celulares (Figura 4), quedando en algunos casos solamente las esquinas de las células. La lámina media fue de igual forma degradada.

P. sanguineus colonizó inicialmente la madera de Drago vía elementos vasculares, parénquima radial, parénquima axial y en menor proporción a través de las fibras. Después de finalizar el primer mes de incubación se observaron hifas abundantes en la mayoría de las células; sin embargo, las células del parénquima radial y axial presentaron una erosión mucho más

pronunciada que las fibras. El hongo produjo agujeros de penetración y ensanchamiento de algunas punteaduras del parénquima axial. Estos patrones de crecimiento se mantuvieron hasta después de culminar el segundo periodo de incubación, donde el ataque fue concentrado sobre las células parenquimáticas ocasionando la total destrucción de los radios y en menor grado degradación del parénquima axial. Durante el tercer y cuarto mes de incubación la degradación de las paredes celulares de las fibras fue más acentuada, originada por una erosión gradual desde la superficie del lumen hacia la lámina media, observándose generalmente una zona de lisis alrededor de toda la pared, originando una disminución del espesor y en algunos casos la ruptura de ésta. Para el último periodo de incubación los elementos vasculares presentaron leve erosión, destacándose un incremento en la cantidad de agujeros de penetración y ensanchamiento de punteaduras.

P. sanguineus colonizó la madera de Curarire de la misma manera que *T. versicolor*, vía vasos y parénquima radial, observándose al finalizar el primer mes de incubación hifas dentro de los elementos vasculares y en menor proporción en los radios y las fibras. Durante los siguientes meses de incubación no hubo variación y al final del cuarto mes no se presentaron síntomas de erosión en las paredes celulares.

Ninguno de los hongos pudo degradar las maderas tratadas con sales CCA, por lo que a pesar que a concentraciones bajas se observó abundante colonización en los vasos de algunas probetas, no se observaron síntomas de erosión ni degradación de los tejidos en estas tres maderas tratadas.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Las diferentes formas de colonización de *G. trabeum*, *T. versicolor* y *P. sanguineus* dependieron principalmente de las características intrínsecas de cada madera, así como de sus capacidades degradantes. El crecimiento abundante y vigoroso de *G. trabeum* sobre Pino caribe estuvo asociado a la afinidad que tienen los hongos de pudrición marrón sobre las maderas coníferas (Eaton y Hale, 1993). Los hongos de pudrición blanca, *T. versicolor* y *P. Sanguineus*, colonizaron fácilmente en la mayoría de los casos las maderas latifoliadas. Se sabe que estos hongos tienen preferencias por estas maderas debido al tipo de lignina presente (Eaton y Hale,

1993). Varios estudios han demostrado que la lignina tipo siringil presente en las latifoliadas es más fácil de degradar enzimáticamente que la lignina guayacil por los hongos de pudrición blanca (Eriksson et al., 1990). Esta observación puede explicar la poca ocurrencia de los hongos de pudrición blanca sobre coníferas que tienen solo lignina guayacil (Highley, 1983; Blanchette et al., 1990).

La menor concentración de sales CCA (5 %) inhibió totalmente el crecimiento de *G. trabeum*, *T. versicolor* y *P. sanguineus* sobre las tres especies estudiadas debido a las altas retenciones alcanzadas en Pino (15,49 Kg/m³) y Drago (12,03 Kg/m³), aunque muy bajo para Curarire (1,08 Kg/m³) debido a su alta densidad y difícil tratabilidad. Este preservante ha mostrado una excelente protección contra la acción de hongos de pudrición marrón y blanca; aunque se tiene conocimiento de que su efectividad no es muy buena cuando la madera es atacada por hongos de pudrición blanda, sobre todo en latifoliadas, debido posiblemente al tipo y cantidad de lignina presente (Eaton y Hale, 1993). Esta situación debe tenerse muy en cuenta a la hora de utilizar maderas tratadas con CCA para uso en contacto con el suelo, puesto que estudios recientes en Venezuela (Encinas, 2000), han demostrado que este tipo de pudrición es muy común y requiere de estudios más avanzados para garantizar la durabilidad de las maderas que sean destinadas a estas severas condiciones de servicio.

G. trabeum, *T. versicolor* y *P. sanguineus* concentraron su ataque inicial en mayor proporción hacia las células del parénquima axial y radial en las latifoliadas, así como el parénquima radial y canales resiníferos en la conífera. 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), así como también las células epiteliales que rodean los canales resiníferos, que son principalmente células no lignificadas fácilmente degradables por la acción enzimática de los hongos (Rayner y Boddy, 1988). Los hongos de pudrición blanca, *T. versicolor* y *P. Sanguineus*, colonizaron inicialmente la madera de Pino caribe similarmente a través del parénquima radial y canales resiníferos; sin embargo, éstos mostraron diferencias en cuanto a sus capacidades biodegradantes: *P. sanguineus* degradó más rápidamente la madera desde los primeros meses de incubación, mostrando gran afinidad por este sustrato; mientras que la degradación causada por *T. versicolor* fue sólo

evidente en los últimos meses de incubación. En cuanto a los hongos de pudrición marrón, es conocida la capacidad de producir cantidades considerables de oxalatos de calcio (Jellison et al., 1997); aunque éstos también pueden ser producidos por hongos de pudrición blanca (Connolly y Jellison, 1995).

El colapso de la pared celular en la madera de Pino caribe y Drago causado por *G. trabeum*, refleja el fuerte ataque sobre los componentes celulolíticos, específicamente sobre las cadenas de celulosas y hemicelulosas (Eaton y Hale, 1993), que origina una rápida disminución en sus grados de polimerización, evidenciado por la clara pérdida de la birrefringencia en la capa S₂ de la pared celular desde las etapas iniciales de pudrición. En Curarire aún cuando el crecimiento de *G. trabeum* fue más o menos abundante durante el primer mes de incubación, éste utilizó la madera solamente como soporte para su desarrollo ya que internamente no fue sino hasta después de finalizar el segundo mes de incubación, cuando escasas hifas lograron penetrar vía vasos y radios sin causar ningún tipo de erosión sobre estos tejidos, indicando una alta resistencia de esta madera al ataque de los hongos de pudrición marrón.

Los patrones de crecimiento de los hongos de pudrición blanca, *T. versicolor* y *P. Sanguineus*, sobre las maderas de Pino caribe y Drago originaron una degradación gradual 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, hemicelulosa y lignina. Cabe destacar que la zona de lisis originada por el ataque de *T. versicolor* estuvo inicialmente relacionada a las adyacencias de las hifas, afectando toda la circunferencia de las paredes a medida que continuaba el ataque. En Drago, las hifas se desarrollaron ampliamente a través de los vasos sin generar degradación de los mismos. *P. sanguineus* logró causar solo una leve erosión al final del último periodo de incubación. Estas observaciones confirman que dentro de las latifoliadas, las fibras y las células del parénquima radial pueden ser totalmente degradadas, mientras que los vasos permanecen relativamente libres de ataque, lo cual se atribuye a las altas cantidades y tipo de lignina presente; los vasos poseen mayor proporción de lignina guayacil que siringil respecto a otros componentes celulares (Blanchete et al., 1990). En términos generales, en las maderas latifoliadas las vías de penetración inicial así como los patrones de crecimiento de *T. versicolor* y *P. sanguineus* fueron diferentes. *T. versicolor* colonizó la madera

de Drago a través de los vasos, parénquima radial y axial; mientras que *P. sanguineus* lo hizo además sobre las fibras. Ambos hongos degradaron fuertemente la madera ocasionando una erosión de la pared celular y la destrucción casi total del parénquima radial y axial. En Curarire aún cuando escasas hifas lograron colonizar la madera, éstas no produjeron erosiones significantes en ningunos de los tejidos, demostrando también la resistencia natural de esta madera contra hongos de pudrición blanca.

Las sales CCA causan una acción fungitóxicas sobre los tres hongos de prueba impidiendo totalmente la colonización de las maderas aún en la menor concentración utilizada (5 %). Inmediatamente después del tratamiento, las sales CCA incrementan el pH dentro de la madera mediante reacción iónica impidiendo el desarrollo de los microorganismos (Daniel y Nilsson, 1989). El sitio de crecimiento de los hongos en relación con la microdistribución del preservante es de real importancia; las sales CCA ejercen su acción tóxica sobre hongos Basidiomicetes en la superficie del lumen (Rayner y Boddy, 1988), alcanzado por el tipo de tratamiento aplicado en esta investigación.

CONCLUSIONES

Los hongos de pudrición marrón y pudrición blanca presentaron diferencias en cuanto al tipo de colonización inicial y patrones de degradación de las maderas. La madera de Pino caribe resultó ser más susceptible al ataque del hongo de pudrición marrón que al ataque de los hongos de pudrición blanca, mientras que la madera de Drago fue principalmente degradada por los hongos de pudrición blanca. La madera de Curarire por su alta durabilidad natural presentó alta resistencia al ataque de los dos tipos de hongos.

Las sales CCA garantizan la inhibición de los procesos de biodegradación como consecuencia del ataque de hongos, tanto de pudrición marrón como de pudrición blanca, en las maderas de Pino caribe, Drago y Curarire. La concentración más baja de preservante utilizada (5 %), fue suficiente para proteger estas maderas contra la acción degradante de los hongos de prueba (*G. trabeum*, *T. versicolor* y *P. sanguineus*) en condiciones de laboratorio.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Dra. Jody Jellison del Laboratorio de Productos Forestales, Ciencia y Tecnología de la Madera. Universidad de Maine, Estados Unidos, por el suministro de las cepas de *G. trabeum* y *T. versicolor* utilizadas en la presente investigación. Del mismo modo, se agradece al Instituto de Investigaciones Forestales (INDEFOR) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales por la donación de la madera de Pino caribe y al Consejo de Desarrollo, Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) Proyecto FO-451-99-01-A, por el soporte económico para realizar este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWPA, 1992. American Wood-Preservers` Association. Book of Standards. 290 p.
- BLANCHETTE, R.; T. NILSSON; G. DANIEL y A. ABAD. 1990. Biological degradation of wood. *Archaeological Wood* 6: 141-174.
- CARLILE, W. y S. WATKINSON. 1994. *The Fungi*. Academic Press, London. 223 p.
- CASSENS, D.; B. JOHNSON; W. FEIST y R. DE GROOT. 1995. Selection and use of preservative-treated wood. *Forest Products Society* N° 7299, Madison. 104 p.
- CONNOLLY, J. y J. JELLISON. 1995. Calcium translocation, calcium oxalate accumulation, and hyphal sheath morphology in the white-rot fungus *Resinicium bicolor*. *Canadian Journal of Botany* 73: 927-936.
- 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.
- EATON, R. y M. HALE. 1993. *Wood: Decay, pests and protection*. Chapman & Hall, London. 546 p.
- ENCINAS, O.; B. HENNINGSSON y G. DANIEL. 1998. Changes in toughness and fracture characteristic of wood attacked by the blue stain fungus *Lasiodiplodia theobromae*. *Holzforschung* 52: 82-88.
- ENCINAS, O. 2000. Biodegradación de maderas venezolanas en ensayos de cementerios de estacas en los Llanos occidentales. *Acta Científica Venezolana* 51: 39-44.

- ERIKSSON, K.; R. BLANCHETTE y P. ANDER. 1990. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer-Verlag, Berlin. 407 p.
- HIGHLEY, T. 1983. Influence of type and amount of lignin on decay by *Coriolus versicolor*. Canadian Journal Forest Research 12: 435-438.
- 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 N° 1312.
- LABONAC, 1974. Características, propiedades y usos de 104 maderas de los altos llanos occidentales. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 106 p.
- MAYORCA, L. 1976. Estudio de durabilidad de 17 maderas de la región centro occidental de Venezuela. Revista Forestal Venezolana 26: 61-72.
- RAYNER, A. y L. BODDY. 1988. Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. John Wiley & Sons, London. 587 p.
- RYVARDEN, L. 1995. Sistemática y ecología de Basidiomicetes lignícolas. Curso de Postgrado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. (Mimeografiado).
- SILVERBORG, S.; L. MAYORCA y J. CONEJOS. 1970. Durabilidad relativa de algunas maderas venezolanas. Revista Forestal Venezolana 19: 61-72.
- ZABEL, R. y J. MORRELL. 1992. Wood microbiology. Decay and its prevention. Academic Press, San Diego. 476 p.