

EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL E INDUCIDA DE *Pterocarpus acapulcensis*, *Tabebuia serratifolia* y *Pinus caribaea* EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Néstor Mora y Osvaldo Encinas

Universidad de Los Andes, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, ULA-MARN, Grupo de Investigación en Conservación de Maderas (GICOM), Mérida-Venezuela. Email: moranest@forest.ula.ve / oencinas@forest.ula.ve

RESUMEN

Se determinó en condiciones de laboratorio la resistencia natural e inducida de tres maderas venezolanas al ataque de dos hongos de pudrición blanca y un hongo de pudrición marrón siguiendo la Norma Americana ASTM (D-1413) E10-91 (soil/block). Se ensayaron una conífera *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (pino caribe) y dos latifoliadas, *Pterocarpus acapulcensis* (drago) y *Tabebuia serratifolia* (curarire); la durabilidad inducida fue obtenida con tres retenciones diferentes de sales CCA aplicadas mediante tratamiento a presión. La pérdida de peso, producto del ataque de hongos en la madera durante cuatro meses de incubación, fue utilizada como medida para evaluar la durabilidad de las maderas. La madera de pino caribe fue más susceptible al ataque de *Gloeophyllum trabeum* (hongo de pudrición marrón) y generó la mayor pérdida de peso (50,84 %); en la madera de drago la mayor pérdida de peso fue causada por el hongo de pudrición blanca *Trametes versicolor* (53,32 %). La madera de curarire fue resistente al ataque de los tres hongos, presentando valores de pérdida de peso inferiores al 2 %. Las muestras de madera tratadas con sales CCA no fueron atacadas por los hongos, mostrando excelente protección aún al nivel más bajo de retención.

Palabras clave: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pterocarpus acapulcensis*, *Tabebuia serratifolia*, CCA, pérdida de peso, durabilidad natural e inducida, *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor*, *Pycnoporus sanguineus*.

ABSTRACT

A soil block test (ASTM D-1413, E10-91) was carried out to evaluate the natural and induced durability of three Venezuelan woods: the conifer wood *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Caribbean pine) and the broadleaf woods *Pterocarpus acapulcensis* (drago) and *Tabebuia serratifolia* (curarire). The samples were pressure treated with CCA salts at three levels of retention. After four months of incubation with *Gloeophyllum trabeum* (brown rot fungus) and *Trametes versicolor* and *Pycnoporus sanguineus* (white rot fungi). The samples of Caribbean pine wood were strongly affected and losses in weight around 50 % was obtained, very close to losses in weight for drago, 53 %. The curarire wood was highly resistant to the degradation by all three tested fungi and very low values of less than 2 % in weight losses were obtained. In the samples treated with CCA salt there was not evidences of degradation by the fungi tested and values of losses in weight comparable to curarire were registered.

Keywords: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pterocarpus acapulcensis*, *Tabebuia serratifolia*, CCA, weight loss, natural and induced durability, *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor*, *Pycnoporus sanguineus*.

INTRODUCCIÓN

La madera constituye sin duda alguna uno de los materiales más importante empleados por el hombre para su evolución y desarrollo; su versatilidad le ha permitido ser utilizada con diferentes propósitos. Sin embargo, como todo material biológico, la madera es susceptible a la degradación por procesos biológicos naturales, fuego y acción de los factores climáticos, que conforman las mayores desventajas para su uso. Aún cuando existen especies que presentan un mayor grado de resistencia a dichos procesos, todas las maderas,

unas en mayor grado que otras, son susceptibles a ser degradadas por lo que es necesario recurrir a técnicas de preservación que permitan aumentar su durabilidad para prolongar su vida de servicio.

Dentro de los procesos de biodegradación de madera, la pudrición está catalogada como una de las mayores causas de deterioro, ésta es causada por ciertas clases de hongos que utilizan la madera y sus componentes como fuente de alimento (Cassens *et al.*, 1995). Existen numerosos tipos de hongos

diferentes que infestan y degradan la madera bajo diferentes condiciones ambientales, los cuales generan cambios visibles en la madera atacada (Willeitner y Liese, 1992). Los hongos de pudrición marrón y blanca se ubican taxonómicamente dentro de la subdivisión Basidiomycotina comúnmente referidos como Basidiomicetes (Carlile y Watkinson, 1994); éstos constituyen un 98 % de los hongos que habitan y degradan la madera (Ryvarden, 1995). Los hongos que destruyen la madera degradando la pared celular pueden ser 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).

La durabilidad inducida de una madera es aquella que se obtiene mediante el uso de sustancias preservantes, logrando de esta manera aumentar su resistencia contra los procesos de degradación (Cassen et al., 1955). La preservación es una técnica especializada por medio de la cual se introduce dentro de la madera sustancias químicas (generalmente pesticidas de uso agrícola) con la finalidad de protegerla contra la acción de diferentes microorganismos, aumentando así la vida de servicio, permitiendo además que aquellas maderas con baja durabilidad natural puedan ser transformadas en materiales más durables (Barnes, 1993). La madera tratada adecuadamente obtiene una durabilidad inducida que le permite aumentar su durabilidad entre 20 y 30 años, en condiciones donde una madera no preservada duraría escasamente 3 años. La preservación de maderas es un concepto poco entendido y desarrollado en Venezuela, por mucho tiempo se han utilizado para uso en contacto directo con el suelo y expuestas a la intemperie maderas duras y pesadas con alto grado de durabilidad natural; consecuentemente, dichas especies han sufrido una explotación selectiva y extensiva por lo que están desapareciendo de los bosques, quedando abundantes especies que si bien presentan baja durabilidad natural, la misma podría ser aumentada mediante el uso de preservantes.

Los estudios de durabilidad de maderas comenzaron a desarrollarse en Venezuela hace algunos años, para evaluar la potencial utilización de las maderas nacionales en la construcción. Más de cien especies fueron estudiadas con este propósito, pero consideraron únicamente la durabilidad natural, es decir sin tratamiento químico alguno; ensayando

métodos de laboratorio (agar y soil/block) y algunos de campo (cementerio de estacas) (Silverborg et al., 1970; Silverborg y Mayorca, 1971; Mayorca, 1972; LABONAC, 1974). Maderas con baja, mediana y alta durabilidad fueron estudiadas en esta forma, incluyendo *Pterocarpus acapulcensis* y *Tabebuia serratifolia*, las cuales son reportadas como maderas poco resistente y altamente resistente respectivamente; resultados concordantes con los presentados por Hess et al. (1950) y Chudnoff (1980) para estas mismas maderas. No existe información en cuanto a la durabilidad inducida de estas especies. La especie *Pinus caribaea*, catalogada como una madera no resistente (JUNAC, 1988), es altamente susceptible a ser atacada por diferentes tipos de hongos de pudrición, especialmente por hongos de pudrición marrón (Wangaard et al., 1955) y hongos manchadores (Chudnoff, 1980; Mohali, 1991; Cedeño et al., 1996; Encinas, 1996,). Su escasa durabilidad se sugiere que está en función del contenido de resinas presentes en el duramen (Chudnoff, 1980; Woods of the World, 1998). Para aumentar la vida útil del pino caribe, se ha propuesto el uso de sales CCA y sustancias ignífugas que la habilitarían para su uso en construcción (Sing y Encinas, 1992; Encinas y Mora, 1998). Tomando en consideración la poca información existente acerca de la durabilidad inducida de maderas de Venezuela, particularmente de drago y pino caribe en comparación con curarire (altamente durable en su condición natural), el objetivo de este estudio fue evaluar la durabilidad natural e inducida con sales CCA de estas especies, utilizando procedimientos estandarizados y técnicas de microbiología de maderas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Madera de una conífera y dos latifoliadas fueron seleccionadas como material de estudio: *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. et Golf. (pino caribe) de 30 años de edad, proveniente de las plantaciones de la Estación Experimental El Irel en Barrancas, estado Barinas, *Pterocarpus acapulcensis* Rose (sangre de drago), y *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nicholson (curarire), de los bosques naturales de los llanos occidentales de Venezuela y bosque xerofítico del Estado Falcón respectivamente. Como agentes biodegradantes se utilizaron dos hongos de pudrición blanca *Trametes*

versicolor (L.: Fr.) Pilát (FP-133255-R) y *Pycnoporus sanguineus* (L.: Fr.) Murr. (4045 Laboratorio de Patología Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales), 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 (cobre-cromo-arsénico) Wolman® 72 %, evaluado conforme las pautas de la AWPA (AWPA, 1992).

La resistencia de las maderas tanto en forma natural como inducida se basó en la determinación de la pérdida de peso y variaciones en el contenido de humedad producto de la acción enzimática de hongos. Para la determinación de la pérdida de peso se siguió la metodología para Basidiomycetes según la Norma ASTM (D-1413) E10-91 soil/block (AWPA, 1992). Las probetas para durabilidad inducida fueron preservadas con CCA a 5, 10 y 15 % de concentración, las retenciones del preservante fueron determinadas por diferencia de peso de las muestras antes e inmediatamente después del tratamiento.

En el diseño experimental se consideraron las tres especies de madera, tres tipos de hongos, cuatro meses de duración del ensayo, tres concentraciones de la sal ensayada y para cada tratamiento resultante se prepararon las probetas por triplicado, para un total de 324 probetas a las cuales se sumaron las 108 probetas consideradas en los tratamientos testigo, resultando un diseño factorial.

Las probetas se prepararon conforme la norma adoptada, con dimensiones 1,9 x 1,9 x 1,9 cm, las que fueron colocadas en frascos de 200 ml de capacidad conteniendo 90 g de suelo con textura franco, pH 5,67 y con 55 % de contenido de humedad. Como bloques de alimentación en contacto directo con el suelo se utilizaron piezas de pino caribe de 0,4 x 1,9 x 3,5 cm. Los frascos fueron tapados y esterilizados por 20 minutos en autoclave a una temperatura de 120 °C y 1 atm de presión y posteriormente se inocularon con un trozo de micelio de aproximadamente 1 cm de las cepas cultivadas en malta-agar al 2,5 % como medio de cultivo en cápsulas de Petri.

Los frascos inoculados con su respectiva identificación fueron incubados por tres semanas, hasta que el micelio de los hongos cubrió los bloques de alimentación. En el intervalo, las probetas de las maderas se secaron en estufa a 60 °C para no alterar la composición ni estructura de los componentes de la pared celular hasta obtener peso constante, que

se consideró el peso inicial de las probetas. Estérilmente se colocaron las probetas a estudiar sobre el bloque de alimentación en los frascos, los cuales fueron tapados e incubados en un cuarto de acondicionamiento a 27 ± 2 °C y 72 ± 5 % de humedad relativa por un período de cuatro meses.

Al finalizar cada período de incubación de treinta días, se sacaron las probetas correspondientes, se removió cuidadosamente el micelio y se procedió a pesarlas utilizando una balanza de 0,1 mg de precisión. Las probetas se secaron en estufa a 105 ± 2 °C por 24 horas y se pesaron nuevamente para determinar la pérdida de peso, con relación al peso inicial. Para cada período de incubación, se midió adicionalmente el contenido de humedad de las maderas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de peso

En la madera de pino caribe en su condición natural, sin tratamiento, después de 30 días de incubación, los tres hongos ensayados ocasionaron un bajo porcentaje de pérdida de peso (menos del 4 %). A los sesenta días de incubación, las muestras inoculadas con *G. trabeum* presentaron mayor pérdida (12 %), en tanto que las inoculadas con *T. versicolor* y *P. sanguineus* no tuvieron mayor variación. *G. trabeum* causó el mayor porcentaje de pérdida de peso (50,84 %) a los cuatro meses de incubación (Figura 1).

Las probetas de sangre de drago no preservadas e inoculadas con *T. versicolor* y *P. sanguineus* presentaron mayores valores de porcentajes de pérdida de peso después del primer mes de incubación (9,66 y 8,29 %), en comparación con *G. trabeum* que perdió escasamente 2,81 %. Las pérdidas de peso fueron aumentando gradualmente hasta alcanzar sus mayores valores al final del último período de incubación (53,32 y 38,28 % para *T. versicolor* y *P. sanguineus* respectivamente). *G. trabeum* ocasionó sólo una ligera pérdida de peso y valores más altos al final del período de incubación (Figura 2).

En la madera de curarire sin tratamiento, los tres hongos ensayados causaron una pérdida de peso muy baja que en ninguno de los casos superó el 2 % al final del período de incubación. Sin embargo, dentro de esta mínima pérdida de peso se observó

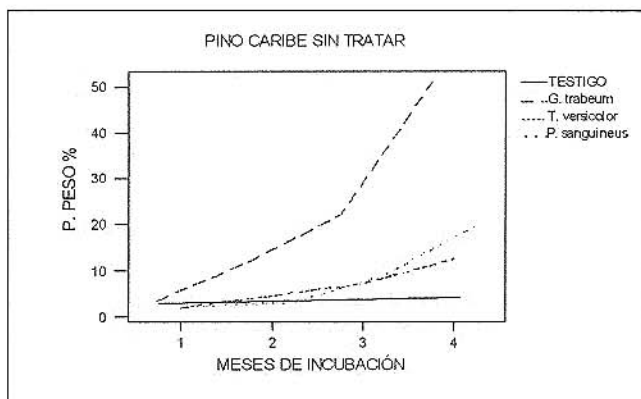


Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso producidos por *G. trabeum*, *T. versicolor* y *P. sanguineus* en la madera de pino caribe no tratada.

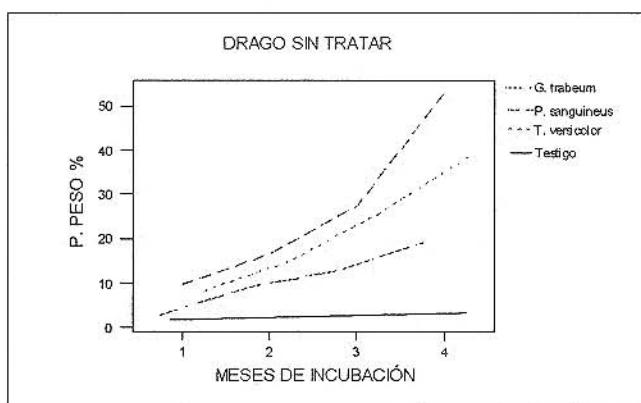


Figura 2. Porcentaje de pérdida de peso producidos por *G. trabeum*, *T. versicolor* y *P. sanguineus* en la madera de sangre de drago no tratada.

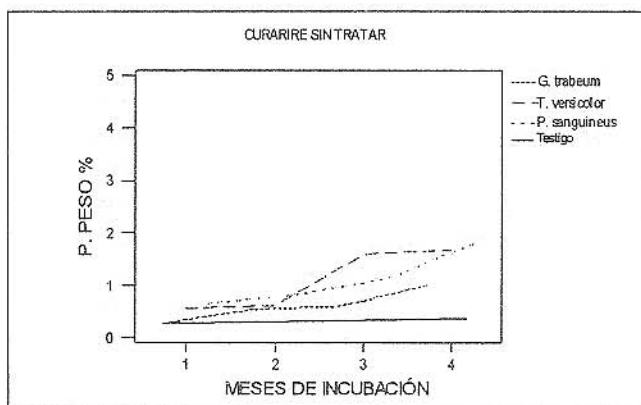


Figura 3. Porcentaje de pérdida de peso producidos por *G. trabeum*, *T. versicolor* y *P. sanguineus* en la madera de curarire no tratada.

un aumento después del segundo mes de incubación en las muestras inoculadas con *T. versicolor* (Figura 3).

En ninguna de las maderas ensayadas y preservadas con sales CCA se observó pérdida de peso

atribuible a los tres hongos ensayados y solamente se registraron pérdidas de menos del 1 % al final de la prueba.

Las características de cada madera resultaron tener una marcada influencia sobre las pérdidas de peso. Los resultados de ANAVA reflejaron diferencias altamente significativas para un nivel de significación del 1 % (valor de $p = 0,000$). Mediante pruebas de comparaciones de medias (Tukey), se estableció que no existieron diferencias significativas en la pérdida de peso entre las maderas pino caribe y drago, que sí son diferentes a las pérdidas registradas en la madera de curarire. La variable hongo no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,820$, nivel de significación $\alpha = 0,01$). El análisis de varianza para la interacción entre los factores madera-hongo, aspecto considerado importante en experimentos factoriales (Caballero, 1976), resultó altamente significativa ($p = 0,000$, al 1 % de significación), lo que indica que estos factores no son independientes entre sí; en consecuencia, las diferencias en las pérdidas de peso promedio para las tres maderas no fueron las mismas para los tres hongos ensayados debido a las diferencias en la acción degradante individual de cada uno de ellos.

La utilización de sales CCA, tuvo un marcado efecto en la inhibición de la pérdida de peso de las tres maderas ensayadas con los tres hongos. El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas ($p = 0,000$, significativa al 1 %) en esta variable, que señala diferencias reales entre las medias de los tratamientos. La prueba de diferencia de medias utilizando el mismo procedimiento, reveló que las tres concentraciones del preservante utilizadas (5, 10 y 15 %) no afectaron significativamente a las pérdidas de peso y que la diferencia entre las medias de los tratamientos fue dada por el tratamiento testigo (sin tratamiento químico); en consecuencia, se puede afirmar que el uso de 5 % de concentración de CCA en la preservación de las tres maderas, es suficiente para evitar la degradación por los hongos de pudrición. La importancia del efecto de las concentraciones del preservante sobre la pérdida de peso de las maderas (Preston y Jin, 1991), fue corroborada con la interacción madera - concentración, la cual resultó ser altamente significativa ($\alpha = 0,01$) y presentó además el más alto valor en la suma de cuadrados de las interacciones (4.885,69), lo que indica que esta interacción es la que más contribuye a la explicación del modelo.

La interacción de segundo orden madera-hongo-concentración resultó ser también importante, presentando en el análisis de varianzas diferencias altamente significativa a un nivel de significación $\alpha = 0,01$ con un valor de $p = 0,000$ y un alto valor de suma de cuadrados (2.437,91), lo que indica que la acción degradante de los hongos sobre las maderas difirió notablemente con los diferentes niveles del factor concentración.

En las tres maderas ensayadas, las pérdidas de peso se incrementaron gradualmente desde el primer mes de incubación; aunque fue después del tercer mes cuando el incremento fue más acentuado, con los valores más altos al final del último período de incubación. Estas diferencias en la pérdida de peso en función del tiempo de incubación, fueron analizadas estadísticamente, y el análisis de varianzas reflejó diferencias altamente significativas ($p = 0,000$, $\alpha = 0,01$), indicando diferencias reales entre los meses de incubación, los cuales a su vez estuvieron relacionados con las diferentes concentraciones, como se demostró con el análisis de la interacción incubación - concentración, que resultó también ser altamente significativa ($p = 0,000$, $\alpha = 0,01$), con un valor alto en la suma de cuadrados (4.008,29). Otra interacción significativa de segundo orden importante, aunque no tanto como la anterior fue la ocasionada por los factores madera - hongo - incubación ($p = 0,000$, $\alpha = 0,01$); el menor valor de la suma de cuadrados de todas las interacciones estadísticamente significativas (495,37), indica que la acción degradante de los hongos sobre las maderas no fue la misma para todos los tiempos de incubación.

De los tres hongos ensayados, *G. trabeum* causó el mayor porcentaje de pérdida de peso sobre la madera de pino caribe sin tratamiento después de cuatro meses de ataque (50,84 %), corroborando la baja durabilidad natural de esta madera frente a los hongos de pudrición marrón. Estos resultados presentan similitud con los observados por Eriksson y colaboradores (1990), quienes reportaron 57,20 % de pérdida de peso en *Pinus* sp. después de 12 semanas de incubación con *G. trabeum*. Jellison et al. (1992), utilizando el mismo hongo, obtuvo valores mucho más bajos (34,30 %) en astillas de spruce (*Picea abies*) empleando el método del soil/block después de 4 meses de incubación. Los hongos de pudrición blanca *T. versicolor* y *P. sanguineus* causaron menor porcentaje de pérdida de peso comparados con *G. trabeum* en la madera de pino

caribe. *T. versicolor* ocasionó 12,59 % de pérdida de peso mientras que *P. sanguineus* 19,94 % después del último período de incubación, indicando una mayor relativa resistencia natural del pino caribe a los hongos de pudrición blanca en comparación con el hongo de pudrición marrón.

Los resultados obtenidos son consecuentes con los obtenidos por Wangaard et al. (1955), quienes reportaron 13,8 % como valores máximos de pérdida de peso en pino caribe proveniente de Honduras, después de 12 semanas de incubación con *T. versicolor* empleando pruebas en agar y soil/block. Existe concordancia en consecuencia con la similar pérdida de peso del pino caribe venezolano frente a este hongo. Con otras coníferas se han observado diferencias apreciables cuando son inoculadas con *T. versicolor* siguiendo la prueba de soil/block y después de 12 semanas de incubación (Kirk y Highley, 1973); los porcentajes de pérdida de peso fueron: *Tsuga heterophylla* 18 %, *Picea glauca* 35 %, *Picea sitchensis* 20 %, *Pinus tadea* 34 % y *Pinus monticola* 50 %.

En la madera de sangre de drago, los mayores porcentajes de pérdida de peso después del último mes de incubación fueron producidos por los hongos de pudrición blanca *T. versicolor* (53,32 %) y *P. sanguineus* (38,58 %), notándose una marcada influencia de la acción degradante individual de estos hongos. Los valores de pérdida de peso con *T. versicolor* son parecidos a los obtenidos por Mayorca (1976) y se encuentran dentro de los obtenidos por Hess et al. (1950) en la misma especie (41,30 % como valor promedio y 69,10 % como valor máximo) después de 16 semanas de incubación en cultivos puros o agar/block. Valores más elevados fueron conseguidos por Mayorca (1976), quien reportó 74,40 % de pérdida de peso con el método agar/block. Este hongo ha mostrado gran afinidad para degradar maderas latifoliadas; Pohleven y Petric (1997) encontraron hasta 61,31 % de pérdida de peso en madera de *Fagus sylvatica*, y reportaron pérdidas de peso de 17,75 % en duramen y 31,42 % en albura en madera de *Eucalyptus saligna* después de 4 meses de incubación utilizando estándares europeos (EN 113).

El hongo de pudrición marrón *G. trabeum* causó también pérdidas de peso significativas sobre la madera de drago que difieren de los obtenidos por Mayorca (1976) con la misma especie. Pohleven y Petric (1997) utilizando los estándares europeos (EN 113) observaron hasta 38,94 % de pérdida de peso en *Fagus sylvatica*, y pérdidas de 19,47 % en el

duramen y 17,50 % en la albura de madera de *Eucalyptus saligna* después de 4 meses de incubación con *G. trabeum*. Al parecer, existen marcadas diferencias en la pérdida de peso cuando se utilizan diferentes métodos con la misma madera y el mismo hongo (Eaton y Hale, 1993); Mayorca (1976) reportó pérdidas de peso del 18,50 % utilizando el método de agar/block y 74,40 % utilizando el método de soil/block después de 16 semanas de incubación con *G. trabeum* en madera de sangre de drago.

De las tres maderas ensayadas y después de 4 meses de incubación con los tres hongos, la madera de curarire fue la que presentó menor porcentaje de pérdida de peso, escasamente 1,03 % con *G. trabeum*, 1,68 % con *T. versicolor* y 1,81 % *P. sanguineus*. Estos resultados confirman las observaciones de Silverborg et al. (1970), que encontraron valores parecidos con los tres hongos, lo que en definitiva señala la alta resistencia de esta especie tanto a los hongos de pudrición marrón como a los hongos de pudrición blanca. Las diferencias observadas en los resultados entre estudios previos y el presente, reflejan básicamente diferencias en las cepas de hongos utilizadas y naturalmente en las diferencias anatómicas que tienen las maderas de la misma especie cuando se toman probetas de distintos árboles.

Contenido de humedad

Las maderas de pino caribe y drago no tratadas, mostraron variación en el contenido de humedad resultante del ataque por los tres hongos de prueba. En la madera de pino caribe, los mayores incrementos en el contenido de humedad fueron ocasionados por *P. sanguineus* y *T. versicolor* (55,34 % y 51,81 % respectivamente), mientras que los valores más bajos fueron observados en las muestras inoculadas con *G. trabeum* (41,44 %), ver Figura 4. En la madera de drago se observó mayor contenido de humedad cuando fue inoculada con *T. versicolor* (65,50 %) y *P. sanguineus* (64,20 %), mientras que con *G. trabeum*, al igual que en la madera de pino caribe, se observaron relativamente bajos contenidos de humedad (48,58 %), ver Figura 5. Debe destacarse que en la madera de curarire, Figura 6, así como en las maderas tratadas con sales CCA, no se observaron cambios considerables en el contenido de humedad en ninguno de los períodos de incubación y con ninguno de los tres hongos ensayados, observándose valores más o menos similares a los de las muestras no inoculadas.

Las características intrínsecas de cada madera influyeron notablemente en el aumento de los valores de contenido de humedad. El análisis de varianza refleja diferencias altamente significativas entre las maderas ($p = 0,000$; $a = 0,01$), con el valor más alto de la suma de cuadrados (12.264,63), que refleja la importancia de esta variable. Las pruebas de diferencia de medias (Tukey), señalaron diferencias significativas en el contenido de humedad entre las tres maderas estudiadas y se confirmó además el efecto de los hongos en el aumento de los contenidos de humedad de las maderas ($p = 0,001$; $a = 0,01$).

Las observaciones al microscopio de luz mostraron alteraciones en la matriz lignina-celulosa atribuibles a la acción de los hongos, lo que explicaría los cambios en la capacidad higroscópica de la pared celular. Las hifas y su consecuente acción enzimática sobre la pared celular generaron tanto ensanchamiento y destrucción de las membranas de las punteaduras, como producción de agujeros en la pared secundaria, consecuencia de la penetración activa de los hongos, que se inicia con la disrupción de las células del parénquima, particularmente las del parénquima radial, lo que permite el consecuente aumento de la permeabilidad en las maderas degradadas por los hongos. Los elevados contenidos de humedad observados en las maderas atacadas por los hongos, también pueden atribuirse al efecto del crecimiento del micelio, el cual transporta humedad desde el suelo hasta el interior de las maderas (Jennings y Lyseck, 1996).

En las maderas sin tratamiento químico el aumento del contenido de humedad está relacionado con las pérdidas de peso originadas por el ataque de los hongos. Se encontraron correlaciones positivas al 1 % de significancia en las maderas sin tratamiento químico, aún en el caso de la madera de curarire, dando origen a regresiones polinomiales de segundo grado para la pérdida de peso - contenido de humedad para las maderas de pino caribe, drago y curarire. En la Figura 4, se presenta el ajuste polinomial para la relación pérdida de peso - contenido de humedad en la madera de pino caribe ($CH = -0,0176 pp^2 + 1,097 pp + 31,284$, $r^2 = 0,4056$).

En la madera de pino caribe posiblemente no sea posible conseguir aumentar el contenido de humedad por encima del 45 % de pérdida de peso por efecto del ataque de los hongos. Con la madera de sangre de drago, debido a su configuración anatómica típica de latifoliada, parece posible obtener mayor contenido de humedad hasta por encima del 55 % de pérdida

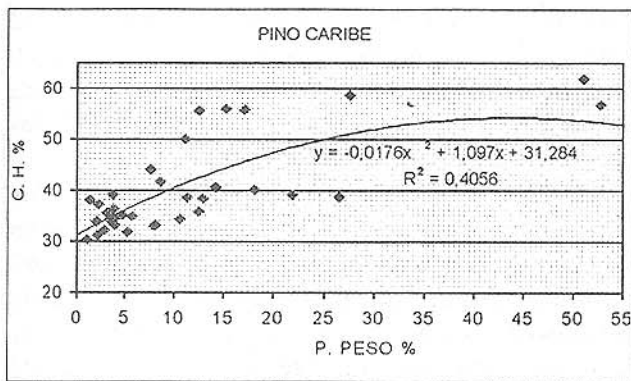


Figura 4. Variación del contenido de humedad en función de la pérdida de peso en la madera de pino caribe.

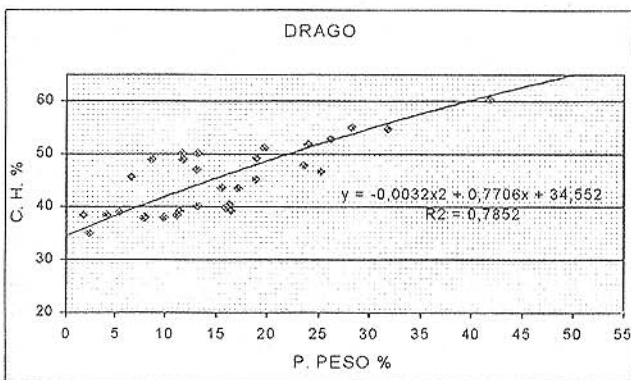


Figura 5. Variación del contenido de humedad en función de la pérdida de peso en la madera de drago.

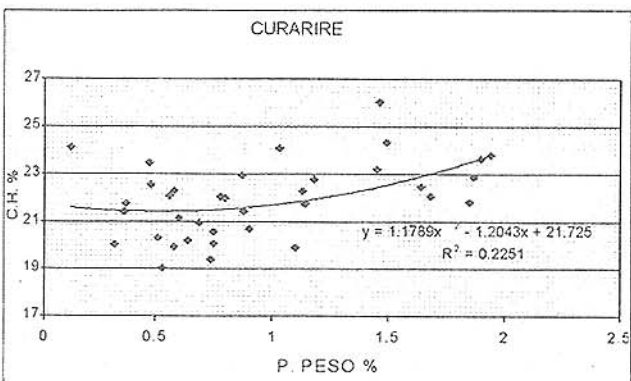


Figura 6. Variación del contenido de humedad en función de la pérdida de peso en la madera de curarire

de peso por efecto de los hongos ($CH = -0,0032 pp^2 + 0,7706 pp + 34,552$, $r^2 = 0,7852$). Con la madera de curarire se obtiene una correlación positiva entre pérdida de peso y contenido de humedad ($CH = -1,1789 pp^2 - 1,2043 pp + 21,725$, $r^2 = 0,2251$), aunque el bajo valor del coeficiente de correlación señala que no es posible proponer proyecciones, particularmente porque las pérdidas de peso nunca superaron el 2% en cualquiera de las condiciones ensayadas.

Otras fuentes importantes para la variación del contenido de humedad de las maderas fueron la concentración del preservante y el tiempo de incubación (Hong y Yamamoto, 1989), que ocasionaron diferencias altamente significativas (valor de $p = 0,000$, significancia del 1%). El análisis de comparaciones de medias (Tukey), señaló diferencias significativas entre el contenido de humedad de las maderas sin tratar y las tres concentraciones del preservante utilizadas (5, 10 y 15%), las cuales a su vez, no fueron significativamente diferentes entre sí. Las sales CCA además de impedir la colonización de las maderas, generaron posiblemente una disminución en la higroscopicidad de las mismas (Findlay, 1985), restringiendo la absorción de humedad. Estas sales reaccionan principalmente con los grupos carbonil, carboxil, metoxil e hidroxil fenólicos de la lignina, celulosas y hemicelulosas, produciendo una absorción del preservante en la sustancia matriz (Peters y Parameswaran, 1980), dejando menor cantidad de radicales libres para reaccionar con el agua. Así, no se observan significativos incrementos en el contenido de humedad por efecto de la aplicación de la sal preservante. El tiempo de incubación influye notablemente en la variación del contenido de humedad de las maderas, ya que los mayores incrementos fueron observados en los últimos períodos de incubación, período en el cual los hongos ejercieron su mayor capacidad biodegradante. Un análisis estadístico más profundo señala que los factores madera, hongo, concentración del preservante y tiempo de incubación no actuaron de manera independiente entre sí. La mayoría de las interacciones entre ellos reflejan diferencias altamente significativas.

Los resultados obtenidos señalan que la aplicación de dosis tan bajas como el 5% de sales CCA, permite alcanzar una buena durabilidad inducida en las maderas de pino caribe y sangre de drago, maderas calificadas como muy poco resistentes en su condición natural (JUNAC 1988), mientras que la madera de curarire no requiere tratamiento alguno para ser utilizado en forma directa por lo que puede considerarse una madera altamente resistente al deterioro por efecto de los hongos ensayados. Como consecuencia de la degradación de la madera por efecto de los hongos, el contenido de humedad de las maderas de pino caribe y sangre de drago aumenta conforme la madera pierde peso por acción de los hongos ensayados; en el caso de la madera de curarire sin embargo, el ataque fúngico no resulta en aumento

del contenido de humedad de la madera aún después de cuatro meses,

Si se considera que en el mercado nacional de la madera cada día son mas escasas las posibilidades de conseguir madera de curarire y otras especies de alta durabilidad utilizadas tradicionalmente como estantes y estantillos en cercos de fincas y haciendas, se abre una buena posibilidad de comercialización de las maderas de pino caribe y sangre de drago que, preservadas adecuadamente, permitirían su utilización por un plazo mucho mas prolongado que el que proporcionan las maderas con durabilidad natural como el curarire (5 a 8 años). El tratamiento de las maderas no encarece significativamente el valor de la madera natural y debe considerarse que el valor agregado que adquieren las maderas tratadas, justifica muy bien su utilización, pues prolonga la vida útil de la madera en servicio en contacto directo con el suelo hasta por 25 años o más dependiendo de la agresividad de los suelos donde van a ser instalados.

CONCLUSIONES

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 y drago, y su consecuente durabilidad inducida puede equipararse a la de curarire, altamente durable en su forma natural. La concentración más baja de preservante utilizada (5 %), fue suficiente para proteger estas maderas contra la acción degradante de los hongos *G. trabeum*, *T. versicolor* y *P. sanguineus* de prueba en condiciones de laboratorio.

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 tipo de hongos.

Los mayores porcentajes de pérdidas de peso en la madera de pino caribe (50,84 %) fueron ocasionados por la acción del hongo de pudrición marrón *G. trabeum*, seguido por los hongos de pudrición blanca *P. sanguineus* (19,94 %) y *T. versicolor* (12,95 %). En la madera de drago los mayores porcentajes de pérdida de peso fueron producidos por los hongos de pudrición blanca *T. versicolor* (53,32 %) y *P.*

sanguineus (30,59 %), y en menor porcentaje por el hongo de pudrición marrón *G. trabeum* (19,17 %). Para la madera de curarire, el porcentaje de pérdida de peso no sobrepasó el 2 % para ninguno de los hongos de prueba.

En las maderas pino caribe y drago, las alteraciones en la matriz ligno-celulosa, como resultado de la acción enzimática de los hongos, aumentan la permeabilidad de las maderas permitiendo de esta manera un aumento considerable en el contenido de humedad, el cual a su vez está directamente relacionado con la pérdida de peso. En la madera de curarire no se observaron alteraciones en la estructura anatómica.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Instituto de Investigaciones para el Desarrollo Forestal (INDEFOR), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela, la donación de la madera de pino caribe utilizada en este ensayo y al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes por el apoyo financiero al desarrollo del mismo. Código del proyecto N° FO-418-98-01-B.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWPA. 1992. *American Wood-Preserver's Association. Book of Standards*. 290 p.
- BARNES, H. 1993. *Wood protecting chemicals for the 21st century*. The International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, Sweden. Document IRG/WP 30018.
- BLANCHETTE, R.; T NILSSON.; G, DANIEL and A, ABAD. 1990. Biological degradation of wood. *Archaeological Wood*, 6: 141 - 174.
- CABALLERO, M. 1976. *Estadística práctica para dasónomos*. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Escuela de Ingeniería Forestal. Oficina de publicaciones. Mérida, Venezuela. 195 p.
- CARLILE, W. and S, WATKINSON. 1994. *The Fungi*. Academic Press, London. 223 p.
- CASSENS, D.; B, JOHNSON; W, FEIST and R, DE GROOT. 1995. *Selection and use of preservative-treated wood*. *Forest Products Society*, N° 7299. Madison. 104 p.

- CEDEÑO, L.; S. MOHALI y E. PALACIOS-PRÜ. 1996. Ultrastructure of *Lasiodiplodia theobromae* causal agent of caribbean pine blue stain in Venezuela. *Interciencia*, 26(5): 264-271.
- CHUDNOFF, M. 1980. *Tropical timber of the world*. United States Department of Agriculture. Forest Products Laboratory. Madison. 826 p.
- EATON, R. and M. HALE. 1993. *Wood: Decay, pests and protection*. Chapman & Hall, London. 546 p.
- ENCINAS, O. 1996. Development and significance of attack by *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. & Maubl. in caribbean pine wood. Doctoral Thesis. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria 8. Uppsala, Sweden.
- ENCINAS, O. y N. MORA. 1998. Mecanismos de degradación de la madera de pino caribe venezolano por hongos de pudrición marrón y blanca. *Ier Congreso Forestal Venezolano*. Mérida 29 – 31 Octubre 1998. Mérida, Venezuela.
- ERIKSSON, K.; R. BLANCHETTE and P. ANDER. 1990. *Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components*. Springer-Verlag, Berlin. 407 p.
- FINDLAY, D. 1985. *Preservation of timber in the tropic*. Martinus/Junk Publisher, The Netherlands. 273 p.
- HESS, R.; F. WANGAARD and F. DICKINSON. 1950. Properties and uses of tropical woods. Yale University, *School of Forestry II* (97): 93–95.
- HONG, L. and K. YAMAMOTO. 1989. A note on a laboratory method for estimating durability of some tropical hardwoods. *Journal Tropical Forest Science*, 2: 167 - 170.
- JELLISON, J.; K. SMITH and W. SHORTLE. 1992. *Cation analysis of wood degraded by white and brown rot fungi*. The International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, Sweden. *Document IRG/ WP 1552*.
- JENNINGS, D. and G. LYSECK. 1996. *Fungal biology. Understanding the fungal lifestyle*. BIOS Scientific Publisher, Oxford. 156 p.
- JUNAC. 1988. *Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas*. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima. Peru.
- KIRK, T. and T. HIGHLEY. 1973. Quantitative changes in structural components of conifer wood during decay by white- and brown-rot fungi. *Phytopathology*, 63: 1338 – 1342.
- 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. 1972. Durabilidad natural de 115 maderas de la Guayana Venezolana. *Revista Forestal Venezolana*, 22: 27 – 36.
- MAYORCA, L. 1976. Estudio de durabilidad de 17 maderas de la región centro occidental de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 26: 61 - 72.
- MOHALI, S. 1991. Estudio histológico de madera de pino caribe con manchado azul causado por *Botryodiplodia theobromae*. *Fitopatología Venezolana*, 6: 14-17.
- PETERS, G. and N. PARAMESWARAN. 1980. Transmission electron microscopical localization of salt preservatives components in wood cell walls. *Wood Science and Technology*, 14: 81 - 88.
- POHLEVEN, F. and M. PETRIC. 1997. *Resistance of the wood of Eucalyptus saligna and Paulownia tomentosa against some wood rotting fungi*. The International Research Group on Wood Preservation. Stockholm, Sweden. *Document IRG/ WP 10238*.
- PRESTON, A. and L. JIN. 1991. *Wood chemical interactions and their effect on preservative performance*. In: *The chemistry of wood preservation*. Thompson CBE, Teddington. 315 p.
- RYVARDEN, L. 1995. *Sistemática y ecología de Basidiomycetes lignícolas*. Curso de Postgrado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. (Mimeografiado). 35 p.
- SILVERBERG, S.; L. MAYORCA y J. CONEJOS. 1970. Durabilidad relativa de algunas maderas venezolanas. *Revista Forestal Venezolana*, 19:61-72.
- SILVERBERG, S. y L. MAYORCA. 1971. Durabilidad relativa de la parte central, media y externa del tronco de 32 maderas de los Llanos Occidentales. *Revista Forestal Venezolana*, 21: 65 – 75.
- SING, J. y O. ENCINAS. 1992. Tratamiento de la madera de pino caribe con sales CCA e ignífugos. *Revista Forestal Latinoamericana*, 10: 69-85.
- WANGAARD, F.; A. KOEHLER and A. MUSCHLER. 1954. Properties and uses of tropical woods. Yale University. *School of Forestry*, IV (99): 155-162.
- WANGAARD, F.; STERN and GOODRICH. 1955. Properties and uses of tropical woods. Yale University. *School of Forestry*, V (103): 81-87.
- WILLEITNER, H. and W. LIESE. 1992. *Wood protection in tropical contries. A manual on the know-how*. Deutsche Gesellschaft für Technisch Zusammenarbeit (GTZ). GmbH. Eschborn. 228 p.
- WOODS OF THE WORLD. 1998. <http://www.windsorplywood.com/woodsoftheworld/>