

DURABILIDAD NATURAL DE *ALNUS* *ACUMINATA* KUNTH

Natural durability of *Alnus acuminata* Kunth

OSWALDO ERAZO¹, YORDANA FERNÁNDEZ¹, YOLY MOLINA¹,
JESÚS ARAUJO² Y OSWALDO ENCINAS¹

¹Grupo de Investigación en Conservación de la Madera (GICOM), ULA, ²Escuela de Ingeniería Forestal, ULA

Recibido Junio 2019 Aceptado Noviembre 2019

Resumen

En las comunidades rurales de Los Andes venezolanos, la madera del aliso es ampliamente utilizada como elemento estructural, artesanal y en labores agrícolas, especialmente como estantillos para delimitación de fincas y en la fabricación de arados. Por lo general, las condiciones de uso de esta madera son de continua exposición a la humedad, deteriorándose en muy poco tiempo. El objetivo de la investigación fue estudiar la durabilidad natural de *Alnus acuminata* ante el ataque de hongos de pudrición blanca: *Trametes versicolor* e *Irpex lacteus* y marrón: *Gloeophyllum trabeum* y *Coniophora puteana*, bajo un ensayo de laboratorio. Se prepararon cubos de madera de 19x19x19 mm obtenidos de diferentes posiciones en el árbol, base, media y ápice. Se utilizó como medio de cultivo extractos de malta agar. Se determinó la pérdida de peso cada cuatro semanas hasta completar un periodo de 16 semanas según la norma ASTM D-2017. Se categorizó la durabilidad natural del aliso de acuerdo a la norma ASTM D-2017 y el Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas. La madera del aliso presentó una baja durabilidad ante el ataque de los hongos de pudrición. Independientemente de la posición ápice, media y base, las piezas de maderas fueron degradadas. La madera de aliso se cataloga como una especie no resistente al ataque de *I. lacteus*, *T. versicolor* y *G. trabeum* y moderadamente resistente con *C. puteana*.

Palabras claves: *Alnus acuminata*, durabilidad natural, hongos de pudrición blanca y marrón

Abstract

The rural communities in the Andean Venezuelans, aliso wood has been widely used as structural element, craft, and agriculture activities such as ploughing tools and for fencing-off the perimeters of farms. Normally, aliso wood is used under very extreme humid conditions. The aim of this research was to study the natural durability of aliso against white-rot fungi: *Trametes versicolor* and *Irpex lacteus*, and brown-rot fungi:

Gloeophyllum trabeum and *Coniophora puteana*, in a laboratory test. From three positions in a tree: basal, middle and apex, cubes of 19x19x19mm were prepared. Agar malt extracts were used as culture medium. Weight loss was determined every four weeks to complete a period of 16 weeks according to ASTM D-2017. The natural durability of aliso was categorized according to ASTM D-2017 and the Andean Group Manual for the Preservation of Wood. Aliso wood had a low durability when attacked by rot fungi. Regardless of the apex, middle and base position, the wood pieces were degraded. Aliso wood is classified as not resistant to the attack of *I. lacteus*, *T. versicolor* and *G. trabeum* and moderately resistant to *C. puteana*.

Key words: *Alnus acuminata* wood, natural durability, white rot fungi, brwn rot fungi,

1. Introducción

Los miembros del género *Alnus* son plantas leñosas que varían en tamaño, desde pequeños arbustos hasta árboles grandes (Furrow, 1979). *Alnus acuminata* Kunth es conocido como aliso. Los árboles de aliso tienen copas estrechas e irregulares, con alturas variables que llegan hasta los 30 metros, con diámetros de 60 cm; troncos con corteza lisa a ligeramente áspera, escamosa en individuos viejos, de color gris a marrón grisáceo, a veces plateada (Ospina *et al.*, 2005). La madera del aliso tiene una densidad entre 0,36-0,42 $g \cdot cm^{-3}$. No hay diferenciación entre albura y duramen, de color crema uniforme en condición verde y rosada, marrón claro o castaño cuando está seco. La madera recién cortada presenta un color anaranjado. Tiene fibra recta, de textura fina, lustre mediano a bajo y sin olor (CATIE, 1995).

La madera de aliso por ser ligera es usada en construcciones livianas, como vigas, soleras y en general, para elementos estructurales sometidos a cargas pequeñas; además tiene buena trabajabilidad, es fácil de tallar, no tiende a torcer ni rajarse. También tiene un buen acabado, por lo que se puede utilizar en la elaboración de muebles decorativos, gabinetes, puertas y ventanas, molduras, carpintería fina, cielos rasos y ataúdes. Asimismo, ha sido ampliamente usada para leña debido a su valor calórico de 4.600 kcal/kg (Ospina *et al.*, 2005).

Por otra parte, el aliso es una especie que se encuentra distribuida desde México hasta Argentina. No obstante, el área de mejor desarrollo del aliso, y también de su mayor variabilidad, es en el sur de México y el norte de América Central, señalándose a esta región como un posible sitio de origen (Furrow, 1979). En Los Andes venezolanos se puede encontrar, principalmente en los bosques nublados y zonas húmedas y muy húmedas de los Bosques Premontanos, Montanos y Montano Bajo según el Sistema de Zonas de Vida de Holdridge. Crece con gran facilidad entre los 2000 y 3000 msnm, especialmente en las riberas de los ríos y en suelos muy húmedos (Briceño, 2002).

El Parque Nacional Sierra Nevada (PNSN) es uno de los parques más emblemáticos de Los Andes venezolanos por sus innumerables paisajes e invaluables

recursos naturales, de especial interés para los servicios ambientales de la población, la ciencia, el turismo y la recreación. Dentro de los límites del PNSN, el aliso está distribuido en varias unidades de vegetación, entre ellas Páramos (principalmente en los bosquetes parameros), Selvas Nubladas, Arbustales Secos y Bosquetes Intervenidos y Áreas de Uso Agropecuario Estable (UFORGA-ULA, 1999).

La madera de aliso empleada en los ensayos del presente estudio, se obtuvo de un individuo adulto aprovechado con fines académicos en las inmediaciones del Puesto de Guardaparques del sector Plan del Morro, dentro de la poligonal del PNSN, específicamente en la vertiente derecha de la subcuenca del río Nuestra Señora, a una altitud de 2.330 msnm, inmediatamente luego de atravesar la divisoria de aguas con la microcuenca de la quebrada La Gavidia, donde la vegetación adquiere matices de transición entre la unidad ecológica Selva Nublada Montana Alta (2.200 a 3.000 msnm.) y la unidad ecológica Bosque Siempreverde Seco Montano Alto (2.000 a 2.700 msnm), ambas descritas por Ataroff y Sarmiento (2003).

La unidad Selvas Nubladas representa el 33 % de las 276,446 hectáreas que conforman al PNSN, siendo la unidad donde mejor definidas estaban los bosques de aliso, sin embargo, la continua intervención antrópica ha convertido a estas comunidades en arbustales y bosquetes, estableciendo nuevos límites y mezclando nuevos elementos florísticos (UFORGA-ULA, 1999), lo que ha ocasionado un impacto negativo sobre la biodiversidad y una clara violación al objetivo fundamental del PNSN consiste en la protección y conservación de los recursos naturales y el equilibrio ecológico, en beneficio del interés colectivo de las generaciones actuales y futuras (Art. 3, Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del PNSN, 1992).

La extracción sistemática de madera de aliso para ser utilizado como leña debido a su alto valor calórico, además de su uso como estantillos en la delimitación de fincas agrícolas ha causado serios daños a estos ambientes frágiles. La exposición de la madera de aliso a condiciones de humedad extremas sin ningún tipo de tratamiento causa su degradación en muy poco tiempo, haciendo que los pobladores recurran a la extracción de madera para reponer las piezas deterioradas. Esto trae como consecuencia una degradación del ecosistema. Además, ha creado una gran preocupación en la comunidad en general por el uso frecuente de este recurso forestal dentro de una zona protegida.

Por otro lado, existe poco conocimiento sobre el uso adecuado y en especial sobre la durabilidad natural del aliso. Por tal motivo, la presente investigación tiene como objetivo estudiar la durabilidad natural de *A. acuminata* ante el ataque de los hongos de pudrición blanca *Trametes versicolor* e *Irpex lacteus* y los hongos de pudrición marrón *Gloeophyllum trabeum* y *Coniophora puteana*, bajo una prueba de laboratorio. Conocer la durabilidad de la madera del aliso, también contribuirá con la divulgación de información útil para las comunidades andinas rurales, asentadas en los pisos andino y altoandino de Los Andes venezolanos, donde es ampliamente utilizada como elemento estructural, artesanal y en labores agrícolas (estantillos y fabricación de

arados), de modo de crear concienciación sobre el uso de esta especie forestal.

2. Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF) de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. La madera de aliso fue procesada a las dimensiones del ensayo en la sección de Carpintería del LNPF y las cepas de los hongos de pudrición blanca *Irpex lacteus* y *Trametes versicolor*, y los hongos de pudrición marrón *Gloeophyllum trabeum* y *Coniophora puteana*, fueron suministradas por la Sección de Secado y Preservación de Maderas del LNPF.

2.1. Preparación de probetas de madera

Se obtuvieron piezas de diferentes partes del árbol como: ápice, media y base, con el objeto de estudiar diferencias en la biodegradación en estas posiciones del árbol. Se prepararon cubos de madera de 19 x 19 x 19 mm, libres de defectos y se codificaron.

2.2. Establecimiento del ensayo de durabilidad natural

Se utilizó extracto de malta agar como medio de cultivo para el desarrollo de los hongos. La inoculación de los hongos se realizó en una cámara de flujo laminar Labconco Purifier Class II. Inóculos de 1 cm² de diámetro de cada especie de hongo fueron introducidos en frascos de vidrios de 50 ml, luego fueron puestos en un cuarto de acondicionamiento a una temperatura de 21°C y humedad relativa de 65 %. Una vez que el micelio de los hongos cubrió toda la superficie del agar, se colocaron rejillas de plástico esterilizadas de 30x50 mm para soportar los cubos de madera. Cada cubo fue pesado en una balanza analítica Denver Instrument Company de precisión 0,1 mg y se registró su peso cada 24 horas hasta alcanzar peso constante, luego se esterilizaron en el autoclave y se colocaron inmediatamente en los frascos inoculados, los cuales fueron sellados con papel parafilm y llevado de nuevo al cuarto de acondicionamiento. La durabilidad natural del aliso fue evaluada a través de la norma ASTM D-2017 (1998), durante 16 semanas de exposición, evaluándose la pérdida de peso en cuatro períodos de tiempo de cuatro semanas cada uno.

2.3. Determinación de la pérdida de peso de las maderas

Al finalizar el primer período de incubación del hongo se extrajeron las primeras probetas de los frascos, se removió cuidadosamente el micelio con un cepillo de dientes, se pesaron las piezas y se colocaron en la estufa a 103°C. Las probetas se pesaron cada 24 horas, hasta obtener peso constante. Este procedimiento se realizó hasta completar las 16 semanas. El porcentaje de pérdida de peso (%pp) se calculó utilizando el peso de los cubos acondicionados (p_i) inmediatamente antes de la esterilización en el autoclave y el peso de los cubos acondicionados después de cada período de incubación y la eliminación del micelio fúngico (p_f) utilizando la siguiente ecuación:

$$\%pp = \frac{p_i - p_f}{p_i} \times 100 \% \quad (1)$$

La durabilidad natural de la madera fue clasificada en función de la pérdida de peso, considerando lo establecido en la norma ASTM D-2017 y el sistema de clasificación del Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas (JUNAC, 1988).

2.4. Observación microscópica

Se observó el daño causado a la madera por los hongos a nivel microscópico. Se realizaron cortes muy finos en la parte transversal de la probeta y se le añadió safranina al 0,1 % para poder observarla a diferentes magnificaciones en un microscopio óptico *Olympus* modelo *CX31*, con cámara fotográfica integrada *Olympus* modelo *E-620*, bajo luz normal.

2.5. Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial general, considerando 4 tipos de hongos de pudrición y 3 posiciones en el árbol y tiempo de 16 semanas. En cada frasco se colocaron 3 cubos de madera y se hizo 2 réplicas, ensayándose un total de 288 probetas. Los datos se procesaron con el programa estadístico, Statistical Package for Social Sciences (SPSS para Windows) versión 20. Los análisis de varianza (ANOVA) se utilizaron para encontrar las posibles diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las medias de la pérdida de peso por tipo de hongo y posición de la pieza de madera en el árbol. Se aplicó un test de diferencia de medias de Duncan.

3. Resultados y discusión

3.1 Pérdida de peso

Los resultados del porcentaje de pérdida de peso se obtuvieron para las 16 semanas de incubación, haciendo evaluaciones cada 4 semanas con el objetivo de tener un registro de la evolución de la biodegradación. Durante este período se observó un incremento en la pérdida de peso de las probetas a medida que transcurría las semanas. Como es de esperar durante las primeras 4 semanas, la pérdida de peso es considerablemente inferior a las encontradas en las últimas semanas de evaluación, esto se debe a que los hongos en los primeros meses de incubación cumplen con un proceso de adaptación y colonización en el nuevo sustrato, consumiendo solo materiales de bajo peso molecular. Luego al avanzar hacia la estructura celular de la madera, los hongos comienzan a segregar enzimas que actúan directamente sobre el sustrato convirtiéndolo en una fuente de carbono, por tanto se produce una disminución del material lignocelulósico (Zabel y Morrell, 1992). Es importante destacar que *T. versicolor* durante las primeras cuatro semanas causó una pérdida de peso en la posición apical de 34,32 %, siendo el hongo con mayor potencial de degradación de las 4 especies de microorganismos estudiadas.

En el Figura 1 se muestran los porcentajes de pérdida de peso de la especie *A. acuminata*, para los hongos y posición, durante las 16 semanas. Se observa como los hongos de pudrición blanca *T. versicolor* e *I. lacteus* causaron la mayor pérdida de peso. En especial *T. versicolor* produjo los mayores valores, alcanzando un 61,84 % de pérdida de peso en el ápice, seguido de *I. lacteus* con 52,11 % y *G. trabeum* con 46,70 %, pero en *C. puteana* se evidencia un comportamiento contrario, se reportó un 14,66 %. Este valor bajo, en parte, se debe al proceso lento de colonización de *C. puteana* sobre los cubos de madera, en comparación a los hongos de pudrición blanca, incluso mucho menor que el hongo de pudrición marrón *G. trabeum*, en especial, se observó que las piezas de la sección del ápice no presentaron una colonización vigorosa, además de notarse que el micelio estaba experimentando un proceso de autólisis parcial, afectando el crecimiento normal del hongo (Blanchette *et al.* 1997).

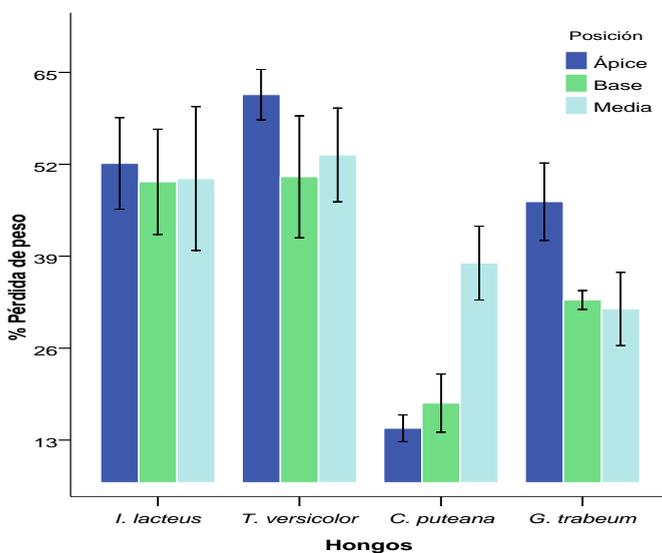


Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso/posición de *A. acuminata*

Para la posición basal y media, en todos los hongos se presentaron valores muy cercanos entre sí, lo que evidencia que ambas secciones no presentan grandes variaciones en su composición estructural. Al igual que en el ápice, existe un patrón de mayor degradación para *T. versicolor*, *I. lacteus* y *G. trabeum* con valores superiores a 49 %, 50 % y 31 %, respectivamente. No obstante, *C. puteana* muestra valores muy diferentes entre la sección media y basal de 38,02 % y 18,22 %, respectivamente. Este comportamiento difiere considerablemente en comparación a los otros hongos estudiados. El bajo valor en la parte apical se debe a que el micelio en algunas piezas no logró colonizar completamente la superficie de la madera y además, se observó que los hongos comenzaron un proceso de autólisis a partir del tercer mes.

Todos los resultados anteriores están dentro del rango de valores reportado por Moya *et al.* (2010), que encontraron pérdidas de peso de 47,5 % y 37,5 % en probetas

extraídas cerca de la médula y de la parte media y cerca de la corteza, respectivamente.

Por otro lado, el estudio del ataque de estos hongos sobre diferentes posiciones de las piezas en el árbol permite conocer su comportamiento. El hecho de que los árboles son organismos con una alta variabilidad entre especies y dentro del propio árbol (Arroyo, 2003), influye en su composición química, ya que no se presenta en iguales cantidades en un árbol, es decir ésta varía en función de la posición radial del fuste y la altura y; en la primera se tiene que la madera de albura y de duramen presenta diferencias en cuanto a la composición de sus componentes estructurales. En la segunda, a mayor altura, hay más contenido de celulosa debido a que en la diferenciación celular, la lignificación es la última etapa que ocurre en el árbol. De este modo, la parte apical del tronco tiene menor contenido de lignina (Leal *et al.* 2011), además hay mayor cantidad de albura que de duramen y por ende es más propensa a la biodegradación (Baonza *et al.* 2001). Por el contrario, en la base, hay mayor proporción de madera madura, consecuentemente mayor abundancia de células lignificadas que hacen una mayor resistencia a la biodegradación (Carballo *et al.* 2004).

Como se indicó anteriormente, los hongos de pudrición blanca fueron más agresivos atacando al aliso. Esto se debe a la preferencia que tienen éstos microorganismos por las maderas de especies latifoliadas principalmente por su composición química de la pared celular, es decir tienen mayor cantidad y tipo de lignina, especialmente unidades siringil, cuyos núcleos son más bajos produciendo potencial redox, en comparación a los núcleos guayacil, lo que origina una mayor transferencia de electrones oxidantes de menor poder y por lo tanto mayor degradación de la lignina (Eriksson *et al.* 1990; Eaton y Hale, 1993), a su vez, es más resistente a los hongos de pudrición marrón (Tsoumis, 1991). Aunque estos hongos degradan preferiblemente maderas de coníferas, también pueden deteriorar maderas de latifoliadas (Mora y Encinas, 2006). En el caso del aliso, esto se evidencia con *G. trabeum* que tanto para la base como la parte media del árbol presentaron un pérdida de peso superior al 31 %, incluso llegando a 46,7 % en el ápice. En el caso de *C. puteana*, el máximo valor se encontró en la parte media con 38,02 %. Estos valores demuestran que el aliso es susceptible a ambas categorías de hongos.

Por su parte, el análisis de varianza presentó diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significancia $\alpha = 0,05 \%$, para la pérdida de peso en función de las posiciones, así como para los cuatro hongos de pudrición. La prueba de Duncan revela que ambos grupos de microorganismos tienen comportamientos diferentes debido a sus preferencias para alimentarse de los componentes estructurales de la pared celular, por lo que se formaron 4 subconjuntos, uno para cada hongo. En cuanto a las posiciones del árbol, la prueba Duncan mostró la formación de 2 subconjuntos, el primero formado solo con la posición basal y el segundo compuesto por las secciones media y ápice.

Los Cuadros 1 y 2 presentan la categorización de las especies ensayadas según su durabilidad natural, la cual establece un rango de resistencia a la degradación de

agentes biológicos según el porcentaje de pérdida de peso que sufran las maderas expuestas a la acción de los hongos xilófagos. Basándose en los criterios de clasificación de la Norma ASTM D-2017 y el sistema de clasificación del Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas se determinó la durabilidad del aliso. Aunque ambas normas tienen categorías muy similares, se consideró importante utilizar ambas, ya que, los intervalos para el porcentaje de pérdida de peso son diferentes, lo que puede conllevar a ubicar a una especie en particular en una categoría distinta, tal como se muestra en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Durabilidad natural del aliso de acuerdo a la norma ASTM D-2017

| Hongo | Posición | Pérdida de peso y grado de resistencia | | | |
|----------------------|----------|--|---------|---------|-------|
| | | 0-10 % | 11-24 % | 25-44 % | >45 % |
| | | AR | R | MR | NR |
| <i>I. lacteus</i> | Ápice | - | - | - | X |
| | Media | - | - | - | X |
| | Base | - | - | - | X |
| <i>T. versicolor</i> | Ápice | - | - | - | X |
| | Media | - | - | - | X |
| | Base | - | - | - | X |
| <i>C. puteana</i> | Ápice | - | X | - | - |
| | Media | - | - | X | - |
| | Base | - | X | - | - |
| <i>G. trabeum</i> | Ápice | - | - | - | X |
| | Media | - | - | X | - |
| | Base | - | - | X | - |

AR=altamente resistente, R=resistente, MR=moderadamente resistente, NR=no resistente (Elaboración propia).

Todas las probetas de aliso obtenidas de las diferentes posiciones en el árbol, expuestas a los hongos de pudrición blanca *T. versicolor* e *I. lacteus* resultaron ser *no resistente*, con porcentaje de pérdida de peso superior al 30 % y 45 % según el Manual del Grupo Andino y la norma ASTM D-2017, respectivamente. En relación a los hongos de pudrición marrón, por un lado, la madera de aliso atacada con *G. trabeum* es clasificada como *no resistente* según el Manual del Grupo Andino, pero de acuerdo a la ASTM D-2017, solo la sección del ápice es *no resistente*, mientras que las secciones basal y media son categorizadas como moderadamente resistente. Por otra parte, *C. puteana* debido a que algunas piezas no presentaron una colonización vigorosamente del micelio, el porcentaje de pérdida de peso para las posiciones ápice y base fueron muy bajas, por lo que según el Manual Andino, estas secciones son clasificadas como *moderadamente resistente* y de acuerdo a la norma ASTM D-2017 es clasificada como *resistente*, sin embargo, como se explicó anteriormente, estos resultados tuvieron sujetos a condiciones de crecimiento que pudieron causar que el hongo no

consumieran los componentes estructurales y por lo tanto su pérdida de peso fue baja.

Cuadro 2. Durabilidad natural del aliso según el Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas de la Junta del Acuerdo de Cartagena

| Hongo | Posición | Pérdida de peso y grado de resistencia | | | | |
|----------------------|----------|--|-------|--------|---------|-------|
| | | 0-1 % | 1-5 % | 5-10 % | 10-30 % | >30 % |
| | | AR | R | MR | MPR | NR |
| <i>I. lacteus</i> | Ápice | - | - | - | - | X |
| | Media | - | - | - | - | X |
| | Base | - | - | - | - | X |
| <i>T. versicolor</i> | Ápice | - | - | - | - | X |
| | Media | - | - | - | - | X |
| | Base | - | - | - | - | X |
| <i>C. puteana</i> | Ápice | - | - | - | X | - |
| | Media | - | - | - | - | X |
| | Base | - | - | - | X | - |
| <i>G. trabeum</i> | Ápice | - | - | - | - | X |
| | Media | - | - | - | - | X |
| | Base | - | - | - | - | X |

AR=altamente resistente, R=resistente, MR=moderadamente resistente, MPR=muy poco resistente, NR=no resistente (Elaboración propia)

3.3 Patrones de degradación de los hongos de degradación

Se procedió a realizar una descripción de la biodegradación producida por los hongos de pudrición, identificándose los patrones de degradación producidos sobre los elementos celulares del aliso.

3.3.1 Observaciones del ataque producido por *I. lacteus*

Este hongo presentó un desarrollo miceliar bastante vigoroso sobre las probetas ensayadas, cubriéndolas totalmente con el micelio, el cual era denso, de textura algodonosa y de color blanco, inclusive se extendió a lo largo del envase. A nivel microscópico, las muestras de la parte apical y basal, presentaron una pudrición blanca simultánea avanzada, resultando un gran número de células degradadas desde el lumen hacia la lámina media, consecuente se generó un notable adelgazamiento de la pared celular conllevando a la fractura entre las células adyacentes. Por su parte la probeta de la parte media presentó un ataque de tipo pudrición blanca selectiva, en el que la degradación se concentró directamente sobre la lámina media y como consecuencia ocurrió la separación de las células (Figura 1).

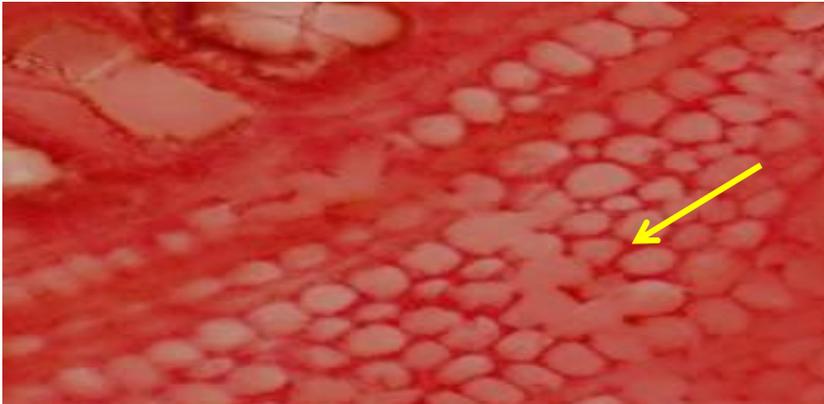


Figura 1. Daños causados por *I. lacteus* sobre la pared celular y lámina media de aliso

3.3.2 Observaciones del ataque producido por *T. versicolor*

T. versicolor presentó un crecimiento micelial vigoroso, el cual cubrió toda la superficie de las probetas, además presentó una textura moteada de color blanco. Las probetas tenían una apariencia esponjosa, blanda al tacto y muy húmedas. El análisis de los bloques de madera inoculados sugieren que *T. versicolor* es capaz de cambiar de una pudrición simultánea típica a una deslignificación selectiva, con degradación de la lámina media y de la lignina en las esquinas de las células (Bari *et al.* 2019), produciendo el cohesiónamiento de las células debido al colapso y el adelgazamiento de la pared celular. Tal como se evidenció en los apartados anteriores, este hongo fue el que mayor daño causó a la probetas; la alta degradación de la pared celular confirma la especificidad de éste microorganismo por la madera del aliso (Figura 2).



Figura 2. Degradación de la pared celular y lámina media Causada por *T. versicolor* sobre la madera de aliso

3.3.3 Observaciones del ataque producido por *C. puteana*

Las probetas presentaron un micelio muy bien desarrollado, el cual cubrió a toda la probeta y se extendió inclusive por todo el recipiente. Sin embargo, no todas las probetas fueron cubiertas por el micelio de forma vigorosa. El micelio tenía textura lanuda fina, de color crema. Las muestras tenían apariencia esponjosa y blanda al tacto, adicionalmente contenían manchas marrones en su superficie, las cuales se pudieron observar al remover cuidadosamente la capa de micelio. A nivel microscópico las muestras del ápice y de la base, mostraron un ataque incipiente, en el que se avistaron algunas células con sus paredes celulares erosionadas (S_1, S_2, S_3) y con formas distorsionadas. En consecuencia se generó un colapso total de la pared celular. La sección media presentó el ataque más agresivo y con la mayor proporción de células degradadas (Figura 3).

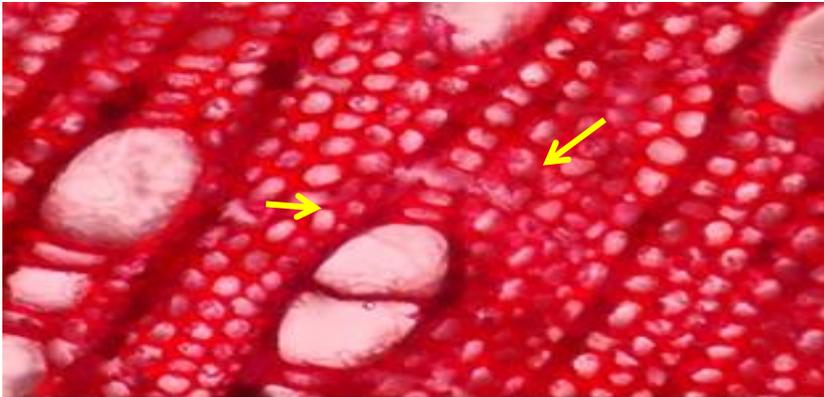


Figura 3. Ataque de *C. puteana* sobre la pared celular y lamina media de aliso

3.3.4 Observaciones del ataque producido por *G. trabeum*

El micelio presentó una coloración crema y de textura algodonosa, cubriendo totalmente la superficie de las probetas, pero extendiéndose tan vigorosamente en todo el envase, como se ocurrió con los otros hongos. Sin embargo, en algunas células se evidenció un ataque agresivo, que hizo que las células perdieron su forma original, con una apariencia bastante distorsionada, producto del colapso de la pared celular. En el ápice se encontró la mayor cantidad de células degradadas, lo cual se corrobora con los resultados obtenidos.

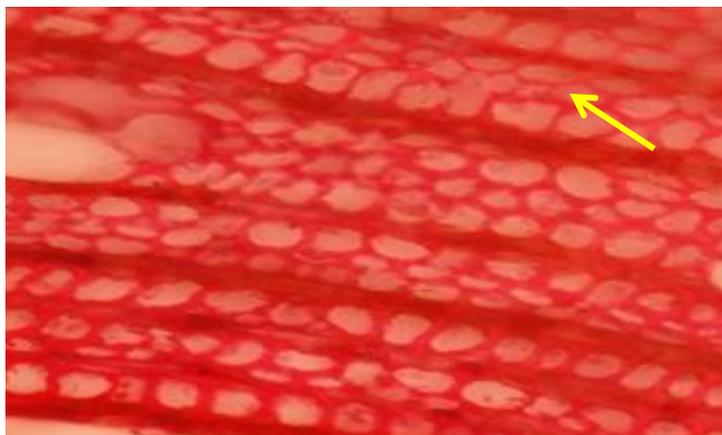


Figura 4. Degradación la pared celular y lámina media de aliso por *G. trabeum*

4. Conclusiones

La madera del aliso tiene baja durabilidad ante el ataque de los hongos de pudrición *T. versicolor*, *I. lacteus*, *C. puteana* y *G. trabeum*. Independientemente de la posición ápice, media y base, las piezas de maderas fueron degradadas.

Las observaciones microscópicas revelaron que en la madera del aliso, el ataque producido por los hongos xilófagos se concentró principalmente en la pared celular y lámina media de las fibras, degradándolas en su totalidad en la mayoría de los casos.

Finalmente, *Alnus acuminata* se cataloga como una especie no resistente al ataque de *I. lacteus*, *T. versicolor* y *G. trabeum* y moderadamente resistente con *C. puteana*. La exposición de esta especie a condiciones de humedad permanente requiere de compuestos químicos que incrementen su vida útil en el tiempo, por lo tanto, el uso tradicional que se le viene dando a la madera de aliso para la delimitación de fincas agrícolas, así como en construcciones livianas, las cuales están expuestas a la intemperie, es completamente incompatible con la durabilidad natural de la madera de aliso, ya que no ofrece resistencia ante la biodegradación, evidenciando la pertinencia de promover y aplicar métodos de preservación de esta madera en las comunidades rurales de los pisos andino y altoandino de Los Andes venezolanos.

5. Referencias bibliográficas

- ARROYO, J. 2003. *Propiedades físico-mecánicas de la madera*. Comisión de Publicaciones de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 158 p.
- ASTM. 1998. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood". Standard D 2017-81. (Reapproved 1994). En: Annual Book of ASTM Standard section 4, construction. Vol 04.10 Wood. ASTM, West Conshohocken.

- ATAROFF, M. Y L. SARMIENTO. Diversidad en Los Andes de Venezuela. I Mapa de Unidades Ecológicas del Estado Mérida. CD-ROM. Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE). Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- BAONZA, M., A. GUTIÉRREZ, y J. GRAU. 2001. *Variación de la densidad, humedad, el duramen y la corteza con la altura en el tronco de pino laricio*. Industrias Forestales. CIFOR-INIA. Madrid. 5 p.
- BARI, E., M. GHODSKHAH, M. KARIM, M. BAHMANI, O. SCHMID, S. WOODWARD, M. TAJICK y A. SISTANI. 2019. Decay of *Carpinus betulus* wood by *Trametes versicolor* - An anatomical and chemical study. *International Biodeterioration & Biodegradation* 137:68–77.
- BLANCHETTE, R., E. KRUEGER, J. HAIGHT, M. AKHTAR y D. AKIN. (1997). Cell wall alterations in loblolly pine wood decayed by the white rot fungus *Ceriporiopsis subvermispora*. *Journal of Biotechnology* 53(2-3):203-213.
- BRICEÑO, A. 2002. El Aliso, *Alnus acuminata* H.B.K., hospedero de dos especies de Chrysomelidae (Coleoptera) en los Andes venezolanos. *Revista Forestal Venezolana* 46(1): 53-57.
- CARBALLO-ABREU, L., E. OREA-IGARZA y E. CORDERO-MACHADO. 2004. Composición química de tres maderas en la provincia de Pinar del Río, Cuba a tres alturas del fuste comercial. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10(1): 57-62.
- CATIE. 1995. Jaúl (*Alnus acuminata* ssp. *arguta*). Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Colección de Guías Silviculturales 18. Serie Técnica. Informe Técnico 248. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 40 p.
- Decreto N° 3.335 de fecha 05/06/1992. Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Parque Nacional Sierra Nevada. Gaceta Oficial (E) N° 4.548 de fecha 26/03/1993. Caracas, Venezuela.
- ERIKSSON, K-E., R. BLANCHETTE y P. ANDER. 1990. *Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components*. Springer-Verlag, Berlin. 407 p.
- EATON, R. y M. HALE. 1993. *Wood: Decay, pests and protection*. Chapman & Hall, London. 544 p.
- FURLOW, J. 1979. The systematics of the American species of *Alnus* (Betulaceae). *Rhodora* 81(825): 1-149.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). 1988. *Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas*. Lima, Perú. Editorial PRID-MADERA.
- MOYA, R., F. MUÑOZ, C. SALAS, A. BERROCAL, L. ZÚÑIGA y E. ESQUIVEL. (2010). Jaúl: *Alnus Acuminata* Kunth. Betulaceae. Ficha Técnica 2 en Tecnología de

- madera de plantaciones forestales. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 42-56.
- LEAL, L., V. JUÁREZ y M. TERÁN. 2011. Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de Finca Las Maravillas, Departamento de Orán, Salta. *Quebracho* 19(1,2):75-83.
- MORA, N. y O. ENCINAS. 2006. *Biodegradación de Maderas*. Mérida, Venezuela. Centro Editorial Litorama.
- OSPINA, C., R. HERNÁNDEZ, D. GÓMEZ, D; J. GODOY, F. ARISTIZÁBAL, J. PATIÑO y J. MEDINA. 2005. El Aliso o Cerezo. Guías Silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. Centro Nacional de Investigación del Café. Series Cartillas Divulgativas. Colombia.
- RINCÓN, J., F. MATOS, E. SULBARÁN y G. ZAMBRANO. 2007. Parques Nacionales del Estado Mérida. Aventura y Conocimiento. Litorama. Mérida-Venezuela
- UFORGA-ULA. 1999. Evaluación ecológica rápida del Parque Nacional Sierra Nevada (TOMO II). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida, Venezuela. 265 p.
- TSOUMIS, G. 1991. *Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization*. Verlag Kessel, New York. 494 p.
- ZABEL, R. y J. MORRELL. 1992. *Wood Microbiology. Decay and its prevention*. Academic Press, Inc. Harcourt Brace Jovanovich Publishers. USA. 476 p.