

# Revista Forestal Venezolana

ISSN 0556-6606



OEB2016

*Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales*

**Volumen 65  
2023  
AÑO XLV**



**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
MÉRIDA VENEZUELA**



## AÑO LXV, VOLUMEN 65, 2023

- Información general
- Ética y praxis de la Revista Forestal Venezolana
- Declaración de privacidad
- Política de evaluación por pares
- Instrucciones para los Autores
- Presentación y contenido de los manuscritos
- Depósito Legal - ISSN
- Acreditación, Indización
- Política de acceso abierto
- Contactar con la Revista Forestal Venezolana
- Autoridades Universitarias
- Comité Editorial RFV

### **Información General**

La Revista Forestal Venezolana es una revista anual, fundada en 1958. Publica investigaciones de alta calidad en todos los aspectos de las Ciencias Forestales y Ambientales y la Agrosilvopecuaria. Los tópicos que se incluyen son Génesis de Suelos, Suelos Forestales, Fisiología Vegetal, Gestión Forestal, Patología Forestal, Entomología, Anatomía de la Madera, Ecofisiología, Viveros, Plantaciones, Genética y Mejoramiento Forestal, Agroforestería, Manejo de Cuencas, Cambio climático, Servicios Ambientales, Impacto Ambiental y Ciencia y Tecnología de la Madera.

La finalidad de la Revista Forestal Venezolana es la apropiada y correcta difusión y promoción del pensamiento científico - técnico y pretende servir de apoyo a los investigadores y científicos en las actividades mencionadas, cumpliendo las normas institucionales y gubernamentales que regulan la investigación, la ética de los investigadores y científicos tanto de Venezuela como de otros países.

### **Ética y praxis de la Revista Forestal Venezolana**

No se aceptan trabajos ya publicados o que estén sometidos a la consideración de

otras revistas.

La Revista Forestal Venezolana asegura que los editores, autores y árbitros cumplen con las normas éticas internacionales durante el proceso de arbitraje y publicación. Del mismo modo aplica los principios establecidos por el comité de ética en publicaciones científicas (COPE).

Igualmente, todos los trabajos están sometidos a un proceso de arbitraje y de verificación por plagio.

La Revista Forestal Venezolana no se hace responsable por las opiniones o conceptos emitidos por los autores de artículos.

### **Declaración de privacidad**

Los nombres y direcciones de correo-e u otra información proporcionada por los autores a la Revista Forestal Venezolana, se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

### **Política de evaluación por pares**

La edición de la revista está a cargo de un Comité Editorial integrado por un Editor Responsable y dos Editores Asociados, nombrados por el Consejo de Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.

La Revista Forestal Venezolana tiene como política de publicación de artículos la revisión previa del manuscrito sometido a consideración, por dos o más evaluadores externos, árbitros, pares académicos internacionales reconocidos en el área, seleccionados de acuerdo al tema del manuscrito sometido a consideración para su potencial publicación. Adicionalmente, cuenta con consultores internos dentro de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales a quienes se recurre para dilucidar la pertinencia del manuscrito cuando existen dudas acerca del contenido del manuscrito y los objetivos de la Revista Forestal Venezolana.

Recibido el manuscrito, el o los evaluadores externos pueden aceptar o rechazar el manuscrito. En caso de aceptación se pueden sugerir al autor, o autores, cambios en la estructura y/o contenido del texto. Recibidos los cambios se realiza una revisión de conformación, antes de la aceptación definitiva del artículo a publicar.

Las opiniones de los árbitros, así como la autoría de los trabajos, son estrictamente confidenciales. Los autores reciben las opiniones completas de los árbitros consultados. La Revista da un plazo no mayor a dos (2) meses a los autores, para responder a las opiniones de los árbitros y realizar las modificaciones sugeridas. Si éstos toman más tiempo del estipulado el trabajo es rechazado o considerado como nuevo.



## Instrucciones para los Autores

Se entiende por **Artículo Científico** aquel basado en un trabajo de investigación en que se ha aplicado en forma rigurosa el método científico y se ha estudiado el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre los resultados medibles de un sistema, como metodología para rechazar o comprobar una hipótesis claramente establecida con los objetivos del trabajo.

Se consideran **Notas Técnicas** o **Temáticas** a los artículos basados en trabajos experimentales que presentan aspectos metodológicos novedosos, o resultados que el autor quisiera publicar antes que finalice su investigación, o bien revisiones de literatura basadas en una recopilación de artículos científicos o informes de investigación, en los que el autor aporta su opinión personal sobre el tema y establece conclusiones respecto al estado actual del conocimiento del mismo.

## Presentación y contenido de los manuscritos

Los manuscritos originales para su consideración deberán ser concisos, escritos a doble espacio en papel tamaño carta, en letra Times New Roman 12, dejando márgenes de 2,5 cm en los cuatro costados, con un máximo de 25 páginas numeradas incluyendo ilustraciones (Cuadros y/o Figuras).

Los manuscritos deben enviarse a la Revista Forestal Venezolana al correo electrónico: revforven@gmail.com conteniendo:

Carta al Editor, donde solicita la publicación del manuscrito sometido a consideración para su publicación, conteniendo una breve descripción del contenido, declarando si existen conflictos de interés y el área donde considere corresponde su manuscrito.

Manuscrito, que debe contener: Primera página con el título, en español e inglés; autores con su respectiva dirección institucional y autor de correspondencia, dirección completa, número telefónico y correo electrónico. Es recomendable que el autor o autores indiquen su Identificador Personal Digital ORCID. Segunda página con el resumen en español e inglés y las palabras clave, que no deben exceder de 250 palabras. Tercera página con el cuerpo del manuscrito. Cuarta página con agradecimiento, si los hubiera-Quinta página con las referencias bibliográficas, hemerográficas o extraídas de las páginas de la WWW.

## Depósito Legal:

pp 195802ME817, ISSN 0556-6606

## Acreditación, Indización

La REVISTA FORESTAL VENEZOLANA, posee acreditación del Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico y de las Artes. Universidad De Los Andes-Venezuela (CDCHTA-ULA).

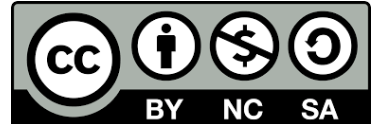


Indizada en: TREE CD; Forest Abst. (Comm. Agric. Bur.); Zool. Rec. (BIOSIS UK); Periódica (UNAM, México); LATINDEX, REVENCYT RVR004



### Política de acceso abierto

Todos los documentos publicados en esta revista se distribuyen bajo Licencia Creative Commons Atribución -NoComercial - CompartirIgual 4.0 Internacional. Por lo que el envío, procesamiento y publicación de artículos en la revista es totalmente gratuito.



### Contactar con la revista

Dirección postal. Revista Forestal Venezolana, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes. Vía de Los Chorros de Milla, Conjunto Forestal. Código Postal 5101, Mérida, Venezuela

Contacto principal: Editor responsable, RFV: Dr. Osvaldo Encinas B. E-mail: [revforven@gmail.com](mailto:revforven@gmail.com)

Contacto de asistencia- **SABER – ULA**. Teléfono: +58 274 2524192. Correo electrónico: [saberula@gmail.com](mailto:saberula@gmail.com)

### Autoridades Universitarias

**Rector:** Mario Bonucci Rossini

**Vice-Rector Académico:** Patricia Rosenzweig

**Vice-Rector Administrativo:** Manuel Aranguren

**Secretario:** Manuel Morocoima

**Decano de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales;** Julio Quintero M.

### Comité Editorial Revista Forestal Venezolana

**Editor Responsable:** Osvaldo Encinas Blanco.

**Editores Asociados:** Wilver Contreras Miranda y Lilian Bracamonte

### Evaluadores externos para el presente volumen:

Dr. Roger Moya, Costa Rica; Dr. Moisés Acevedo, Perú; Dr. Nasko Terziev, Suecia



## AÑO LXV, VOLUMEN 65, 2023

### Contenido de este volumen

|         |  |
|---------|--|
| Pág.    | <b>EDITORIAL</b>   |
| 7       | <b>OSVALDO ENCINAS B.</b><br>Aniversario de la Facultad de Ciencias Forestales de la ULA   |
|         | <b>ARTICULOS</b>   |
| 9 – 18  | <b>JOSÉ ROLANDO CORREDOR TREJO</b><br>Historia de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales   |
| 19 – 44 | <b>EYRA M. ALBARRÁN M.y GUSTAVO E. RODRÍGUEZ</b><br>Purificación de la fracción celulósica del fraccionamiento de aserrín de <i>Eucalyptus</i> sp utilizando ozono   |
| 45 – 64 | <b>AMARILIS BURGOS<sup>1</sup>, ERNESTO RIVERA<sup>1</sup> Y YOLY MOLINA</b><br>Mejora de la durabilidad natural de <i>Dendrocalamus asper</i> (Schult.) Backer y <i>Guadua angustifolia</i> Kunth por preservacion con compuestos de boro y ACQ |
| 65 – 96 | <b>OSVALDO ENCINAS B. Y MARY MAR RONDÓN</b><br>Durabilidad natural e inducida con cobre amoniacal cuaternario (ACQ) de las maderas de <i>Acacia mangium</i> , <i>Simarouba amara</i> y <i>Gmelina arborea</i>                                    |
| 97      | <b>TRABAJOS DE GRADO</b><br>ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL, FCFyA, ULA AÑO 2023  |

## EDITORIAL

### Legado y futuro de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes

En noviembre del presente año, se celebra el 71° aniversario de la Facultad de Ciencias Forestales (ULA), espacio de enseñanza forestal y ambiental que promueve un permanente vínculo entre la sociedad y el medio ambiente; reconocido centro de enseñanza, investigación y extensión en los campos forestal, geográfico y agropecuario en Venezuela, con destacada proyección internacional.

Desde su creación, hace más de setenta años, la actual **Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales** ha sido el *alma mater* de la que se han nutrido, formándose y cursando estudios para graduarse como profesionales, 3.036 Ingenieros Forestales, 433 Técnicos Superiores Forestales y 1.397 Geógrafos, además de profesionales con grados de Maestría y Doctorado. Una breve historia de esta Facultad está contenida en el discurso del Prof. José Rolando Corredor Trejo, ex Director de la Escuela de Ingeniería Forestal y ex Decano de la Facultad cumpleañera, que esta revista se complace en publicarla.

La alta capacidad profesional y el valioso conocimiento adquirido, junto con el compromiso ético con la “casa común”, como ha llamado el Papa Francisco al planeta donde habitamos todos, son las herramientas con las que los egresados de esta Facultad han contribuido y contribuyen a la gestión sostenible de los recursos naturales renovables.

Cumplir años conlleva reflexión. Las demandas que con mayor fuerza van emitiendo los pueblos, y los mensajes de la misma naturaleza, acerca de los problemas ambientales que tiene la “casa común”, como llama el papa Francisco a la tierra, como deforestación, contaminación, cambio climático, pérdida de biodiversidad y otras acciones y efectos consecuencias del desarrollo, hace que cada día sea más importante la formación profesional en temas relacionados con la naturaleza viva y obliga a que la Facultad cumpleañera reafirme su presencia y continúe en su devenir con mejorados programas educativos e investigación que respondan a las nuevas realidades que exige el desarrollo sostenible, en cónsona participación de la sociedad, para lograr un futuro sostenible.

¡Feliz cumpleaños a estudiantes, profesores empleados y trabajadores de la familia forestal ulandina!

Oswaldo Encinas B., Editor responsable



## HISTORIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

*Palabras conmemorativas del 71 aniversario de la Facultad de Ciencias Forestales y 75 aniversario de la Escuela de Ingeniería Forestal, pronunciadas por el Ing. Forestal José Rolando Corredor Trejo, ex Director de la Escuela de Ingeniería Forestal y ex Decano de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, pronunciadas el 1º de noviembre de 2023 en la Sala Luis E. Rodríguez Poveda, del Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado*



Señores:

Prof. Julio Jaime Quintero Márquez., Decano de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,

Prof. Shakespeare Trejo, Director de la Escuela de Ingeniería Forestal,

Prof. Angely N. Molina Peña, Directora de la Escuela de Geografía,

Prof. Lino A. Valera, Director de Instituto de Desarrollo Forestal, INDEFOR,

Prof. Osvaldo Encinas B., Director de Laboratorio Nacional de Productos Forestales,

Prof. Josué Araque, Director del Instituto de Geografía y Conservación de RNR,

Prof. Osmary Araque, Directora de Instituto de Investigaciones Agropecuarias, IIAP,

Prof. María B. Durán, Directora de la Escuela Técnica Superior Forestal, ETSUFOR,

Prof. Lilian Bracamonte. Directora del Centro de Estudios Forestales de Posgrado, CEFAP,

Prof. Ceres Boada y Prof. Jorge Durán, ex Decanos de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,

Profesores jubilados y activos, empleados administrativos, obreros y estudiantes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales,

Invitados especiales, Señoras y Señores.

Doy gracias al Dios Todopoderoso por esta coyuntura del destino que me permite estar presente en este recinto, para evocar los hechos y circunstancias que dieron lugar a la creación de la Escuela de Ingeniería Forestal, primogénita en Latinoamérica y génesis de la actual Facultad de Ciencias Forestales y

Ambientales. Al mismo tiempo que agradezco de corazón a las autoridades de esta dependencia universitaria, por la honrosa invitación que me hicieran para hacer esta disertación, la cual realizo con sumo placer no exento de respeto emocionado.

En el siglo XVIII, transformada ya casi toda Europa en una sociedad industrial, los forestales alemanes, considerados como los grandes maestros de la Silvicultura de ese y el siglo siguiente, comienzan a dudar de la ilimitada existencia de los bosques, así como de la producción de madera por tiempo indefinido.

A finales de ese siglo XVIII, en 1795, Georg Hartig desarrolla el concepto o el principio de “rendimiento sostenido”, según el cual: “...*la cosecha forestal no debería exceder el crecimiento de la masa arbórea para que el abastecimiento maderero fuera continuo por generaciones.*” Idea que, a partir de ese momento, constituyó el núcleo de la actividad forestal moderna en Europa y Estados Unidos.

Los forestales alemanes, estudiaron todos los aspectos de la actividad forestal: el establecimiento de áreas forestales, la repoblación y tala de árboles productores de madera sobre bases prácticas matemáticas, haciendo cálculos del volumen de madera de árboles individuales y del rendimiento de la masa arbórea y, en consecuencia, la estimación del valor monetario del bosque. Convirtieron la Silvicultura o el Manejo Forestal, en una disciplina científica que propició el interés académico para la formación de especialistas en las ciencias forestales.

Se presentó entonces la obligación cierta de pasar de una actividad extractiva a la aplicación del principio del **rendimiento sostenido** para la obtención de madera. Con esta base para el manejo del bosque, se originó la necesidad de formar académicamente, a especialistas dedicados a esta tarea, tan importante para la sociedad de aquel momento.

De sacerdotes llamados Druidas, creados por la mitología de la Europa Antigua para cuidar el bosque, pasando por los guardianes de los cotos de caza de los señores feudales en la Edad Media, se había llegado al punto de necesitar profesionales universitarios dedicados al manejo del bosque. Es así como, el científico también alemán Johann Heinrich Cotta, considerado pionero de la silvicultura moderna fundó en 1811, en Dresde, ciudad de Alemania, la primera escuela universitaria para la enseñanza de Ingeniería Forestal.

Más tarde se esparcen por toda Alemania varias instituciones universitarias similares. Posteriormente y hacia mediados del siglo XX, se establecen escuelas universitarias para la enseñanza de las ciencias forestales en Francia y en España. En España surgen con el nombre de Escuela de Ingeniería de Montes.

La doctrina de Hartig y Cotta, consistente en la aplicación del principio del

rendimiento sostenido a las divisiones geométricas de la superficie boscosa productora de madera, prevaleció hasta bien entrado el siglo XX; por supuesto con agregados importantes hechos por König sobre el cuidado y la estética del bosque y la aplicación de métodos matemáticos a la medida de la naturaleza, estableciendo la importancia económica de los rendimientos de madera, al mismo tiempo que el cuidado de la salud y belleza de las masas forestales.

Resulta interesante saber, que al mismo tiempo que los europeos practicaban una silvicultura o manejo del bosque en forma de minería extractiva, sin tomar en cuenta la renovación del recurso, en la América prehispánica, los aztecas, por su condición de sociedad guerrera, tenían la creencia según la cual cuatro árboles sagrados y cósmicos ubicados en los cuatro puntos cardinales, cada uno representando un dios, conectaban al hombre con el universo y eran el máximo ejemplo de la fuerza y del ciclo de la vida eterna, se podía morir suficientes veces, pero siempre se renacería en la primavera. Para ellos los bosques eran sagrados.

Los Mayas tenían mayores conocimientos científicos, practicaban la agrosilvicultura o agroforestería. Eliminaban deliberadamente las especies que no les servían y promovían las aprovechables, además de tener cultivos en huertos o jardines muy similares a los europeos. Hay evidencias que revelan un cierto manejo de la composición florística del ecosistema del bosque natural. En extensiones de selva cercanas a las ruinas de las ciudades mayas se han encontrado restos de árboles fosilizados de (*Brosimum alicastrum*) en centroamérica conocido como “Ramón” y en Venezuela llamado “Charo”, así como árboles de “Copal” pertenecientes a varias especies del género *Bursera*; todos ellos considerados sagrados, debido a su empleo en ceremonias religiosas y su uso como medicinales.

Por su parte, los Incas, mayormente agricultores, consideraban los bosques como sagrados y les daban una gran importancia. Tomaban medidas para evitar la deforestación excesiva y practicaban una tala selectiva de árboles para asegurar un suministro continuo de madera sin agotar los recursos forestales.

Ya en los antiguos imperios griego y romano, varios estudiosos comenzaron a observar aspectos naturales relacionados con el bosque. Teofrasto estudia la economía de las plantas, hace observaciones sobre anatomía y fisiología de los árboles y realiza estudios de sitio; Plinio Segundo, observa la flora natural y la reproducción, así como su dispersión; Catón, Varrón y Columela, inician el desarrollo actual de la Ciencia y la terminología forestal. Son antecedentes importantes, que apoyaron a los forestales alemanes para la transformación en ciencia a la silvicultura o manejo del bosque considerado hasta entonces como un arte o una actividad artesanal.

A mediados del siglo XX, en medio de una breve transición democrática, La Universidad de Los Andes, se contagia del espíritu renovador consistente en la creación de nuevas oportunidades de estudio para la juventud venezolana. Es así como en 1948, el Decano de la Facultad de Medicina, Dr. Antonio José Uzcátegui,

médico obstetra, fervoroso y apasionado defensor de la naturaleza, impulsa y logra la creación de la Escuela de Ingeniería Forestal. Podríamos decir que el doctor Uzcátegui había traído al mundo muchos niños merideños, y también le correspondió ser partero de una escuela de rango universitario.

La ciudad de las cinco águilas blancas y la Universidad de Los Andes, abrirían su regazo protector a la nueva carrera universitaria. Mérida, en aquel entonces, era una “ciudad pausada y pensativa, estrechamente unida a la Universidad, en simbiosis de verdad y espíritu”, como una vez la describiera el Dr. Miguel Ángel Burelli Rivas. Enclavada en Los Andes de Venezuela, aquella Venezuela recordada con añoranza y a la cual quisiéramos volver, retratada en una hermosa estrofa del bardo chileno Pablo Neruda:

*A Venezuela amé, pero no estaba.  
la busqué entre los nombres que vivían:  
llamé y llamé, no respondió nadie,  
no respondió la patria sumergida  
y sin embargo el mapa le otorgó  
las esmeraldas de la geografía,  
las montañas con pájaros de nieve,  
un fuego azul custodiaba sus islas,  
el petróleo quemaba sus caderas  
y bordaba con oro su camisa,  
el Orinoco era una carta eterna,  
escrita con caimanes y noticias,  
en fin, en fin, sonaba Venezuela  
como una capital ferretería  
con diamantes, cascadas y tapires  
y respiraba con Simón Bolívar  
(mientras llegaba a Chile un caballero  
a enloquecernos con su ortografía).*

El decreto de creación de la Escuela de Ingeniería Forestal fue firmado en julio de 1948 por don Rómulo Gallegos, autor de *Doña Bárbara*, novela emblemática de los Llanos occidentales venezolanos, y quien había sido elegido presidente Constitucional de Venezuela en libres, democráticos y pulcros comicios electorales; ¿Que mejor firmante de tal decreto que un profesor y hombre de letras? Las autoridades universitarias, la adscribieron a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, nombre que en ese momento tenía la hoy Facultad de Ingeniería. Lograban de esa manera las Ciencias Forestales, ocupar un espacio universitario por vez primera en Venezuela y en Latinoamérica.

La Escuela de Ingeniería Forestal, por supuesto que adoptó el principio del rendimiento sostenido aplicable a la producción de madera, pero de ninguna manera descuidó la enseñanza de medidas y técnicas para la conservación del medio

ambiente y de la naturaleza, la protección de las cuencas hidrográficas y el fomento y cuidado de los parques nacionales arbolados. Cuando egresó la primera promoción de Ingenieros Forestales en 1952, la Escuela de Ingeniería Forestal tomó rumbo propio al convertirse en Facultad de Ingeniería Forestal.

Apenas cuatro meses después de haber firmado el decreto de creación de tal escuela universitaria, don Rómulo Gallegos fue derrocado por un pretoriano golpe militar y la primera década de vida de la institución estuvo signada por la política del gobierno militar, dirigida hacia el fomento de la construcción de obras públicas, lo que trajo como consecuencia una presión exagerada sobre los bosques para la extracción de madera, material importante para la industria de la construcción.

Entre 1948 y 1958, se introdujo como política oficial el otorgamiento de permisos para la extracción de madera en lotes boscosos baldíos; y además permisos para desforestar con la finalidad de establecer unidades productoras agropecuarias. Los permisos de extracción debían cumplir con el requisito de plantar cinco arbolitos por cada árbol de tamaño comercial talado en los lotes boscosos baldíos. Se presentó un inconveniente, negativo a la restitución del bosque, las empresas concesionarias cumplían con el requisito de la plantación, pero sin garantizar su mantenimiento.

En esta primera década de existencia, coincidente con la dictadura militar, la Escuela y posteriormente Facultad de Ingeniería Forestal, muy poco pudo influir en la política oficial, debido a que como es obvio y reconocido, los regímenes autoritarios o dictaduras, en todas las épocas, hacen caso omiso de las investigaciones y enseñanzas universitarias, pues no miran con buenos ojos los conocimientos emanados de las universidades. El poder político, sobre todo cuando no es legítimo, siempre trata de sustituir la luz del conocimiento por la oscuridad de la ignorancia.

Llegó la alborada democrática en enero de 1958, la Escuela de Ingeniería Forestal ya convertida en Facultad de Ingeniería Forestal logró consolidarse con la adscripción de la Escuela de Capacitación Forestal que había sido creada en 1941 y funcionaba en El Junquito, como dependencia del Ministerio de Agricultura y Cría. Posteriormente con la creación del Instituto de Silvicultura, dedicado a la realización de investigaciones en el área de Manejo del Bosque, el Laboratorio Nacional de Productos Forestales, en el campo de la tecnología y usos de la madera, el Departamento de Corrección de Torrentes en el ámbito de la conservación y restauración de cuencas. Más adelante se amplía su rango de acción con la creación de la Escuela e Instituto de Geografía, y la adhesión del Instituto de Investigaciones Agropecuarias con su novedoso Programa de Ganadería Lechera de Altura (PROGAL), dependencias todas que le dieron mayor solidez y prestigio. Por supuesto los acuerdos y convenios de cooperación en todos esos campos científicos con prestigiosas instituciones universitarias de Europa y Estados Unidos acabaron por conformar un ente universitario, punto de referencia en investigaciones y

enseñanzas de los recursos naturales renovables tropicales, en el mundo entero. Acá vale la pena mencionar el acuerdo llegado con el Colegio Forestal de la Universidad del Estado de Nueva York, para la formación a nivel de pre y posgrado de profesores para nuestra Facultad, especialmente en áreas novedosas, que aún no se estaban enseñando en nuestro currículo. Se puede afirmar en consecuencia que el mayor avance de las ciencias forestales en Venezuela ocurrió en este período democrático de 40 años a partir de 1958.

Los resultados de las investigaciones silviculturales sobre el manejo del bosque natural, de identificación y descripción botánica, de genética forestal, de ecología, patología forestal, entomología forestal, de suelos forestales y de propiedades físicas y mecánicas de la madera y su estado sanitario, realizadas por los institutos y grupos de investigación de la Facultad de Ciencias Forestales, fueron una plataforma importante para el establecimiento de los planes de ordenación y manejo forestal mediante contratos administrativos a largo plazo en las Reservas Forestales Nacionales, los cuales sustituyeron los permisos de deforestación, que si bien habían contribuido al desarrollo económico agropecuario, en contrapartida y consecencialmente habían también ayudado al deterioro y desaparición de buena parte de las reservas forestales de los Llanos Occidentales.

El laboratorio natural para la realización de las enseñanzas e investigaciones tanto forestales como geográficas, lo constituyeron las estaciones experimentales: Bosque San Eusebio (La Carbonera), La Mucuy, Mococón y Mucubají en la zona montañosa; El Irel, B.U. Caimital y los comodatos (ULA-MARN) de Caparo y Ticoporo en el estado Barinas. De igual manera los ensayos sobre las características y usos de la madera realizados por el Laboratorio Nacional de Productos Forestales constituyó una contribución muy importante para el avance tecnológico forestal.

Se hace necesario también señalar que las plantaciones forestales a escala piloto e industrial con *Pinus caribea* var. *bondurensis* en las sabanas orientales de Cachipo, Uverito y Chaguaramas a partir de 1969, tuvo sus antecedentes, en los ensayos de introducción de especies de coníferas y latifoliadas en diferentes pisos altitudinales, realizados por la Cátedra de Silvicultura, y luego continuados y desarrollados durante las décadas siguientes por las Secciones de Plantaciones Forestales y la de Genética Forestal del Instituto de Silvicultura y Fitosanidad Forestal del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LABONAC).

Valdría la pena mencionar que, en este período de cuarenta años, en Venezuela se operó un gran cambio social interno que influenció la política forestal y ambiental nacional y por consiguiente la educación forestal universitaria. Durante este lapso la población total del país se triplicó, de 7 millones en 1958 pasó a 23 millones en 1998, con el agravante de la migración del campo a la ciudad que se acrecentó gradualmente hasta sextuplicarse en el medio urbano. La construcción de viviendas cobró gran aumento y con ello la demanda de madera. Hubo presión para obtener madera. Como no existían aún plantaciones comerciales, se trató de extraerla del

Bosque Natural (Reservas Forestales) y entraron en funcionamiento los Planes de Ordenación y Manejo Forestal (POMF).

Se debe mencionar que, a comienzos de ese periodo democrático, el gobierno nacional a través del Instituto Agrario Nacional trató de frenar el éxodo rural a las ciudades, donde se estaban formando los llamados cinturones de miseria, mediante la formulación y ejecución de una reforma agraria. Tal reforma implicó un nuevo reto para los forestales venezolanos. Debían por una parte garantizar el suministro de madera a la industria de la construcción y a una demanda creciente de materia prima para otros usos solicitados por el aumento de la población. Y esto debían hacerlo interviniendo en las reservas forestales y lotes boscosos productivos.

Pero por otro lado, los Ingenieros Forestales formados en las aulas de la dependencia forestal debían cuidar que la reforma agraria no afectara los bosques productores (reservas forestales y lotes boscosos) ni los bosques protectores, porque esto significaría la desaparición de grandes extensiones de bosques con las consecuencias negativas de tales hechos, como bien se sabe, la conversión de un terreno forestal en agrícola significa la desaparición del bosque, pero la justicia social tampoco podía ser obviada, no se podían oponer a la adjudicación de tierras a los campesinos. Lamentablemente, la demagogia política, causó la desaparición de buena parte de las reservas forestales de los Llanos Occidentales.

Los ingenieros forestales, se vieron en medio del fuego cruzado entre dos extremos: el desarrollista y el conservacionista. La posición del forestal por lo tanto hubo de ser ecléctica, como dice el refrán “ni tan calvo, ni con dos pelucas”. En ese momento, comenzó el desarrollo de estudios e investigaciones tendentes a la creación de una asignatura que combinara la forestería con la agricultura y surgió la enseñanza de la Agrosilvicultura y el sistema Agrosilvopastoril como parte de la Silvicultura, más adelante convertida en asignatura propia.

A comienzos del siglo XXI, la Escuela de Ingeniería Forestal y la Facultad de Ciencias Forestales estaban prestas para asumir un nuevo paradigma del manejo ambiental, el desarrollo sostenible, que en el campo forestal significa la participación determinante de la Silvicultura en el manejo de los bosques, mediante la conjunción de tres factores, el social, el económico y el ambiental. Pasar del manejo de bosques al manejo de ecosistemas forestales, lo cual implica la incorporación del mantenimiento de la integridad ecológica del ambiente a la gestión forestal, con una clara reserva para el porvenir.

Las ponencias presentadas por profesores de la Facultad, e Ingenieros Forestales, trabajando a *motu proprio* o en equipo con otros destacados profesionales universitarios, durante los dos días precedentes a esta disertación, demuestra el hecho que los egresados de la Escuela de Ingeniería Forestal, están preparados para trabajar en cualquier aspecto ambiental y de los recursos naturales renovables. Las ponencias sobre el agua fueron claras y explicativas. Las ponencias sobre patología y etiología forestal fueron excelentes. Cerrando con broche de oro la elaboración del

proyecto Conservación y uso sustentable de la diversidad biológica en la cuenca del Río Caroní, a cargo de un equipo técnico designado por la FAO e integrado por cuatro Ingenieros Forestales, tres de ellos profesores de la Facultad: Lilian Lara (coordinadora), Luis Enrique Gámez, Francisco Rivas y Carlos Pacheco, lo cual es motivo de orgullo para esta facultad.

En resumidas cuentas, la Escuela de Ingeniería Forestal y en general la hoy Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, ha realizado la hermosa labor de poner al servicio de la humanidad los conocimientos científicos, tecnológicos y humanísticos, agrícolas y pecuarios generados en sus aulas, laboratorios y estaciones experimentales, y la de formar profesionales universitarios capaces de enfrentar los retos de un desarrollo forestal sostenible que infiera sobre el desarrollo económico en general.

Ciertamente el enriquecimiento del acervo científico de la Dasonomía y la protección ambiental ha sido facilitado en el pasado, por el hecho de estar incrustadas las dependencias forestales en el magno cuerpo de una universidad autónoma. Así como la biodiversidad de la naturaleza es indispensable para la existencia del bosque, de la misma forma la biodiversidad del intelecto y del pensamiento son requisito *sine qua non* para la autonomía universitaria, sinónimo de pluralismo democrático, de libertad, de tolerancia y de respeto por los derechos humanos. Hoy en tiempos menguados de libertad y democracia, donde prevalece el atropello y el irrespeto a valores fundamentales del ser humano, la universidad autónoma y sus dependencias todavía brindan refugio protector a la ética y las virtudes cardinales, a pesar de haber sido vejada por algunos egresados de sus propias aulas.

Sin embargo, tan meritoria labor, poner la ciencia al servicio de la humanidad no hubiese sido posible sin el concurso de docentes e investigadores dedicados a tan loable tarea. Hombres y mujeres de anteriores y de las nuevas generaciones que han hecho de sus vidas un irrenunciable apostolado convertido en vocación. En mi memoria permanecen los nombres de los primeros egresados: Carlos Liscano, Jesús María López, Pausolino Martínez, Pedro Manuel Petit, Rafael Vioria y Sixto Perichi. Me cabe el honor de haber sido alumno de los cinco primeros y de otros excelsos profesores, como Hans Lamprecht, Herman Finol, Aníbal Luna, Jean Pierre Veillon, Víctor Konrad, Jesús Bracho, Pedro Luis Mundaray, Jaime Bernal, Luis Ruiz Terán, Ramón Massini Osuna, Enrique Vilela, Andrés Zabrosky, Jaime Tinto, Raymond Goethe, Francisco Martínez Coronel, Harry Corothie, Hernando Pachas, Juan Bautista Castillo, Antonio Luís Cárdenas. Ellos me inculcaron sólidos valores y principios, gracias a los cuales estoy hoy aquí ante ustedes.

Debo mencionar algunos docentes contemporáneos que hoy asisten a este acto, Otón Holmquist, Osvaldo Encinas, Lilian Bracamonte, Elvecio Pernía, Narcisana Espinoza de Pernía, los dos últimos, celebrando sus 50 años de graduados, con su ejemplo y dedicación han contribuido a la formación de ciudadanos útiles a la

sociedad.

El capital más valioso de una institución educacional lo conforma el conglomerado humano que en ella convive: profesores, empleados, obreros y estudiantes. Para aquellos miembros de la gran familia forestal que han partido a cuidar los bosques celestiales una plegaria y el deseo por su descanso eterno, para los jubilados y los activos hoy en día, el agradecimiento por mantener viva la institución a pesar de las enormes dificultades y sacrificios. Son en verdad héroes anónimos, que a pesar de los contratiempos y dificultades en este nuevo milenio siguen luchando a brazo partido, codo a codo con la dignidad y la justicia social, por el futuro de nuestra patria de aquella que describía Andrés Bello:

*No digo aquella de los cien reflejos  
en el machete de sus arrebatos,  
sino la sin maldad y sin zapatos  
de pie y de agua, como los espejos.*

Lamentable y dolorosamente la situación ambiental de Venezuela se ha ido agravando a medida que hemos avanzado y en el fondo ha sido la misma durante los últimos dos o tres decenios: deterioro ambiental, aumento de la pobreza y aguda crisis política, social y económica. Ante ello como motivo de reflexión dejo ante el distinguido auditorio la siguiente anécdota:

Albert Einstein en una de sus clases de física en Princeton anunció a sus alumnos que el examen que iba a plantear sería el mismo que el del año pasado y que estaba en biblioteca disponible. Uno de los estudiantes le preguntó si no estaba preocupado porque alguien podría ir y verlo. "Para nada", dijo Einstein, "las preguntas son siempre las mismas. Lo que cambian son las respuestas". ¿Seremos capaces de encontrar las respuestas para detener el colapso de un país otrora próspero en vías de desarrollo? Confiamos en que las nuevas generaciones sabrán encontrar las adecuadas respuestas, sustentados por la experiencia de las anteriores generaciones.

Del Amo, un escritor ambientalista de finales del siglo XX se refirió al futuro, formulando esta cita: *"El éxito futuro de las estrategias nacionales de conservación para el desarrollo sostenible requieren de paz, libertad, justicia social, democracia, avance científico y tecnológico, una economía saludable y una ética de responsabilidades individuales y colectivas que fomente la solidaridad humana, la participación ciudadana y la estabilidad ambiental en el planeta."*

Autoridades, profesores, empleados, obreros y estudiantes de esta facultad, el David de la esperanza armado con la honda, conteniendo las siete piedras de las virtudes cardinales y teologales, vencerá más temprano que tarde al Goliath armado con el garrote de la mentira y la manipulación; y de nuevo la libertad, esa que definió a Sancho, el ingenioso hidalgo Don Quijote, como: *"...uno de los más preciados dones que a los hombres dieron los cielos; con ella no pueden igualarse los tesoros que encierra la tierra, ni*

*el mar encubre; por la libertad así como por la honra, se puede y se debe arriesgar la vida...”.*

¡Viva la Universidad autónoma! ¡Viva la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales en su 71 aniversario!, ¡viva la Escuela de Ingeniería Forestal en su 75 aniversario!, ¡viva la Escuela de Geografía!, ¡viva la Escuela Técnica Superior Forestal!, ¡viva el Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales Renovables “Antonio Luis Cárdenas”!, ¡viva el Instituto para el Desarrollo Forestal!, ¡viva el Instituto de Investigaciones Agropecuarias!, ¡viva el Laboratorio Nacional de Productos Forestales “Pausolino Martínez Estévez”!.

*Mérida, 1 de noviembre de 2023. Con el agradecimiento por algunas observaciones a los Profs.: Vicente Garay, José J. Rojas López, Otón Homlquist y Julio Quintero Márquez*

# PURIFICACIÓN DE LA FRACCIÓN CELULÓSICA DEL FRACCIONAMIENTO DE ASERRÍN DE *EUCALYPTUS* SP UTILIZANDO OZONO

## PURIFICATION OF THE CELLULOSIC FRACTION OF SAWDUST FRACTIONATION OF *Eucalyptus* sp. USING OZONE

EYRA M. ALBARRÁN M. <sup>1</sup>. GUSTAVO E. RODRÍGUEZ <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes, Venezuela, e-mail: eyramam8@gmail.com. <sup>2</sup> Estudiante de Maestría de la Universidad de los Andes-Venezuela

Recibido febrero 2023 Aceptado mayo 2023

### Resumen

#### Palabras clave:

*Eucalyptus*,  
biorrefinería,  
pulpa para  
disolver,  
fraccionamiento.

Las pulpas celulósicas son materias primas producidas por grandes fábricas y destinadas, en general, a la producción de productos papeleros. En el presente trabajo se aplica el concepto de biorrefinería a la purificación de la fracción celulósica proveniente del tratamiento hidrotérmico-alkalino de aserrín de *Eucalyptus* mediante el empleo de tratamientos oxidativos con el objetivo de obtener pulpa para disolver. La pulpa fue tratada con oxígeno, luego con ozono y posteriormente se realizó una extracción alcalina. Se evaluaron las propiedades de las pulpas obtenidas y se las comparó con una pulpa de bagazo de caña de azúcar sometida a un tratamiento similar y con una pulpa para disolver de tipo comercial. Las pulpas obtenidas luego de la aplicación de un tratamiento oxidante con ozono cumplen con los requerimientos de las pulpas de disolución. En la etapa de ozono se modificó el tiempo, la adición de ácido oxálico y la extracción alcalina con y sin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La deslignificación obtenida en la etapa de oxígeno fue de 68,1 % para el *Eucalyptus*. El tiempo de aplicación de ozono resultó ser la variable de mayor incidencia sobre la deslignificación. La incorporación de ácido oxálico influyó únicamente en la solubilidad de la pulpa en NaOH al 10 %. Con la adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la extracción alcalina desciende significativamente el grado de polimerización de la celulosa, pero se mantiene dentro del rango requerido para pulpas de disolución. El tiempo y la presencia de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la extracción alcalina influyen significativamente en la blancura del material. El aserrín de *Eucalyptus* arrojó mejores resultados que el bagazo de caña. Aproximadamente se puede aprovechar un 70,3 % de la materia prima inicial, obteniendo diferentes productos de alto valor por

fraccionamiento del aserrín

### Abstract

#### Key Words:

*Eucalyptus*,  
biorefinery,  
dissolving  
pulp,  
fractionation

Cellulosic pulps are raw materials produced by large factories and intended, in general, to produce paper products. The present work applies the concept of biorefinery to the purification of the cellulosic fraction from the hydrothermal-alkaline treatment of *Eucalyptus* sawdust using oxidative treatments with the aim of obtaining pulp to dissolve. The pulp was treated with oxygen, then with ozone and then an alkaline extraction was performed. The properties of the pulps obtained were evaluated and compared with a sugarcane bagasse pulp subjected to a similar treatment and with a commercial dissolving pulp. The pulps obtained after the application of an oxidizing treatment with ozone met the requirements of the dissolving pulps. In the ozone stage, the time, the addition of oxalic acid and the alkaline extraction with and without H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> were modified. The delignification obtained in the oxygen stage was 68.1 % for *Eucalyptus*. The time of ozone application turned out to be the variable with the greatest incidence on delignification. The addition of oxalic acid influenced only the solubility of the pulp in 10 % NaOH. With the addition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in alkaline extraction, the degree of polymerization of cellulose decreases significantly, but remains within the range required for dissolution pulps. The time and presence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in alkaline extraction significantly influence the whiteness of the material. *Eucalyptus* sawdust performed better than sugarcane bagasse. Approximately 70.3 % of the initial raw material can be used, obtaining different high value products by fractionation of sawdust.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico a nivel global se encuentra por encima de cualquier tipo de parámetro ambiental cuando de aprovechamiento de los recursos de la tierra se refiere, ya que no se toma en cuenta que todos los bienes ambientales se agotan cada día más, hasta llegar a ser escasos. Esta ideología data desde los inicios de la revolución industrial; sin embargo, en la sociedad actual, en los últimos años gracias a los efectos notorios en el planeta dicho enfoque ha venido transformándose, generándose alternativas en las cuales exista un equilibrio entre los beneficios económicos y la dinámica ambiental (Stoffel, *et al.* 2012).

La falta de materias primas y la creciente disminución de las fuentes de combustibles fósiles han generado un llamado de atención en la búsqueda de nuevas alternativas que permitan potenciar la producción de nuevas fuentes energéticas. De

esta manera, se impulsa la utilización de la biomasa, particularmente la biomasa lignocelulósica, gracias a su gran disponibilidad como recurso natural renovable y a su carácter poco contaminante. Su total aprovechamiento ha generado el nuevo concepto de Biorrefinería Forestal, el cual garantizaría una fuente alternativa de materia prima como solución a la problemática mencionada anteriormente (Area, *et al.* 2012).

El concepto de Biorrefinería Forestal es similar al de refineries de petróleo, pero su principal materia prima es un recurso renovable: los materiales lignocelulósicos. A partir de éstos se puede producir energía, combustibles, productos químicos, entre otros. El uso eficiente de los lignocelulósicos garantiza la potenciación del valor añadido de los productos que pueden obtenerse (Area, *et al.* 2012).

Las células vegetales a diferencia de las animales presentan pared celular, de esta manera la mayor parte de todas las células de los materiales lignocelulósicos son células fibrosas. Estructuralmente las fibras presentan tres importantes fracciones: la celulosa, las hemicelulosas y la lignina, todas fundamentales para dar porte y rigidez a la planta (Mogollón, *et al.* 2008).

La celulosa es el componente mayoritario de los materiales lignocelulósicos, seguido por la lignina y las hemicelulosas. Adicionalmente hay un pequeño porcentaje que se atribuye a componentes de diferente composición química denominados extractivos (Smook, 1990).

Para lograr separar todas estas fracciones es necesario la aplicación de distintos métodos de fraccionamiento y purificación. Es allí cuando se propone la aplicación en primera instancia de un tratamiento hidrotérmico que permita separar las hemicelulosas y los extractivos; en segundo lugar, una cocción alcalina con la inclusión de soda antraquinona con el fin de extraer la mayor parte de la lignina presente en el material (aserrín de *Eucalyptus*); y a continuación tratamientos oxidativos los cuales garantizan la purificación de la fracción celulósica del material, objetivo principal de la presente investigación. El primero de estos procesos es un blanqueo con oxígeno que acondicione de manera idónea al material para ser sometido a diferentes cargas de ozono en distintos lapsos de tiempo. Esta etapa es el centro de la investigación y dentro de todos los procesos mencionados anteriormente, es el que tendrá condiciones variables, con el fin de evaluar el comportamiento del material lignocelulósico ante el Ozono.

Con el presente trabajo de investigación se espera obtener a partir de una mezcla de aserrín de distintos tipos de eucalipto, pulpas que posean características que se encuentren dentro de los rangos establecidos para ser catalogadas como pulpas para disolución, optimizando la fracción celulósica de aserrín de *Eucalyptus sp.* mediante métodos oxidativos que consideren aplicación de Ozono (O<sub>3</sub>), bajo el novedoso concepto de Biorrefinería Forestal que permita aprovechar adicionalmente las demás fracciones de la materia prima utilizada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material lignocelulósico empleado es una mezcla de aserrín de diferentes especies de *Eucalyptus*, recolectado de varios aserraderos de la provincia de Misiones, Argentina. El aserrín fue tamizado antes de aplicar cualquier tratamiento.

### Tratamiento Hidrotérmico.

En la Tabla 1, se presentan las condiciones establecidas para el desarrollo de este proceso. La cocción se llevó a cabo en un reactor multi-propósitos de acero inoxidable que posee una capacidad de 3,6 litros.

Tabla 1. Condiciones utilizadas en Tratamiento Hidrotérmico

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Temperatura (°C)            | 180    |
| Tiempo hasta T máxima (min) | 15     |
| Tiempo en T. máxima (min)   | 20     |
| Peso seco muestra           | 450    |
| Sequedad muestra (%)        | 88,17  |
| Peso húmedo muestra (g)     | 510,38 |
| Agua utilizada (ml)         | 2.000  |

### Cocción Alcalina con Soda Antraquinona (AQ)

A la pulpa obtenida mediante el tratamiento hidrotérmico, se le realizó una cocción a la soda antraquinona con el fin de eliminar el porcentaje de la lignina residual presente. Las condiciones utilizadas están reflejadas en la Tabla 2; cabe destacar que el % sps, se refiere al porcentaje sobre pulpa seca.

Tabla 2. Condiciones utilizadas en Cocción Alcalina con Soda Antraquinona

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Temperatura (°C)            | 170   |
| Tiempo hasta T máxima (min) | 15    |
| Factor H                    | 2.000 |
| NaOH (% sps)                | 20    |
| Antraquinona (% sps)        | 0,1   |
| Volumen total a carga (ml)  | 2.000 |
| Agua utilizada (ml)         | 2.000 |

### Deslignificación con Oxígeno (O<sub>2</sub>)

La pulpa que se obtuvo en las cocciones alcalinas se utilizó para la aplicación de un tratamiento de deslignificación con oxígeno, éste se realizó en un reactor multi-propósitos. Las condiciones de trabajo están expresadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Condiciones utilizadas en la deslignificación con oxígeno

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Temperatura (°C)              | 100   |
| Tiempo (min)                  | 60    |
| NaOH (% sps)                  | 3     |
| MgSO4 (% sps)                 | 0,1   |
| Oxígeno (kg/cm <sup>2</sup> ) | 6     |
| Consistencia (10)             | 10    |
| Volumen total a cargar (ml)   | 2.000 |

### Deslignificación residual con Ozono (O<sub>3</sub>).

La pulpa obtenida en la deslignificación con oxígeno fue sometida a diferentes tratamientos oxidativos con ozono.

En esta etapa se buscó obtener las condiciones óptimas para lograr la purificación de la fracción celulósica del material usado (aserrín de *Eucalyptus* sp.), por lo que se establecieron algunas condiciones constantes como las reflejadas en la Tabla 4 y otras variables que obedecen a un diseño propuesto, reflejado en la Tabla 5, con el fin de estudiar el comportamiento de la pulpa al entrar en contacto con el ozono.

Se realizaron cuatro tratamientos con ozono: uno a 30 minutos, dos a 60 minutos, pero uno de ellos con la adición de ácido oxálico y uno de 90 minutos. De cada uno de ellos se tomaron dos muestras, teniéndose de este modo los 8 ensayos propuestos en el diseño.

Tabla 4. Condiciones constantes utilizadas en la deslignificación

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Peso seco de la muestra (g) | 20   |
| Consistencia (%)            | 1    |
| pH                          | 2,3  |
| Velocidad de rotación (rpm) | 82   |
| Temperatura (°C)            | 25   |
| Caudal de oxígeno (l/min)   | 0,5  |
| Ozono producido (g/h)       | 1,26 |

Tabla 5. Diseño utilizado para las experiencias con Ozono

| DISEÑO: Condiciones variables. Ozono Experiencia |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Experiencia                                      | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
| Tiempo (min)                                     | 30 | 30 | 60 | 60 | 60 | 60 | 90 | 90 |
| Tratamiento Acido Oxálico                        | -  | -  | -  | -  | x  | x  | -  | -  |
| Extracción NaOH                                  | x  | -  | x  | -  | x  | -  | x  | -  |
| Extracción NOH + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>   | -  | x  | -  | x  | -  | x  | -  | x  |

### Extracción Alcalina.

Al final de cada etapa con ozono se realizó una extracción alcalina a las muestras, la cual presentó variaciones de dos tipos: una solamente con hidróxido de sodio y la

otra una mezcla de peróxido de hidrógeno e hidróxido de sodio. En la Tabla 6 se muestra las condiciones empleadas durante la extracción alcalina.

Tabla 6. Condiciones constantes utilizadas en la extracción alcalina

|                                       |                                     |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Consistencia (%)                      | 10                                  |
| Temperatura (°C)                      | 80                                  |
| Tiempo (min)                          | 60                                  |
| NaOH (% sps)                          | 2                                   |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (% sps) | 0,5                                 |
| Tipo de extracción "a"                | 0,5                                 |
| Tipo de extracción "b"                | NaOH +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> |

### Caracterización final de las pulpas obtenidas

Se realizó una caracterización final a las pulpas obtenidas de los tratamientos con ozono, realizando determinaciones de lignina residual, viscosidad, solubilidad en álcali y blancura. Se aplicaron las siguientes normas estandarizadas en el proceso:

- ◆ Número Kappa: Norma TAPPI T236 om-99.
- ◆ Viscosidad intrínseca: Norma ISO 5351-1.
- ◆ Solubilidad en álcali: Norma TAPPI T235 cm-00.
- ◆ Determinación de blancura: Norma ISO 3688-E.

Los resultados de los ensayos fueron sometidos a un test estadístico de Análisis de Varianza para establecer el impacto de los factores sobre las variables respuesta. Los factores estudiados fueron tiempo, la extracción alcalina y la adición de ácido oxálico; mientras que las variables estudiadas son el número Kappa, la viscosidad, solubilidad en álcali (10 % y 18 % de concentración de NaOH) y la blancura. La comparación múltiple de medias se realizó a partir del método LSD (Least Significant Difference). Los resultados fueron procesados mediante el programa estadístico STATGRAPHICS con un nivel de confianza del 95 %.

### Procesos empleados en cada etapa, aplicando el concepto de Biorrefinería, para obtener y cuantificar productos adicionales.

- ◆ Los licores de los tratamientos hidrotérmicos fueron cuantificados mediante HPLC para determinar la cantidad de hemicelulosas y de otros productos extraídos del aserrín utilizado.
- ◆ La lignina contenida en el licor negro de las cocciones a la soda-AQ, se hizo precipitar usando ácido sulfúrico al 30 %; seguidamente esta lignina obtenida se filtró y se llevó a la estufa para ser posteriormente cuantificada.
- ◆ Los licores de los diferentes ensayos con ozono fueron cuantificados

mediante HPLC para verificar la pureza de las fracciones celulósicas obtenidas.

### Blancura de la pulpa.

La blancura de las pulpas se evaluó con un Espectrofotómetro Color Touch modelo ISO fabricado por Technidyne Corporation. Básicamente este aparato mide la reflectancia de la hoja de papel a diferentes longitudes de onda.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tratamiento Hidrotérmico.

Los rendimientos obtenidos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de rendimiento en los tratamientos hidrotérmicos

| Tratamiento    | Rendimiento (%) | Promedio | R    |
|----------------|-----------------|----------|------|
| Hidrotérmico 1 | 82,98           | 82       | 1,38 |
| Hidrotérmico 2 | 81,02           |          |      |

En la Tabla 8, se presenta la cantidad de glucanos, xilanos, arabinanos y acetilos presentes en los licores de los tratamientos hidrotérmicos, así como también la cantidad promedio de hemicelulosas totales extraídas.

Tabla 8. Valores de polímeros cuantificados en los tratamientos hidrotérmicos

| Cocción  | Glucanos | Xilanos | Arabinanos | Acetilos | Hemicel T ext | % Hemicel ext |
|----------|----------|---------|------------|----------|---------------|---------------|
| TH1      | 0,827    | 7,528   | 0,023      | 0,646    | 8,531         | 80,031        |
| TH2      | 0,899    | 8,161   | 0,002      | 0,575    | 8,488         | 79,626        |
| Promedio | 0,863    | 6,690   | 0,012      | 0,610    | 8,510         | 79,829        |
| DS       | 0,051    | 1,699   | 0,014      | 0,050    | 0,031         | 0,286         |
| CV (%)   | 5,898    | 24,408  | 116,573    | 8,178    | 0,359         | 0,359         |

La cantidad de azúcares presentes en los licores, se encuentran reflejados en la Tabla 9. Adicionalmente se muestra la cuantificación de otros compuestos que se formaron durante las cocciones, mostrando mayor relevancia el ácido acético. El hidroximetil furfural y el furfural son productos de degradación de los azúcares. La cantidad que se encontró en los licores es muy poca en comparación con los azúcares obtenidos.

Tabla 9. Valores de azúcares y otros compuestos cuantificados en los tratamientos hidrotérmicos

| Cocción | Glu-cosa | Celo-biosa | Xilosa | Arabi-nosa | Acido fórmico | Acido acético | HMF   | Fur-fural |
|---------|----------|------------|--------|------------|---------------|---------------|-------|-----------|
| TH1     | 0,582    | 0,353      | 8,754  | 0,224      | 0,147         | 1,644         | 0,014 | 0,577     |
| TH2     | 0,647    | 0,368      | 8,642  | 0,193      | 0,199         | 1,591         | 0,014 | 0,519     |
| Prom    | 0,615    | 0,361      | 8,698  | 0,209      | 0,173         | 1,618         | 0,014 | 0,548     |
| DS      | 0,046    | 0,011      | 0,079  | 0,022      | 0,037         | 0,038         | 0,000 | 0,041     |
| CV (%)  | 7,444    | 2,952      | 0,907  | 10,507     | 21,247        | 2,336         | 2,516 | 7,483     |

La cromatografía High Performance Liquid Chromatography (HPLC) contempla una espectrofotometría con un detector de índice de refracción (IR) a 210 nm en la cual se cuantifican los azúcares y, una espectrofotometría con un detector ultravioleta (UV) a 254 nm en la cual se pueden cuantificar los compuestos de degradación.

El objetivo de hidrolizar las muestras es obtener aun mayor cantidad de hemicelulosas a partir de los azúcares. La hidrólisis propicia la degradación de los azúcares, sin embargo, el porcentaje que se forma es muy poco en comparación con los azúcares extraídos. En las Figuras 1 y 2, se presenta la cromatografía UV a 254 nm para licores con y sin hidrólisis y su comparación.

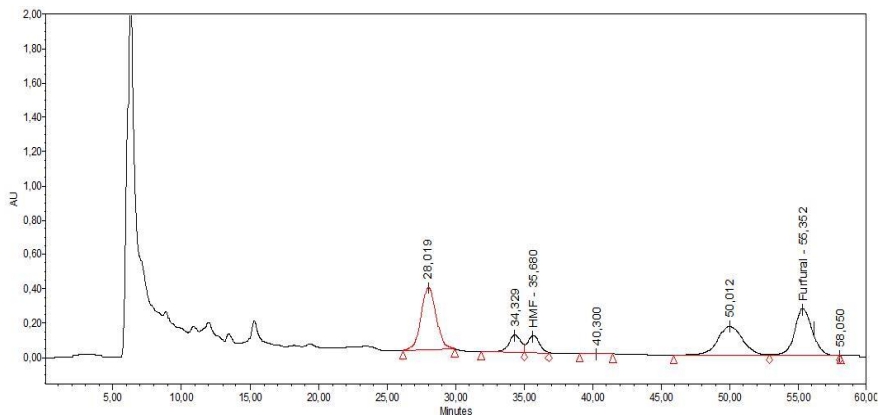


Figura 1. Cromatografía ultravioleta (UV) del licor tratamiento hidrotérmico sin hidrólisis

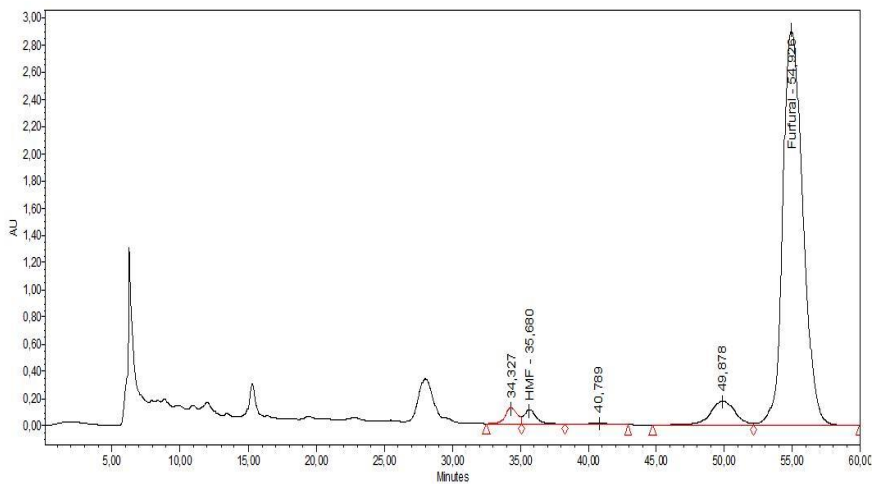


Figura 2. Cromatografía ultravioleta (UV) del licor tratamiento hidrotérmico con hidrólisis

### Cocción Alcalina con Soda-AQ

Los rendimientos obtenidos en las cocciones alcalinas se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores de rendimientos en las cocciones alcalinas a la soda-AQ. DS: Desviación estándar. CV%: Coeficiente de variación

| Tratamiento | Rendimiento (%) | Promedio | DS   | CV (%) |
|-------------|-----------------|----------|------|--------|
| Soda AQ 1   | 39,64           | 38,49    | 1,63 | 4,24   |
| Soda AQ 2   | 37,33           |          |      |        |

Se determinó el número Kappa de las pulpas obtenidas haciendo una réplica para cada cocción y se calculó el porcentaje de rechazos (astillas separadas de las pulpas utilizando el depurador). La Tabla 11 muestra los valores obtenidos.

Tabla 11. Valores Kappa y porcentajes de rechazos en cocciones alcalinas a la soda-AQ

| Tratamiento | Número Kappa |       | Promedio Kappa | CV Kappa | Astillas (%) |
|-------------|--------------|-------|----------------|----------|--------------|
|             | Soda AQ 1    | 20,29 | 20,92          | 20,61    | 2,16         |
| Soda AQ 2   | 18,17        | 18,32 | 18,25          | 0,58     | 0,85         |

### Deslignificación con Oxígeno (O<sub>2</sub>)

De este proceso no se extrajo ningún producto de valor agregado, su finalidad durante el proceso fue reducir considerablemente el número Kappa de 19,4 (valor promedio en las pulpas de soda-AQ) hasta un Kappa promedio de 5,82. El porcentaje de deslignificación entre una etapa y otra calculado fue de 70,1 % con lo que se puede afirmar que el tratamiento con oxígeno fue eficiente.

### Análisis final de las Pulpas Obtenidas

Seguidamente se presenta el análisis de las pulpas tratadas con ozono, se muestra la caracterización del número Kappa, la viscosidad intrínseca, solubilidad en álcali y blancura.

#### **Número Kappa**

En la Figura 3, se aprecia la evolución del número Kappa desde la etapa de Soda-AQ; se puede observar una tendencia de descenso del número Kappa logrando alcanzar un valor mínimo de 0,75 que representa un porcentaje de deslignificación del 91,5 %.

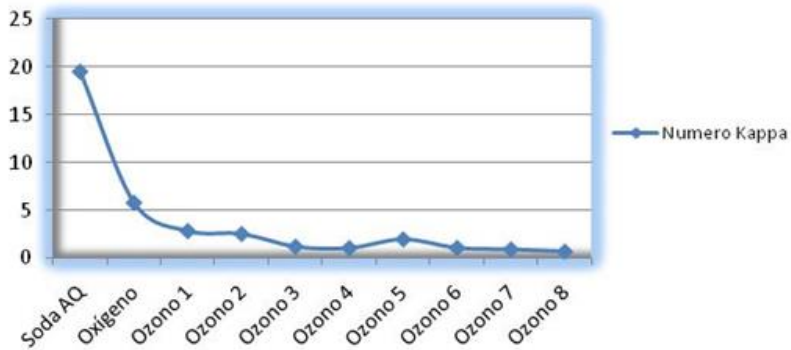


Figura 3. Evolución del número Kappa durante todos los tratamientos aplicados

### Análisis Estadístico.

#### Análisis de Varianza para Kappa.

En el número Kappa el factor que influye significativamente es el tiempo, como se puede observar en la Tabla 12; ya que su P-Valor es menor a 0,05 con un nivel de confianza del 95%. A medida que aumenta el tiempo de contacto pulpa-ozono menor será el número Kappa. (E: Extracción alcalina; Ox: Ácido oxálico)

Tabla 12. Cuadro de ANOVA para número Kappa

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| EFECTOS PRINCIPALES |                   |    |                |         |         |
| A:E                 | 0,3042            | 1  | 0,3042         | 5,30    | 0,1049  |
| B:Ox                | 0,1521            | 1  | 0,1521         | 2,65    | 0,2021  |
| C:tiempo            | 3,99303           | 2  | 1,99652        | 34,76   | 0,0084  |
| RESIDUOS            | 0,1723            | 3  | 0,0574333      |         |         |
| TOTAL (CORREGIDO)   | 4,46995           | 7  |                |         |         |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Como se muestra en la Figura 4, el numero Kappa difiere considerablemente en los niveles de tiempo 30-60 min y 30-90 min. En el intervalo de tiempo 60-90 min no se aprecia diferencia significativa, esto nos indica que los niveles de deslignificación que se alcanzan con un tiempo de 90 minutos son similares a los obtenidos con un tiempo de 60 minutos. Adicionalmente la superposición de sus intervalos demuestra que estadísticamente no hay una diferencia importante.

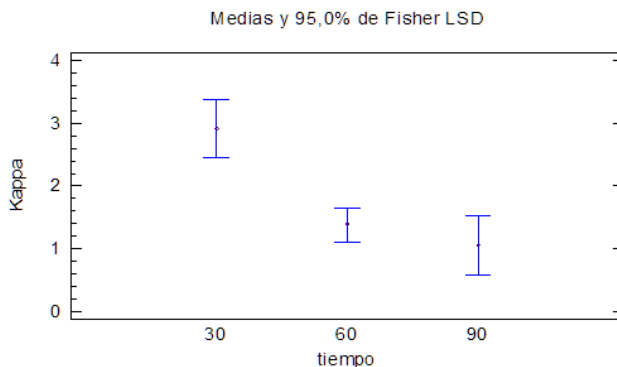


Figura 4. Medias del número Kappa para el factor tiempo

### ***Viscosidad intrínseca.***

Este factor permite evaluar la pulpa con el fin de determinar si posee características de pulpa para disolución. La Figura 5, muestra la evolución de la viscosidad en cada una de las etapas y ensayos realizados

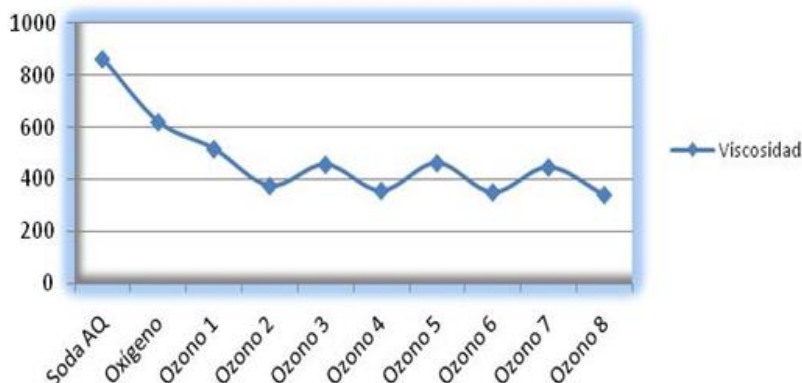


Figura 5. Evolución de la viscosidad durante todos los tratamientos aplicados

### **Análisis Estadístico.**

#### ***Análisis de Varianza para Viscosidad.***

La Tabla 13 muestra los resultados del análisis de varianza para la viscosidad

La Extracción alcalina (E) influye significativamente en la viscosidad de la pulpa dado que su P-valor es menor a 0,05 (nivel de confianza del 95%). El P-valor del tiempo es muy cercano a 0,05 por lo cual se considera como un factor significativo en la viscosidad de la pulpa, esta diferencia se observa en la prueba de rangos múltiples.

Tabla 13. Cuadro de ANOVA para Viscosidad

| Fuente               | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                   |    |                |         |         |
| A:tiempo             | 2990,33           | 2  | 1495,17        | 9,05    | 0,0536  |
| B:E                  | 26796,1           | 1  | 26796,1        | 162,28  | 0,0010  |
| C:Ox                 | 0,0               | 1  | 0,0            | 0,00    | 1,0000  |
| RESIDUOS             | 495,375           | 3  | 165,125        |         |         |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 30398,9           | 7  |                |         |         |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### *Pruebas de Rangos Múltiples para Viscosidad por tiempo*

La viscosidad de la pulpa difiere significativamente entre los niveles de tiempo de 30 y 90 minutos. Entre 30 y 60 minutos no hay diferencia notoria y lo mismo ocurre entre los rangos de tiempo de 60 y 90 minutos. En la Figura 6, se aprecia superposición de los intervalos, lo que indica que no son estadísticamente diferentes, y adicionalmente se observa cómo no se superponen los rangos de 30 y 90 minutos.

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Tiempo | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|--------|-------|----------|----------|-------------------|
| 90     | 2     | 393,5    | 11,1285  | X                 |
| 60     | 4     | 406,5    | 6,42505  | XX                |
| 30     | 2     | 446,0    | 11,1285  | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 30 - 60   |      | 39,5       | 40,8948     |
| 30 - 90   | *    | 52,5       | 40,8948     |
| 60 - 90   |      | 13,0       | 40,8948     |

\* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

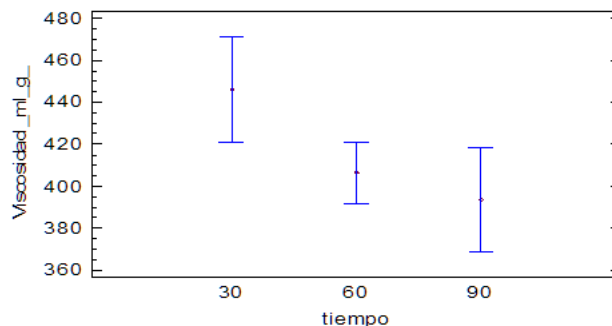


Figura 6. Medias de la viscosidad para el factor tiempo

**Pruebas de Rangos Múltiples para Viscosidad por Extracción alcalina**

Método: 95,0 porcentaje LSD

| E | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---|-------|----------|----------|-------------------|
| b | 4     | 357,458  | 7,86905  | X                 |
| a | 4     | 473,208  | 7,86905  | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| a - b     | *    | 115,75     | 28,917      |

\* indica una diferencia significativa

La Figura 7, refleja como la extracción alcalina posterior al tratamiento con ozono influye en la viscosidad de la pulpa, obteniéndose valores más altos sólo con la extracción de hidróxido de sodio. La adición de peróxido de hidrógeno influye significativamente en el descenso del grado de polimerización promedio de la pulpa.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

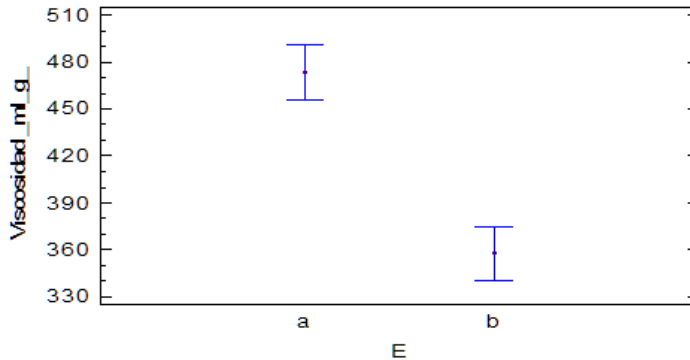


Figura 7. Medias de la viscosidad para el factor extracción alcalina. a= NaOH b= NaOH + H2O2

**Solubilidad en álcali**

En la Tabla 14, se observa que la solubilidad de la pulpa en álcali al 10 % de concentración excede los rangos de solubilidad idóneos, evidenciando mayor poder de disolución. La solubilidad de la pulpa en álcali al 18 % muestra que todas las pulpas tratadas con ozono están dentro del rango necesario para ser llamadas pulpas para disolución.

Tabla 14. Resultados de solubilidad en álcali

| Ensayo  | Características                                | Aserrín Eucalyptus |        |        |        | Bagazo |        |        |        |
|---------|--|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         |  | S 18 %             | R 18 % | S 10 % | R 10 % | S 18 % | R 18 % | S 10 % | R 10 % |
| Oxígeno | 60´  | 2,68               | 97,30  | 7,90   | 92,10  | 4,20   | 95,80  | 5,10   | 94,90  |
| Ozono 1 | 30´ - NaOH                                     | 2,68               | 97,32  | 9,11   | 90,89  | -      | -      | 5,60   | 94,40  |
| Ozono 2 | 30´ NaOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>         | 3,33               | 96,67  | 12,22  | 87,78  | -      | -      | 7,50   | 92,50  |
| Ozono 3 | 60´ + NaOH                                     | 2,88               | 97,12  | 9,31   | 90,69  | 3,50   | 96,50  | 6,10   | 93,90  |
| Ozono 4 | 60´ +NaOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>        | 3,28               | 96,72  | 12,46  | 87,54  | 3,90   | 96,10  | 8,70   | 91,30  |
| Ozono 5 | 60´-Oxálico-Na                                 | 2,97               | 97,03  | 8,77   | 91,23  | -      | -      | -      | -      |
| Ozono 6 | 60´-Oxálico-NaOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 3,28               | 96,72  | 10,98  | 89,02  | -      | -      | -      | -      |
| Ozono 7 | 90´-NaOH                                       | 3,06               | 96,94  | 9,16   | 90,84  | 3,30   | 96,70  | -      | -      |
| Ozono 8 | 90´-NaOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>         | 3,71               | 96,29  | 11,58  | 88,42  | 4,00   | 96,00  | 8,40   | 91,60  |

### Análisis Estadístico

#### *Solubilidad en álcali al 10 % de concentración de NaOH*

#### *Análisis de Varianza para Solubilidad 10 %*

La Tabla 15, muestra los resultados del análisis de varianza para la solubilidad en álcali al 10 % de concentración de NaOH.

Tabla 15. Cuadro de ANOVA para Solubilidad al 10 % de concentración de NaOH

| Fuente               | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                   |    |                |         |         |
| A:Tiempo             | 0,533717          | 2  | 0,266858       | 4,19    | 0,0443  |
| B:Ox                 | 2,03011           | 1  | 2,03011        | 31,90   | 0,0001  |
| C:NaOH_NaOH_H2O2     | 29,648            | 1  | 29,648         | 465,88  | 0,0000  |
| RESIDUOS             | 0,700025          | 11 | 0,0636386      |         |         |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 32,6222           | 15 |                |         |         |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Todos los factores estudiados: tiempo, adición de oxálico (Ox) y extracción alcalina (E) influyen significativamente en la solubilidad de las pulpas en una concentración de NaOH al 10 %, ya que su P-Valor está por debajo de 0,05 considerando un nivel de confianza del 95 %.

En la Figura 8, se puede observar que la solubilidad en NaOH al 10 % difiere en los niveles de tiempo de 60 y 90 minutos; ya que los intervalos no se superponen. Las pulpas que mantuvieron el mayor tiempo de contacto con el ozono muestran valores más bajos de solubilidad en comparación a 60 minutos.

**Pruebas de Rangos Múltiples para Solubilidad 10 % por Tiempo.**

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Tiempo | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|--------|-------|----------|-----------|-------------------|
| 90     | 4     | 9,86625  | 0,154481  | X                 |
| 30     | 4     | 10,1588  | 0,154481  | XX                |
| 60     | 8     | 10,3813  | 0,0891899 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 30 - 60   |      | -0,2225    | 0,392612    |
| 30 - 90   |      | 0,2925     | 0,392612    |
| 60 - 90   | *    | 0,515      | 0,392612    |

\* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

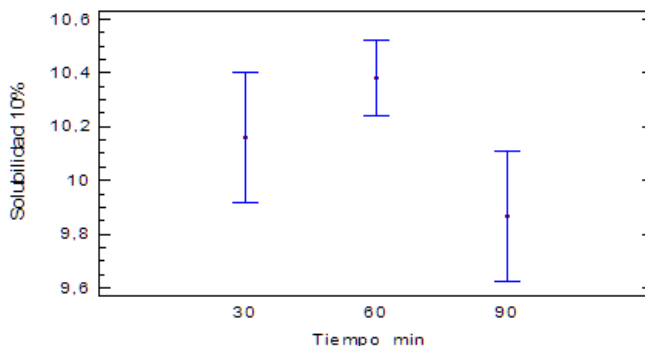


Figura 8. Medias de la solubilidad al 10% para el factor tiempo.

**Pruebas de Rangos Múltiples para Solubilidad 10 % por agregado de ácido oxálico.**

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Ox | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|----|-------|----------|-----------|-------------------|
| si | 4     | 9,63167  | 0,162838  | X                 |
| no | 12    | 10,6392  | 0,0728232 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| no - si   | *    | 1,0075     | 0,392612    |

\* indica una diferencia significativa.

La Figura 9, muestra que la adición de ácido oxálico a las pulpas provocó una disminución en la solubilidad al 10 % de las mismas. Es importante mencionar que el oxálico sólo es significativo sobre esta variable.

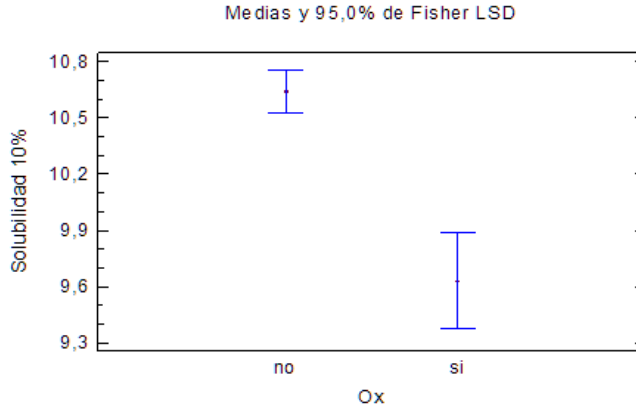


Figura 9. Medias de la solubilidad al 10% para el ácido oxálico.

### Pruebas de Rangos Múltiples para Solubilidad 10 % por extracción alcalina.

Método: 95,0 porcentaje LSD

| NaOH_NaOH_H2O2 | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------|-------|----------|----------|-------------------|
| NaOH           | 8     | 8,77417  | 0,109235 | X                 |
| NaOH-H2O2      | 8     | 11,4967  | 0,109235 | X                 |

| Contraste        | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|------------------|------|------------|-------------|
| NaOH - NaOH-H2O2 | *    | -2,7225    | 0,277619    |

\* indica una diferencia significativa.

En la Figura 10, se puede apreciar que la extracción alcalina, posterior al tratamiento con ozono, influye en la solubilidad de la pulpa al 10 %, obteniéndose valores más bajos sólo con la extracción con hidróxido de sodio. La adición de peróxido de hidrogeno provoca un aumento de la solubilidad de la pulpa, lo que se considera como un factor negativo, ya que se busca obtener valores bajos de solubilidad.

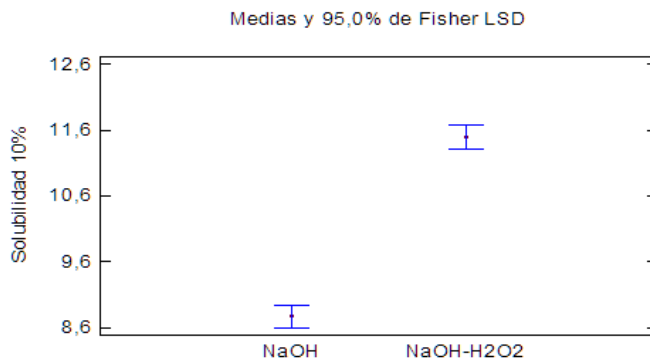


Figura 10. Medias de la solubilidad al 10% para la extracción alcalina

### Solubilidad en álcali al 18 % de concentración de NaOH.

#### *Análisis de Varianza para Solubilidad 18 %.*

La Tabla 16 muestra los resultados del análisis de varianza para la solubilidad en álcali al 18 % de concentración de NaOH. El tiempo y la extracción alcalina influyen significativamente en la solubilidad de las pulpas en una concentración de NaOH al 18 %, dado que su P-Valor es menor a 0,05 para un nivel de confianza del 95 %. Se aprecia una diferencia en relación con la solubilidad al 10 %, ya que en ella son influyentes todos los factores estudiados.

Tabla 16. Cuadro de ANOVA para Solubilidad al 18% de concentración de NaOH

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| EFECTOS PRINCIPALES |                   |    |                |         |         |
| A:Tiempo            | 0,328717          | 2  | 0,164358       | 11,95   | 0,0017  |
| B:Ox                | 0,0036125         | 1  | 0,0036125      | 0,26    | 0,6185  |
| C:NaOH_NaOH_H2O2    | 1,02516           | 1  | 1,02516        | 74,52   | 0,0000  |
| RESIDUOS            | 0,151319          | 11 | 0,0137562      |         |         |
| TOTAL (CORREGIDO)   | 1,50804           | 15 |                |         |         |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

En la Figura 11, se puede apreciar que existen diferencias significativas en la solubilidad de las pulpas en álcali al 18 % de concentración de NaOH, tanto en los niveles de tiempo de 30-90 min como para los niveles de tiempo de 60-90 min; cabe destacar que las pulpas que tuvieron menor tiempo de contacto con el ozono muestran valores más bajos de solubilidad. Por lo tanto, para alcanzar los valores idóneos de solubilidad no es necesario un alto periodo de tiempo de contacto.

### Pruebas de Rangos Múltiples para Solubilidad 18 % por Tiempo.

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Tiempo | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|--------|-------|----------|-----------|-------------------|
| 30     | 4     | 3,02125  | 0,0718234 | X                 |
| 60     | 8     | 3,10375  | 0,0414672 | X                 |
| 90     | 4     | 3,40625  | 0,0718234 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 30 - 60   |      | -0,0825    | 0,182538    |
| 30 - 90   | *    | -0,385     | 0,182538    |
| 60 - 90   | *    | -0,3025    | 0,182538    |

\* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

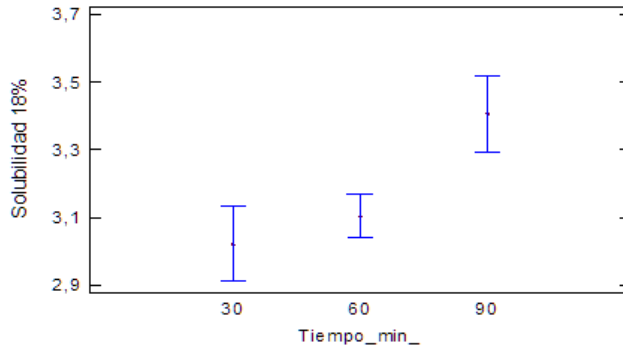


Figura 11. Medias de la solubilidad al 18% para el tiempo

### Pruebas de Rangos Múltiples para Solubilidad 18 % por extracción alcalina

Método: 95,0 porcentaje LSD

| NaOH_NaOH_H2O2 | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|----------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| NaOH           | 8     | 2,92396  | 0,0507868 | X                 |
| NaOH-H2O2      | 8     | 3,43021  | 0,0507868 | X                 |

| Contraste        | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|------------------|------|------------|-------------|
| NaOH - NaOH-H2O2 | *    | -0,50625   | 0,129074    |

\* indica una diferencia significativa.

Al igual que en la solubilidad al 10% de concentración de NaOH, la extracción alcalina posterior al tratamiento con ozono influye en la solubilidad de la pulpa en

NaOH a 18% de concentración, como se puede observar en la Figura 12; obteniéndose valores más bajos con una extracción de sólo hidróxido de sodio; es importante señalar que una adición de peróxido de hidrogeno no influye significativamente en el descenso de la solubilidad promedio de la pulpa, lo que se considera como un factor negativo, ya que se desean obtener valores bajos de solubilidad. Los intervalos no se superponen indicando que estadísticamente hay una diferencia considerable.

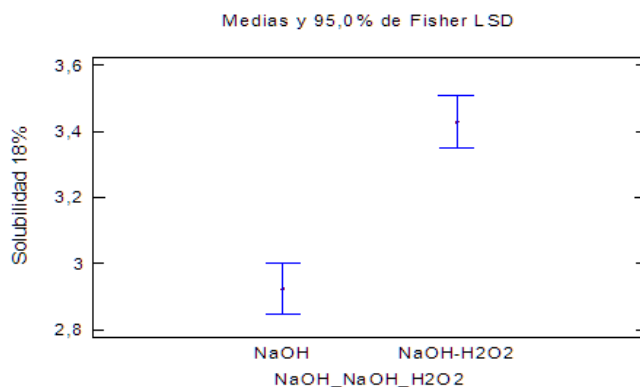


Figura 12. Medias de la solubilidad al 18% para la extracción alcalina

### ***Blancura de la pulpa***

La Figura 13, muestra el porcentaje de blancura ISO que alcanzó cada una de las pulpas evaluadas una vez aplicados todos los tratamientos; como se puede observar, el ensayo que presentó mayor índice de blancura ISO fue el denominado “Ozono 8” cuyas condiciones establecidas: 90 min y una extracción alcalina de NaOH + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; el valor obtenido fue de 84,6%, y se inició de 28,7% en la pulpa de soda-AQ.

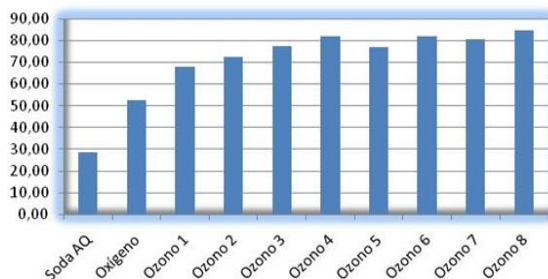


Figura 13. Blancura ISO% de las muestras estudiadas

La Figura 14, muestra el espectro de la curva de la blancura de cada una de las muestras evaluadas a diferentes longitudes de onda; sin embargo la longitud de onda que se toma en cuenta es de 457 nm que es donde el espectrofotómetro usado hace la

medición.

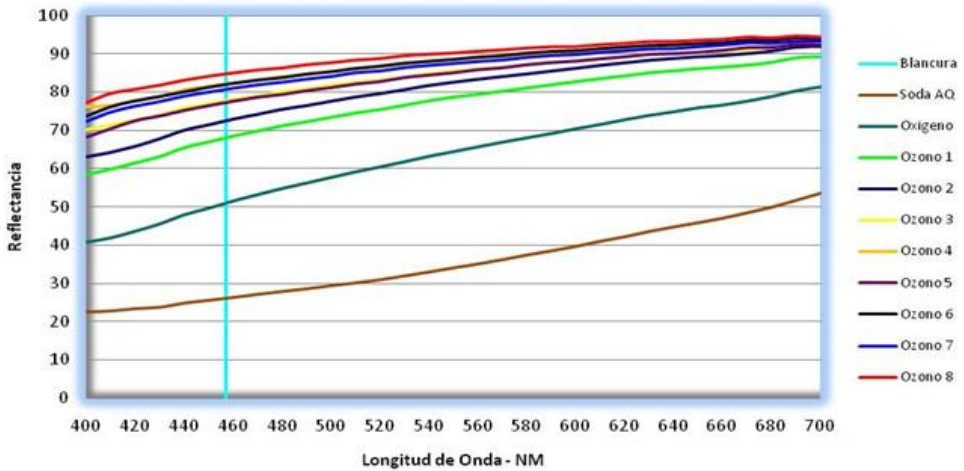


Figura 14. Curva de Blancura en función de la longitud de onda

Las pulpas tratadas con una extracción alcalina que involucró NaOH y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mostraron mayor porcentaje de blancura ISO con respecto a las que solo se les aplicó una extracción alcalina con NaOH; lo que se puede apreciar en la Figura 15.

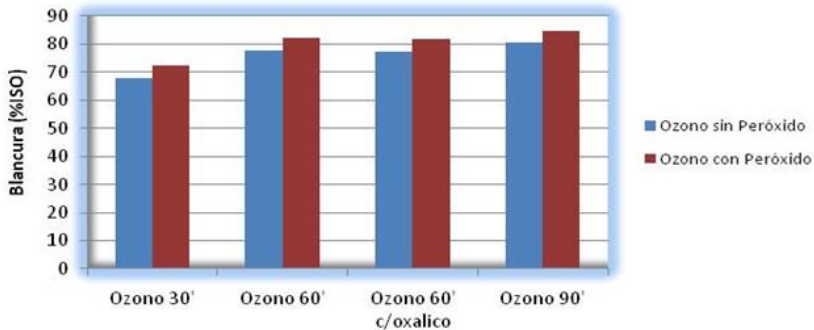


Figura 15. Efecto del peróxido de hidrógeno en la extracción alcalina sobre la blancura

### Análisis Estadístico.

#### *Análisis de Varianza para Blancura ISO %.*

La Tabla 17 muestra los resultados del análisis de varianza para la blancura de la pulpa.

Tabla 17. Cuadro de ANOVA para Blancura ISO%.

| Fuente                      | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-----------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| <b>EFFECTOS PRINCIPALES</b> |                   |    |                |         |         |
| A:tiempo                    | 169,861           | 2  | 84,9304        | 2572,35 | 0,0000  |
| B:E                         | 39,5161           | 1  | 39,5161        | 1196,85 | 0,0001  |
| C:Ox                        | 0,0961            | 1  | 0,0961         | 2,91    | 0,1865  |
| RESIDUOS                    | 0,09905           | 3  | 0,0330167      |         |         |
| TOTAL (CORREGIDO)           | 215,516           | 7  |                |         |         |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

El tiempo y la extracción alcalina (E) influyen significativamente en la blancura de la pulpa dado que su P-Valor es menor a 0,05 para un nivel de confianza del 95 %.

**Pruebas de Rangos Múltiples para Blancura ISO % por tiempo.**

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

| Tiempo | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|--------|-------|----------|-----------|-------------------|
| 30     | 2     | 69,96    | 0,157361  | X                 |
| 60     | 4     | 79,635   | 0,0908524 | X                 |
| 90     | 2     | 82,36    | 0,157361  | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 30 - 60   | *    | -9,675     | 0,758699    |
| 30 - 90   | *    | -12,4      | 0,758699    |
| 60 - 90   | *    | -2,725     | 0,758699    |

\* indica una diferencia significativa.

La blancura de la pulpa difiere significativamente en todos los niveles de tiempo.

En la Figura 16, se observa que los intervalos de las medias no se superponen por lo cual son diferentes y a medida que se incrementa el tiempo de contacto entre la pulpa y el ozono aumenta la blancura.

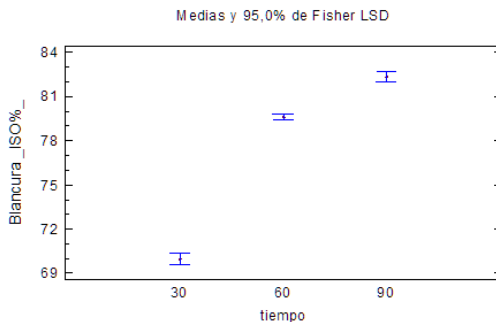


Figura 16. Medias de la blancura ISO % para el tiempo.

### Pruebas de Rangos Múltiples para Blancura ISO % por extracción alcalina.

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

| E | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---|-------|----------|----------|-------------------|
| a | 4     | 75,0958  | 0,111271 | X                 |
| b | 4     | 79,5408  | 0,111271 | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| a - b     | *    | -4,445     | 0,408896    |

\* indica una diferencia significativa.

La Figura 17, refleja la forma en que la extracción alcalina posterior al tratamiento con ozono influye sobre la blancura de la pulpa, obteniéndose blancos más altos con una extracción que involucra una carga de hidróxido de sodio con una adición de peróxido de hidrógeno.

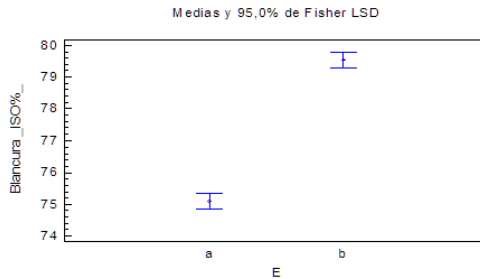


Figura 17. Medias de la blancura ISO % para la extracción alcalina. a: NaOH b: NaOH + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

### Cromatografía High Performance Liquid Chromatography (HPLC) a licores de los tratamientos con ozono.

Los licores generados durante la aplicación de los tratamientos con ozono fueron cuantificados mediante el uso de la cromatografía HPLC. Se determinó la cantidad de azúcares que aún pudieran quedar en las pulpas, esto con el fin de determinar el grado de pureza de la fracción celulósica. La Tabla 18, muestra la cantidad de azúcares encontradas, la cual es insignificante, por lo que se consideró que el material obtenido es de alta pureza.

Tabla 18. Valores de azúcares y otros compuestos cuantificados en los tratamientos con ozono

| Tratamiento           | Glucosa | Xilosa | Ac Oxálico |
|-----------------------|---------|--------|------------|
| Ozono 30'             | 0,081   | 0      | 0          |
| Ozono 60'             | 0,064   | 0      | 0,088      |
| Ozono 60' con Oxálico | 0,079   | 0      | 0,108      |
| Ozono 90              | 0,059   | 0,024  | 0,191      |

En la Figura 18 se aprecia un cromatograma de los licores de los diferentes tratamientos con ozono pasados por el detector de índice de refracción (IR); la Figura 19 muestra una cromatografía ultravioleta (UV) de los mismos licores.

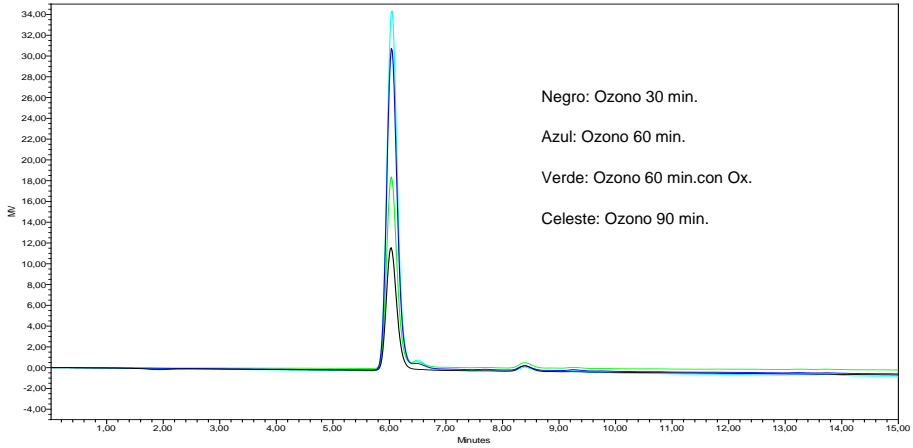


Figura 18. Cromatografía con detector de índice de refracción (IR) de los licores de tratamiento con ozono

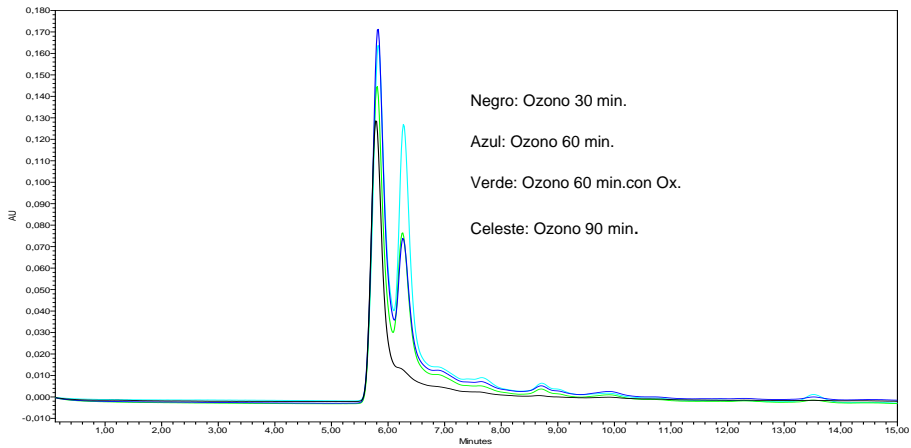


Figura 19. Cromatografía ultravioleta (UV) de los licores de tratamiento con ozono

### Productos obtenidos con los diferentes procesos de fraccionamiento

En la Tabla 19, se aprecia que se aprovechó aproximadamente un 70,3% de aserrín utilizado inicialmente al considerar todos los procesos aplicados.

**Tabla 19. Productos expresados en porcentaje sobre madera seca**

| Productos (%sms)    |                          |       |
|---------------------|--------------------------|-------|
| Hemicelulosas       | Tratamiento hidrotérmico | 8,51  |
| Ac. acético         | Tratamiento hidrotérmico | 1,62  |
| Lignina             | Soda-AQ                  | 29,38 |
| Pulpa para disolver | TH-sida-AQ-Ox-Ozono      | 30,79 |
| Total obtenido      |                          | 70,3  |

### Resumen de la caracterización final de las pulpas evaluadas.

En la Tabla 20, se presentan los valores calculados y determinados durante la investigación.

**Tabla 20. Caracterización de las Pulpas Finales**

| Caracterización de pulpas finales con aplicación de tratamientos Soda AQ-Oxígeno y Ozono |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Experiencia  | Soda AQ | Oxígeno | Ozono 1 | Ozono 2 | Ozono 3 | Ozono 4 | Ozono 5 | Ozono 6 | Ozono 7 | Ozono 8 |
| Ozono consumido (% sps)  | -       | -       | 1       | 1       | 1,95    | 1,95    | 2,50    | 2,50    | 4,35    | 4,35    |
| Sequedad (%)   | 89,15   | 91,65   | 92,3    | 92,25   | 92      | 91,95   | 92      | 92      | 91,55   | 91,55   |
| Kappa  | 19,45   | 5,82    | 2,88    | 2,58    | 1,26    | 1,11    | 2,02    | 1,13    | 0,97    | 0,75    |
| % Deslignificación   | -       | 70,08   | 50,51   | 55,67   | 78,35   | 80,93   | 65,29   | 80,58   | 83,33   | 87,11   |
| Viscosidad (ml/g)  | 864     | 621     | 517     | 375     | 457     | 356     | 463     | 350     | 447     | 340     |
| Solubilidad NaOH 10%   | -       | 7,9     | 9,11    | 12,22   | 9,31    | 12,46   | 8,77    | 10,98   | 9,16    | 11,58   |
| Solubilidad NaOH 18%   | -       | 2,68    | 2,68    | 3,33    | 2,88    | 3,28    | 2,97    | 3,28    | 3,06    | 3,71    |
| Resistencia NaOH 10 %  | -       | 92,10   | 90,89   | 87,78   | 90,69   | 87,54   | 91,23   | 89,02   | 90,84   | 88,42   |
| Resistencia NaOH 18 %  | -       | 97,32   | 97,32   | 96,67   | 97,12   | 96,72   | 97,03   | 96,72   | 96,94   | 96,29   |
| Blancura (ISO%)  | 28,70   | 52,74   | 67,94   | 72,29   | 77,55   | 82,03   | 77,09   | 81,87   | 80,43   | 84,60   |
| Λ Blancura   | -       | -       | 15,2    | 19,55   | 24,81   | 29,29   | 24,35   | 29,13   | 27,69   | 31,86   |
| Λ H2O2-NaOH:NaOH   | -       | -       | -       | 4,35    | -       | 4,48    | -       | 4,78    | -       | 4,17    |
| Whiteness  | -       | -       | 34,83   | 42,99   | 56,32   | 65,55   | 55,48   | 64,66   | 62,46   | 70,56   |
| Tono   | -       | -       | -5,78   | -4,91   | -3,55   | -2,55   | -3,82   | -2,76   | -2,92   | -2,00   |
| L´   | 67,49   | 84,71   | 90,95   | 92,64   | 93,95   | 95,27   | 93,80   | 95,33   | 94,80   | 96,02   |
| a´   | 5,29    | 2,29    | 1,21    | 0,95    | 0,68    | 0,40    | 0,81    | 0,47    | 0,53    | 0,23    |
| b´   | 12,62   | 12,97   | 9,27    | 8,47    | 6,31    | 5,02    | 6,41    | 5,29    | 5,44    | 4,34    |

## CONCLUSIONES

Las pulpas obtenidas luego de la aplicación de un tratamiento oxidante con Ozono cumplen con las características mínimas requeridas para ser catalogadas como pulpas para disolución.

El uso de un aditivo previo a la etapa de ozono como el ácido oxálico no ejerce efecto significativo sobre las características evaluadas en las pulpas. Solamente influye en la solubilidad con 10 % de NaOH.

El grado de deslignificación de las pulpas aumenta a medida que se incrementa el tiempo de contacto entre la pulpa y el ozono, siendo el número Kappa el único factor significativo que influye.

En las pruebas en las que se realizaron extracciones alcalinas de NaOH y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, el grado de polimerización de las pulpas desciende significativamente; sin embargo los valores arrojados se mantienen en el rango necesario para una pulpa para disolución.

La solubilidad en álcali se ve afectada por los tres factores considerados durante el desarrollo de la investigación: el tiempo, la adición de ácido oxálico y la extracción alcalina; obteniéndose una pulpa con características idóneas para ser catalogada como pulpa para disolución.

El tiempo y el tipo de extracción alcalina influyen significativamente en la blancura del material lignocelulósico utilizado; el aumento del tiempo de contacto entre pulpa y el ozono es directamente proporcional al aumento de su blancura. Una extracción alcalina que involucre la adición de peróxido de hidrógeno brindará mejor blancura a la pulpa.

Aproximadamente se puede aprovechar un 70,3 % del material inicial (mezcla de distintos tipos de *Eucalyptus*), obteniendo diferentes productos químicos gracias al fraccionamiento realizado al aserrín.

Queda demostrado que aplicando correctamente el concepto de Biorrefinería es posible obtener pulpas para disolución a partir de lo que generalmente era conocido como desperdicios de la industria maderera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Area MC, Vallejos ME. Biorrefinería a partir de residuos lignocelulósicos. Editorial Académica Española. Berlin, 2012.
- Caparrós S. Fraccionamiento integral de vegetales no alimentarios para la obtención de pasta celulósica y subproductos. Tesis Doctoral. Huelva, España, 2007.

- Dence CW, Reeve D W. Pulp bleaching. Principles and practice. Atlanta, Georgia. USA: TAPPI press, 1996.
- Domínguez RO. Un árbol de interés comercial. Eucalipto. ABC. <http://archivo.abc.com.py/suplementos/rural/articulos.php?pid=355171>. 2012
- Expósito M. Análisis de alternativas tecnológicas e ingeniería conceptual de una Biorefinería Lignocelulósica. Sevilla, España, 2008.
- García J, Vidal L. Blanqueo de pastas en la industria papelera. Terrasa, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Grace, Malcolm. Pulp and Paper Manufacture: *Vol 5. Alkaline Pulping*. Atlanta, Georgia. USA. TAPPI, 1989.
- ISO. Papel, board and pulps. ISO Standards Handbook. Francia, 1998.
- Mogollón G, García JA, León W. Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica. Capítulo I. Materias primas fibrosas. RIADICYP. 1ª edición. Argentina, 2008. 15-60.
- Otero M. Composicao Quimica dos Materiais Lignocelulósicos. En *Celulose e Papel. Vol. I: Tecnología de Fabricacao*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo S.A, 1998. 45-106.
- Roncero M B, Colom J, Vidal T. Why oxalic acid protects cellulose during ozone treatments *Carbohydrate Polymers* , 2003. 411-422.
- Scientific Psychic*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2012, de <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html>, 2012
- Smook G A. Manual para técnicos de pulpa y papel. Atlanta, Georgia. USA: TAPPI PRESS, 1990.
- Stoffel R B, Felissia F E, Vallejos M E, Area M C . Biorrefinería a partir de residuos lignocelulósicos .Capítulo 5: Aplicación de la Biorrefinería. Editorial Académica Española. Berlín, 2012. 171-182.
- TAPPI. Tappi Test Methods. Atlanta, Georgia. USA: TAPPI PRESS, 1996.

# MEJORA DE LA DURABILIDAD NATURAL DE *DENDROCALAMUS ASPER* (SCHULT.) BACKER Y *GUADUA ANGUSTIFOLIA* KUNTH POR PRESERVACION CON COMPUESTOS DE BORO Y ACQ

## IMPROVING THE NATURAL DURABILITY OF *DENDROCALAMUS ASPER* (SCHULT.) BACKER AND *GUADUA ANGUSTIFOLIA* KUNTH BY PRESERVATION WITH BORON COMPOUNDS AND ACQ

AMARILIS BURGOS<sup>1</sup>, ERNESTO RIVERA<sup>1</sup> Y YOLY MOLINA<sup>2</sup>

1. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela Técnica Superior Forestal, 2. Laboratorio Nacional de Productos Forestales

E-mail: amarilis.guadua@gmail.com

ORCID: 0009-0008-2358-1094

Recibido 29 octubre 2022 – Aceptado 8 marzo 2023

### Resumen

#### Palabras clave:

Durabilidad inducida

Compuestos de boro.

ACQ.

Preservación

Inmersión difusión.

Baño caliente frío.

*Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer.

*Guadua angustifolia* Kunth.

Se evalúa el efecto de sales de boro y ACQ, a diversas concentraciones, como preservantes de materiales lignocelulósicos, para mejorar la durabilidad natural que tienen los bambúes: *Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer y *Guadua angustifolia* Kunth, impregnando los culmos mediante procesos sin presión (inmersión-difusión y baño caliente frío) y con presión mediante el proceso Lowry modificado. Se consideró la variación de la densidad en las zonas apical media y baja de los culmos y su efecto en la absorción y penetración de los químicos.

Los bambúes estudiados tienen mayor densidad en la zona apical que disminuye hacia la parte media y basal del culmo, siendo *D. asper* la especie que tiene mayor densidad, 0,788 g/cm<sup>3</sup> frente a 0,630 g/cm<sup>3</sup> de *G. angustifolia*, explicado por espesores mayores en las paredes de los culmos en la parte baja que tienen mayor cantidad de parénquima, lúmenes de paredes gruesas y menor número de fibras.

*G. angustifolia* tuvo mejor absorción, 313,617 kg/m<sup>3</sup>, de compuestos de boro al 4 % aplicando el método Lowry modificado; la menor absorción la tuvo *D. asper* con 41,508 kg/m<sup>3</sup> usando ACQ al 4 % por el método caliente frío. La penetración de los preservantes ensayados fue muy similar, 95,83 % para *G. angustifolia* con el método Lowry modificado y compuestos de boro al 4 % y 81,46 % para *D. asper* y compuestos de boro al 5 % mediante inmersión difusión. Lo mejores valores de absorción retención y penetración se lograron aplicando el método Lowry

modificado, seguido por inmersión difusión y baño caliente sin preservante y frío con preservante.

## Abstract

### Key Words:

Natural and induced durability

Preservation, Boron compounds.

ACQ.

Modified Lowry method.

Immersion, diffusion.

Hot bath cold.

*Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer.

*Guadua angustifolia* Kunth.

The effect of the use of boron salts and ACQ, at various concentrations to improve the natural durability of *Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer and *Guadua Angustifolia* Kunth is evaluated, impregnating the culms by non-pressure processes (immersion-diffusion and hot cold bath) and with pressure by modified Lowry process. The variation of density in the apical, middle and lower zones of the culms and its effect on the density, moisture content, absorption, retention and penetration of chemicals was considered.

The bamboos studied have a higher density in the apical zone that decreases towards the middle and basal part of the culm, with *D. asper* being the species with the highest density, 0.788 g/cm<sup>3</sup> compared to 0.630 g/cm<sup>3</sup> of *G. angustifolia*, explained by greater thickness in the walls of the culms in the lower part that have a greater amount of parenchyma, thick-walled lumens and fewer fibers.

*G. angustifolia* had better absorption, 313.617 kg/m<sup>3</sup>, of 4 % boron compounds applying the modified Lowry method; the lowest absorption was achieved by *D. asper* with 41.508 kg/m<sup>3</sup> using 4 % ACQ by the hot cold bath method. The penetration of the tested preservatives was very similar, 95.83 % for *G. angustifolia* with the modified Lowry method and 4 % boron compounds and 81.46 for *D. asper* and 5 % boron compounds by diffusion immersion. The best values of absorption, retention and penetration were achieved by applying the modified Lowry method, followed by immersion, diffusion and hot bath without preservative and cold bath with preservative.

## 1. INTRODUCCIÓN

Suele generalizarse el nombre común de bambú, para varias especies de bambúes que pertenecen a la familia de las Poaceae, distinguiéndose los bambúes leñosos que se considera tienen ventajas en relación a las maderas de especies arbóreas debido a su rápido crecimiento y mayor producción de biomasa; éstos poseen excelentes propiedades físicas y mecánicas que los hacen aptos para construcción y artesanía (Monroy, 2006), aunque durante su formación, a diferencia de plantas arbóreas no tienen crecimiento secundario o incremento en el diámetro, sino crecimiento primario o apical (Liese, 1998).

Los bambúes están ampliamente distribuidos en todo el mundo, en Venezuela se encuentran 11 géneros, nueve son nativos y dos introducidos; se han descrito 67

especies leñosas nativas de Venezuela, agrupados en las subtribus Arthrostylydiinae, Chusqueinae y Guaduinae, de las cuales 20 son endémicas (Clark y Ely, 2011).

En Venezuela, es muy poco lo que se conoce acerca de la utilización de los bambúes con excepción de alguna producción artesanal, a diferencia de otros países donde el uso de varias especies en la construcción es amplio y reconocido, como en Colombia, (Delgado, 2023), Ecuador (Rivadeneira, 2021), Perú (Meza y Muñoz, 2022), Guatemala (Calo, 2018).

Una de las limitaciones para el uso masivo del bambú es su baja durabilidad natural frente a agentes bióticos destructores de compuestos ligno-celulósicos, requiriendo en consecuencia el uso de compuestos químicos protectores, conocidos como preservantes de la madera, los cuales deben ser introducidos en la estructura del culmo tan profunda y uniformemente como sea posible (Liese, 2005) para lograr una durabilidad inducida.

La baja durabilidad natural de los bambúes se debe a la presencia de azúcares no estructurales y almidón presentes en sus tejidos (Liese, 2005), que hacen posible su degradación por insectos xilófagos. Entre estos insectos destaca *Dinoderus minutus* Fabricius, especie de distribución tropical, pero considerada cosmopolita por su presencia en diversos países en todos los continentes degradando productos elaborados con diversas especies de bambú y por ser considerada una de las plagas más importantes en gramíneas leñosas (Wang, Varma y Tiansen, 1998; Geis, 2002).

Para determinar la durabilidad inducida del bambú, se seleccionaron dos especies: *Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer y *Guadua angustifolia* Kunth, y se probaron compuestos de boro y cobre amoniacal cuaternario (ACQ) a diversos niveles de concentración, aplicando métodos de inmersión, baño caliente frío y vacío presión. Para evaluar el efecto de los tratamientos, se determinó la absorción, retención y penetración de cada preservante.

Los datos se procesaron en el paquete estadístico SPSS. Los ensayos se realizaron en la sección de Protección de la Madera del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (ULA-MINEC) en la ciudad de Mérida, Venezuela.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Bambúes ensayados

*D. asper*, nativo del continente asiático considerado el más grande dentro de los bambúes leñosos (Takahashi, 2006; Chandramouli, Jagadish y Viswanath, 2015); *G. angustifolia* Kunth se distribuye principalmente en la región andina sudamericana, siendo el bambú más sobresaliente de todos los nativos de América (Londoño, 1998). De los culmos de estas dos especies, Figura 1, establecidos en los predios del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (ULA-MINEC), Mérida, Venezuela, se prepararon las probetas que se utilizaron para probar la eficiencia de los diversos tratamientos y procesos según un diseño experimental completamente al azar.



Figura 1. *D. asper* y *G. angustifolia* en macollas en el LNPF, Mérida

### *Dendrocalamus asper* (Schult.) Backer

Nativa de la India, Birmania y Tailandia es cultivado en muchas partes del sureste de Asia como China debido a su clima templado y el este de Asia. Se encuentra introducida en regiones tropicales con extensos cultivos de este bambú gigante (Takahashi, 2006). En Venezuela se ha introducido esta especie más que todo como planta ornamental (Clark y Ely, 2011).

Los culmos crecen muy juntos formando macollas. Los rizomas paquimorfos son cortos y gruesos; culmos huecos y cilíndricos de 15 a 20 cm de diámetro y de 20 a 30 m de altura; las paredes de sus culmos son fuertes y duraderas. Es un excelente material para la construcción de viviendas, puentes, muebles, artesanías, postes, parquet, y otros. En Tailandia se exportan como alimento los brotes de *D. asper* (Chandramouli *et al.*, 2015).

### *Guadua angustifolia* Kunth

Se considera nativa de Colombia, Ecuador, México, Perú y Venezuela (Londoño, 1998). Es un bambú leñoso que presenta rizomas paquimorfos, culmos de color verde oscuro que alcanzan alturas de 25 m y de 12 a 16 cm de diámetro, entrenudos, huecos, de paredes engrosadas y lignificadas.

En Venezuela la guadua suele encontrarse desde el nivel del mar hasta los 1.800 m de altitud asociadas típicamente a ecosistemas llaneros, bosques montanos bajos, bosques húmedos y de galería en los estados Amazonas, Barinas, Mérida, Táchira y Yaracuy (Clark y Ely, 2011).

*G. angustifolia*, adquiere su máximo desarrollo en menos de 1 año, después de haber brotado del suelo. Terminado su desarrollo se inicia su maduración que la alcanza entre los 3 y 6 años (Londoño, 1998).

En las últimas décadas la guadua se ha aprovechado industrialmente dadas sus posibilidades de sustituir a la madera en la construcción, por sus buenos valores de dureza, flexibilidad y resistencia que alcanza sus valores máximos.

## 2.2. Selección, corte y recolección de los bambúes en campo

La selección de los culmos se llevó a cabo de forma aleatorio a partir de las macollas de *D. asper* y *G. angustifolia*, localizaban en los alrededores del LNPF en las siguientes coordenadas geográficas GPS N 8° 37' 29,9" y 8° 37' 30,6" O 71° 08' 16,4" y 71° 08' 18,9" con altitudes entre los 1.759 y 1.774 msnm. Marcando los culmos seleccionados según buen estado fitosanitario y con presencia de líquenes y líneas nodales opacas los cuales son indicadores de su madurez (Figura 2).



Figura 2. Selección de los culmos maduros dentro de las macollas. A) Culmos de *D. asper*, B) culmos de *G. angustifolia*.

El corte de los culmos fue realizado con una moto sierra STIHL, al ras del primero o segundo nudo por encima del suelo. Con respecto a los culmos del *D. asper* cuya macolla es aglomerada, se hicieron cortes en “V” para sacarlos, emparejando luego hasta los nudos para no dejar entrenudos exhibidos; en cambio, en la macolla de *G. angustifolia* el acceso fue más fácil debido al distanciamiento de un culmo al otro (Figura 3).



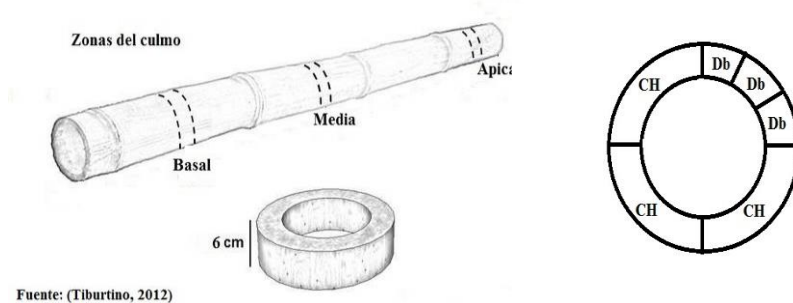
Figura 3. Corte de los culmos. A) *D. asper*, B) *G. angustifolia*

## 2.3. Preparación de las probetas

Las probetas se cortaron de tres culmos de *D. asper* de 13,5 m de largo y cuatro de

*G. angustifolia* de 10 m, descartando el varillón y la copa. Cada culmo fue diferenciado en tres segmentos: basal, media y apical.

Las probetas para determinar las propiedades físicas: contenido de humedad (CH) y densidad básica (Db), fueron obtenidas de dos culmos de cada especie, seleccionados aleatoriamente. Cortando de cada culmo una probeta de aproximadamente 6 cm de largo de la zona basal, media y apical. Cada probeta fue cortada en cuatro secciones, tomando tres secciones para el CH y la cuarta sección se cortó en tres probetas más pequeñas para la Db.



Fuente: (Tiburtno, 2012)

**Figura 4. Cortes realizados a lo largo del culmo (izquierda) y seccionamiento de las probetas para las propiedades físicas (derecha).**

Se obtuvieron 36 probetas de *D. asper* y 36 de *G. angustifolia*, destinando la mitad (18 probetas) para cada una de las propiedades físicas, correspondiendo 6 probetas basales, 6 probetas medias y 6 probetas apicales por especie para un total de 24 probetas por zona del culmo.

Las probetas obtenidas para las propiedades físicas, preservación química, y testigos, fueron ordenadas y marcadas por especie y número de probeta. La selección de las probetas para cada uno de los ensayos se realizó de forma aleatoria, luego se codificaron, cubicaron y finalmente fueron trasladadas a la sección de Secado y Preservación de la Madera (SPM) del LNPF para la aplicación de los tratamientos.

Para los tratamientos de preservación química se prepararon 120 probetas de 40 cm de largo, provenientes de tres culmos de *D. asper* y cuatro culmos de *G. angustifolia* (Figura 5). De las cuales 60 probetas corresponden a cada una de las especies. Las probetas fueron asignadas aleatoriamente a cada uno de los tratamientos, según especie, método de preservación y preservante-concentración.



Figura 5. Probetas para la preservación química

## 2.4. Ensayos de propiedades físicas

Una vez cortadas las probetas se pesaron en condición verde (Pv) en una balanza digital Scout® Pro (EE.UU.) con precisión de 0,01 g, luego se determinó el volumen en condición verde (Vv) de las probetas de densidad por medio del método de desplazamiento de agua.

Posteriormente las probetas de ambas propiedades físicas fueron secadas en una estufa digital Binder (alemana) a una temperatura de  $103 \pm 2$  °C hasta peso constante, para obtener el peso seco al horno (Psh).

Para determinar el contenido de humedad, se aplicó el método de secado en estufa o gravimétrico.

$$CH \% = \frac{Pv - Psh}{Pv} * 100$$

La densidad básica se obtiene mediante la división del peso seco al horno de la probeta y su volumen verde, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Db = \frac{Psh}{Vv}$$

## 2.5. Métodos de Preservación

### *Preparación de los preservantes*

Previamente fue determinado el volumen de los tanques de preservación restando luego el volumen promedio de las probetas a introducir en ellos. De esta manera, se logró determinar un promedio de la cantidad de solución preservante a preparar.

Para la solución preservante compuestos de boro (ácido bórico y bórax) se usó la relación 1:1 y las concentraciones ensayadas fueron al 3, 4 y 5 %. Para la de ACQ las concentraciones ensayadas fueron 2, 3 y 4 %.

Antes de iniciar cada uno de los tratamientos de preservación, las probetas se limpiaron y se perforaron los nudos para garantizar que el preservante circule a lo

largo del culmo (Figura 6).



Figura 6. Perforación de los nudos: B) *D. asper*, C) *G. angustifolia*

### ***INMERSIÓN - DIFUSIÓN***

El ensayo consistió en sumergir las probetas en los tanques de preservación con las soluciones preservantes, a las diferentes concentraciones. Posteriormente las probetas fueron pesadas diariamente hasta peso constante llegando a esta condición a los 4 días de establecido el ensayo. Finalizado el proceso las probetas fueron retiradas de los tanques, dejando escurrir en dirección vertical hasta que las mismas dejaran de gotear. El material preservado fue apilado y almacenado bajo techo.

### ***Baño caliente - frío***

El método consistió en preparar dos tanques: uno para el método caliente y otro para el método frío. Este ensayo fue dividido en dos versiones: la primera consistió en calentar el bambú en un tanque solo con agua para luego trasladarlo a un tanque frío con preservante y la segunda consistió en calentar el bambú con el preservante y luego pasarlo a un tanque con una solución preservante fría a la misma concentración.

Una vez lograda la temperatura deseada, tanto en el tanque que solo tenía agua como en el que tenía solución preservante, se introdujeron las probetas. La duración del proceso fue de 30 minutos a partir de que las probetas alcanzaron los 60 °C. Posteriormente se preparó otro tanque a temperatura ambiente, aproximadamente 22 °C, (tanque frío) con la solución preservante a la concentración a ensayar para ambos casos. Finalizado el tiempo en el baño caliente se pasaron las probetas al tanque con el preservante frío, dejándolas el doble de tiempo que estuvieron en el baño caliente, es decir, por 60 minutos. Al cumplirse este período fueron retiradas las probetas del tanque frío, dejándolas escurrir verticalmente para finalmente apilar y almacenar bajo techo.

### ***Preservación con presión***

Se empleó el método Lowry modificado, en el cual no se aplica vacío inicial. Para

conseguir mayor penetración y retención se aplicó presión de 10 a 12 kg/cm<sup>2</sup> durante una hora y luego se hizo un vacío final para recuperar el exceso de preservante. Estos ensayos se realizaron en el cilindro de preservación de la sección Protección de la madera del Laboratorio Nacional de Productos Forestales.

## 2.6. Evaluación de los tratamientos de preservación

La evaluación de la calidad del proceso de preservación se realizó mediante la medición de tres valores o indicadores: absorción, retención y penetración (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

Los cálculos de absorción se realizaron por diferencia de pesos entre antes y después de los tratamientos, relacionándolos con sus respectivos volúmenes. La retención resulta de multiplicar el valor de la absorción por la concentración de la solución preservante. Ambos resultados expresados en kg/m<sup>3</sup>.

Para la penetración, las probetas de *D. asper* y de *G. angustifolia* preservadas fueron examinadas realizando un corte transversal en la mitad de las mismas, para la aplicación de los colorantes, midiendo con un vernier manual en milímetros la profundidad que alcanzó cada solución preservante en uno de los cortes de las probetas.

Como las soluciones preservantes eran incoloras, se emplearon colorantes o reveladores, apropiados para colorear el ingrediente activo; boro, para los compuestos de boro y cobre para el ACQ (JUNAC, 1988).

Para el revelador de boro se prepararon dos soluciones: la solución A con 10 g de extracto de cúrcuma (*Curcuma longa*) y 90 cc de alcohol etílico (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) y la solución B con 20 cc de ácido clorhídrico concentrado (HCl) diluido a 100 ml con alcohol etílico y se agregó ácido salicílico (C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>) hasta saturación. Se roció el corte transversal de la pieza a evaluar con la solución A y luego de tres minutos se aplicó la solución B; el área aplicada con la primera solución muestra inicialmente un color amarillento que luego se transforma en rojo debido a la aplicación de la segunda solución indicando la presencia de boro. Si la coloración en el corte de la probeta es rojo intenso, se considera como penetración óptima; cuando la coloración es anaranjada es aceptable y cuando la coloración es amarillenta indica deficiencia de boro.

Para el cobre, se preparó una solución con 0,5 g de cromo azul S (C<sub>23</sub>H<sub>13</sub>Cl<sub>2</sub>O<sub>9</sub>Sn<sub>3</sub>) y 5 g de acetato de sodio (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub>) en 80 cc de agua destilada que luego se diluye a 300 ml. Esta solución se aplica por rocío sobre la superficie a evaluar; la zona tratada toma un color azul que indica la presencia de cobre.

La penetración se evalúa visualmente apreciando el área coloreada que señala hasta donde ha penetrado el preservante, auxiliándose de una clasificación estandarizada como la propuesta por JUNAC (1988), en este caso adaptada al bambú como se muestra en la Figura 7.

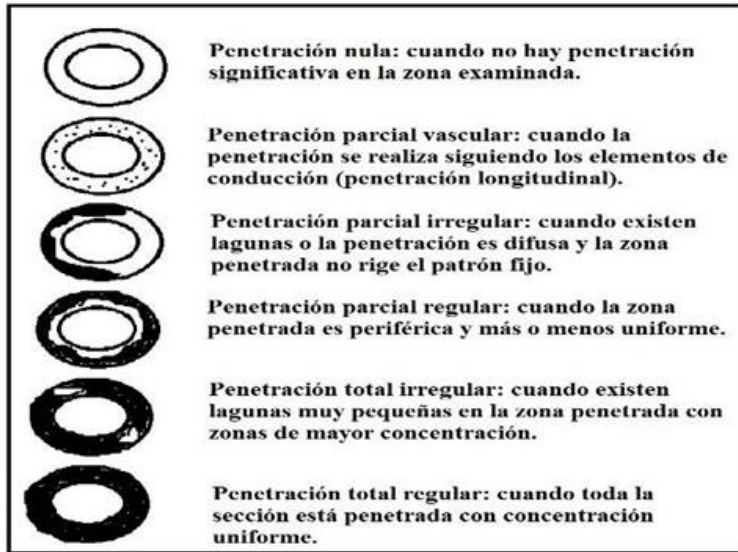


Figura 7. Grados de penetración del preservante en el bambú (adaptado de JUNAC, 1988)

## 2.7. Diseño experimental

### 2.7.1. Densidad y contenido de humedad de los bambúes

Se estableció un diseño factorial de efectos fijos, con dos variables independientes, la especie y la posición en el culmo. Especies: *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia*, con la posición de las probetas en el culmo se definieron tres niveles: posición basal, media y apical. Se establecieron 12 réplicas por combinación resultando 72 observaciones o mediciones ( $2 \times 3 \times 12 = 72$ ). Las variables dependientes fueron la densidad y el contenido de humedad de los bambúes.

### 2.6.2. Tratamientos para evaluar el efecto de los tratamientos

En el diseño experimental para evaluar el efecto de los tratamientos a los dos bambúes en la durabilidad inducida, se consideraron como variables independientes: las dos especies de bambú: *Dendrocalamus asper* y *Guadua angustifolia*, los dos preservantes a distintos niveles de concentración: Compuestos de boro al 3, 4 y 5 % y ACQ al 2, 3 y 4 %, tratamientos: Inmersión-difusión, Lowry modificado, Baño caliente sin preservante y baño frío con preservante y baño caliente y frío ambos con preservante y las variables dependientes para determinar la eficacia de la preservación: absorción, retención y penetración del preservante.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad promedio al iniciar los tratamientos fue de 56,32 % para *D. asper* y 82,93 % para *G. angustifolia*, Cuadro 1.

**Cuadro 1. Contenido de humedad de las probetas de bambú**

| Especies               | Contenido de humedad (CH) |         |         |          |
|------------------------|---------------------------|---------|---------|----------|
|                        | Promedio                  | CV (%)  | Mínimo  | Máximo   |
| <i>D. asper</i>        | 56,32 %                   | 37,32 % | 28,15   | 97,11    |
| <i>G. angustifolia</i> | 82,93 %                   | 20,29 % | 44,44 % | 108,60 % |

Ambas especies tenían un CH por encima del punto de saturación de la fibra (30 %). En general, los valores de CH obtenidos en este trabajo se encuentran dentro de los rangos de humedad para el bambú reportados por Liese (2005) que explica las diferencias según el tipo de bambú, diferencias en el espesor de las paredes y la altura que alcanzan.

El mayor contenido de humedad observado en *G. angustifolia* es muy similar al obtenido por Calo (2018) de 79,50 %, pero inferior al valor reportado por Pérez y Quintana (2019) que reportaron CH promedio de 104,33 %. En relación a *D. asper*, el valor del CH de 56,32 % es superior al valor reportado por Calo (2018), CH de 40,70 %. Sin embargo, con una especie similar, *Dendrocalamus hamiltonii*, Kabir, Bhattacharjee y Sattar (1995) reportaron un contenido de humedad de 47,80 % el cual se acerca un poco más al valor obtenido en esta investigación.

Independientemente de las especies, se analizaron las diferencias en contenido de humedad entre las zonas en el culmo, resultando la zona basal con el mayor contenido de humedad. Cuadro 2.

**Cuadro 2. Contenido de humedad en las zonas de los culmos**

| Zona del culmo | N  | Subconjunto |   |
|----------------|----|-------------|---|
|                |    | 1           | 2 |
| Apical         | 24 | 57,84 %     |   |
| Media          | 24 | 66,81 %     |   |
| Basal          | 24 | 84,23 %     |   |

### 3.2. Densidad básica

Considerando ambas especies, *D. asper* tiene mayor densidad 0,788 g/cm<sup>3</sup> que *G. angustifolia* 0,630 g/cm<sup>3</sup>, Cuadro 3. Con relación a las zonas del culmo; la zona basal tiene menor densidad que las media y apical (Cuadro 4).

Es conocido que la cantidad de fibras y parénquima varía según la zona del culmo de los bambúes, existiendo un menor número de fibras y mayor cantidad de parénquima en la parte basal y un mayor número de fibras y menor cantidad de parénquima hacia la parte apical (Liese, 1998), lo que explicaría la menor densidad encontrada en la zona basal en ambas especies.

**Cuadro 3. Densidad promedio de las tres zonas de *D. calamus* y *G. angustifolia***

| Especies               | Densidad básica         |         |                         |                         |
|------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|
|                        | Promedio                | CV (%)  | Mínimo                  | Máximo                  |
| <i>D. asper</i>        | 0,788 g/cm <sup>3</sup> | 18,27 % | 0,567 g/cm <sup>3</sup> | 1,263 g/cm <sup>3</sup> |
| <i>G. angustifolia</i> | 0,630 g/cm <sup>3</sup> | 12,85 % | 0,536 g/cm <sup>3</sup> | 0,970 g/cm <sup>3</sup> |

**Cuadro 4. Densidad según las zonas del culmo**

| Zona del culmo | N  | Subconjunto             |   |
|----------------|----|-------------------------|---|
|                |    | 1                       | 2 |
| Basal          | 24 | 0,619 g/cm <sup>3</sup> |   |
| Media          | 24 | 0,727 g/cm <sup>3</sup> |   |
| Apical         | 24 | 0,781 g/cm <sup>3</sup> |   |

Surjokusumo y Nugroho (1995) reportaron para *D. asper* densidades entre 0,610 y 0,700 g/cm<sup>3</sup>, similar a la densidad señalada por Calo (2018) de 0,709 g/cm<sup>3</sup>, valores inferiores al reportado en este trabajo. Para *G. angustifolia* se conoce que fueron obtenidas densidades básicas de 0,704 g/cm<sup>3</sup> (Cobos y León, 2007) y 0,708 g/cm<sup>3</sup> (Correal y Arbeláez, 2010), valores más altos que los conseguidas en el presente trabajo. Densidades menores de 0,575 y 0,551 g/cm<sup>3</sup> han sido reportados por Calo (2018) y Pérez y Quintana (2019), valores parecidos a los obtenidos.

### 3.3. Durabilidad inducida

#### Absorción

El promedio de absorción por especie, considerando métodos, preservantes y concentración, resultó mayor para *G. angustifolia* con 163,95 kg/m<sup>3</sup> y para *D. asper* 102,49 kg/m<sup>3</sup>, Cuadro 5.

**Cuadro 5. Absorción por especie considerando los parámetros de evaluación**

| Especie                | Abs Prom.                | CV (%)  | Mínimo                  | Máximo                   |
|------------------------|--------------------------|---------|-------------------------|--------------------------|
| <i>D. asper</i>        | 102,49 kg/m <sup>3</sup> | 40,08 % | 22,86 kg/m <sup>3</sup> | 194,87 kg/m <sup>3</sup> |
| <i>G. angustifolia</i> | 163,95 kg/m <sup>3</sup> | 46,15 % | 49,64 kg/m <sup>3</sup> | 341,60 kg/m <sup>3</sup> |

Discriminando los parámetros del ensayo, la mayor absorción se obtuvo en *G. angustifolia* con 313,62 kg/m<sup>3</sup> por medio del método Lowry modificado y con compuestos de boro (CB) al 4 %. *D. asper* presentó la menor absorción promedio de 41,51 kg/m<sup>3</sup> por el método baño caliente y frío ambos con preservante ACQ al 4 %, Cuadro 6.

**Cuadro 6. Absorción de los preservantes por especie, preservante y método de preservación**

| Especie                | Método de preservación | Preservante y Concentración |        |        |         |         |         |
|------------------------|------------------------|-----------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
|                        |                        | CB 3 %                      | CB 4 % | CB 5 % | ACQ 2 % | ACQ 3 % | ACQ 4 % |
| <i>D. asper</i>        | Inmersión-difusión     | 99,62                       | 105,40 | 94,78  | 130,81  | 119,39  | 139,38  |
|                        | Lowry modificado       | 72,21                       | 135,88 | 122,21 | 178,02  | 140,22  | 147,04  |
|                        | B/C-S/P y F-C/P        | 87,40                       | NE     | 104,30 | 99,03   | NE      | 67,11   |
|                        | B/C/F-C/P              | 42,96                       | NE     | 46,916 | 75,64   | NE      | 41,51   |
| <i>G. angustifolia</i> | Inmersión-difusión     | 135,72                      | 245,02 | 211,69 | 145,33  | 105,98  | 138,64  |
|                        | Lowry modificado       | 295,71                      | 313,62 | 211,42 | 158,53  | 187,87  | 268,85  |
|                        | B/C-S/P y F-C/P        | 92,86                       | NE     | 126,88 | 114,68  | NE      | 119,53  |
|                        | B/C/F-C/P              | 80,33                       | NE     | 82,25  | 99,99   | NE      | 144,18  |

B/C-S/P y F-C/P: Baño caliente sin preservante y frío con preservante; B/C/F-C/P: baño caliente y frío ambos con preservante; NE: no ensayado

El análisis de varianza señaló que las diferencias entre las medias obtenidas son

altamente significativas al nivel 5 %; esta alta significancia también resulta cuando se analizan las interacciones especie \* método \* preservante \* concentración.

Según el CH de *G. angustifolia* (82,93 %) buena parte de los lúmenes se encontraban saturados de agua lo que permitiría mayor difusión de las sustancias preservantes; *D. asper* al tener menor CH (56,32 %) tiene una absorción más baja de los preservantes hidrosolubles. Debe considerarse también la densidad de las especies estudiadas; *D. asper*, tiene mayor densidad básica que *G. angustifolia* que explicaría la diferencia de absorción entre las especies.

Los valores de absorción obtenidos con compuestos de boro a 4 % de concentración son superiores a los obtenidos por Peña *et al.*, (2009) que reportaron un valor promedio de absorción de  $153,28 \pm 23,02$  kg/m<sup>3</sup> en muestras de 1,5 m de longitud de *G. angustifolia* por el método inmersión-difusión con compuestos de boro al 2 %; es posible que además, de la diferencia en concentración, las dimensiones de las probetas resulten en la diferencia de los valores encontrados.

Con otras especies los valores de absorción también son variados. Usando *Bambusa vulgaris* Schrad, González (2008) halló absorciones medias por los métodos inmersión y baño caliente y frío de 116,904 y 91,757 kg/m<sup>3</sup> con compuestos de boro al 2 % de concentración, utilizando un tiempo de inmersión de 24 horas y una temperatura para el baño caliente de 52 °C por 2 horas y el doble para el frío (4 horas). Este autor también preservó por el método Lowry modificado usando compuestos de boro a concentración de 6 % para una absorción promedio de 273,633 kg/m<sup>3</sup>, que está por debajo al encontrado en este trabajo usando una concentración menor. Si bien la presión usada en el ensayo de González (2008) fue de 12 kg/cm<sup>2</sup> y en la presente investigación de 10 kg/cm<sup>2</sup> y que las especies fueron diferentes, las absorciones halladas en este trabajo fueron mayores; nuevamente se podría considerar el efecto del tamaño de las probetas ensayadas.

Son escasos los trabajos relacionados con uso del preservante ACQ en los bambúes. Como referencia se encontraron trabajos donde se emplea ACQ, pero en maderas. Con algunas especies Encinas, Beltrán, Polanco y Caicedo (2013) reportaron una absorción promedio de 44,23 kg/m<sup>3</sup> en muestras con dimensiones de 2,5 x 2,5 x 10 cm en un ensayo de durabilidad inducida por el método Lowry modificado a una concentración del 3 %, este valor es inferior al encontrado en esta investigación pudiéndose deber al tipo de madera evaluada. González (2018) trató *Tabebuia rosea* Bertol D.C. con ACQ por los métodos inmersión, baño caliente y frío y Lowry modificado hallando los valores de absorción de 445,38 con ACQ al 5 % y 339,38 kg/m<sup>3</sup> usando ACQ al 3 %. Las absorciones señaladas son mayores a las reportadas por los bambúes ensayados y mayor aún para la referencia anterior pudiéndose deber a que la especie tratada por González (2018) es maderable, mientras que en la actual investigación fueron bambúes leñosos, además del tamaño de las probetas.

## Retención

La retención está directamente relacionada con la absorción y la concentración de la solución preservante. En el Cuadro 7 se presentan los valores de retención para ambas especies; se destaca el elevado valor del coeficiente de variación que indica la amplitud de valores entre la retención mínima y máxima.

**Cuadro 7. Retención de los preservantes en los bambúes ensayados**

| Especies               | Retención              |         |                        |                         |
|------------------------|------------------------|---------|------------------------|-------------------------|
|                        | Promedio               | CV %    | Mínimo                 | Máximo                  |
| <i>D. asper</i>        | 3,51 kg/m <sup>3</sup> | 48,01 % | 0,92 kg/m <sup>3</sup> | 6,78 kg/m <sup>3</sup>  |
| <i>G. angustifolia</i> | 5,90 kg/m <sup>3</sup> | 59,74 % | 1,49 kg/m <sup>3</sup> | 13,18 kg/m <sup>3</sup> |

El método de preservación que resulta en la mayor retención fue Lowry modificado (6,576 kg/m<sup>3</sup>), seguido del método inmersión-difusión (4,984 kg/m<sup>3</sup>), baño caliente sin preservante y frío con preservante (3,588 kg/m<sup>3</sup>); la menor retención se obtuvo con el método baño caliente y frío ambos con preservante (2,615 kg/m<sup>3</sup>).

Los resultados obtenidos al considerar los factores: especie, método de preservación, preservantes-concentración, se presentan en el Cuadro 8. Para *G. angustifolia* y *D. asper*, las mejores retenciones se consiguen empleando compuestos de boro en sus tres concentraciones y empleando el método Lowry modificado; las menores retenciones se consiguen con el método baño caliente frío.

Sin embargo, con el método baño caliente y frío los valores son menores, aún con las dos versiones ensayadas. En el caso del *D. asper* las retenciones halladas en el actual trabajo son muy bajas en comparación a las obtenidas por Monroy (2006). En general las retenciones con compuestos de boro se aproximan a las obtenidas con *G. angustifolia* en la investigación por el método Lowry modificado y los compuestos de boro al 4 % de concentración; las retenciones encontradas para *D. asper* por el mismo método de preservación se encuentran muy por debajo a los resultados reportados por Monroy (2006).

**Cuadro 8. Retención en *D. asper* y *G. angustifolia* combinando los métodos de preservación con preservante - concentración**

| Especie                | Método de preservación | Preservante por Concentración |        |        |        |         |         |
|------------------------|------------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
|                        |                        | B 3 %                         | B 4 %  | B 5 %  | ACQ2 % | ACQ 3 % | ACQ 4 % |
| <i>D. asper</i>        | Inmer.-difusión        | 2,989                         | 4,216  | 4,739  | 2,616  | 3,582   | 5,575   |
|                        | Lowry modificado       | 2,166                         | 5,435  | 6,110  | 3,560  | 4,206   | 5,882   |
|                        | B/C-S/P y F-C/P        | 2,622                         | NE     | 5,215  | 1,981  | NE      | 2,684   |
|                        | B/C/F-C/P              | 1,289                         | NE     | 2,167  | 1,513  | NE      | 1,660   |
| <i>G. angustifolia</i> | Inmer.-difusión        | 4,072                         | 9,801  | 10,585 | 2,907  | 3,179   | 5,546   |
|                        | Lowry modificado       | 8,871                         | 12,545 | 10,571 | 3,171  | 5,636   | 10,754  |
|                        | B/C-S/P y F-C/P        | 2,786                         | NE     | 6,344  | 2,294  | NE      | 4,781   |
|                        | B/C/F-C/P              | 2,410                         | NE     | 4,113  | 2,000  | NE      | 5,767   |

B/C-S/P y F-C/P: Baño caliente sin preservante y frío con preservante; B/C/F-C/P: baño caliente y frío ambos con preservante; NE: no ensayado

Otros investigadores consiguieron resultados parecidos. Monroy (2006) preservó con compuestos de boro y dicromato de sodio a una relación 2:2:0,5, culmos de 8 cm de longitud de cuatro especies de bambú, entre ellas *D. asper* y *G. angustifolia*, por inmersión por un período de 48 horas (2 días) y un baño caliente a 60 °C por 6 horas y un baño frío de 18 horas y obtuvo retenciones para *G. angustifolia* de 7,91 kg/m<sup>3</sup> por inmersión y 7,73 kg/m<sup>3</sup> por baño caliente y frío; para *D. asper* logró retenciones de 7,44 kg/m<sup>3</sup> por inmersión y 7,69 kg/m<sup>3</sup> por baño caliente y frío, resultados que se aproximan a los obtenidos en el presente trabajo para *G. angustifolia* aplicando el método de inmersión difusión.

Tang y Liese (2011) trabajaron con tres especies de bambú, entre ellas *D. asper* empleando compuestos de boro a una concentración de 6 % por el método Bethell (célula llena) utilizando cinco presiones (2,5; 4,0; 5,5; 7,0 y 8,5 bar), tres tiempos (60, 90 y 120 min) y culmos de 1,20 m de largo y lograron una retención promedio de 4 kg/m<sup>3</sup> con una presión de 5,5 bar equivalente a 5,6 kg/cm<sup>2</sup> por un tiempo de 60 minutos. La retención promedio reportada por los autores para *D. asper* es inferior al hallado en la presente investigación, pero utilizando el método Lowry modificado con concentraciones menores al 6 %; solamente son similares cuando se consideran las retenciones obtenidas por inmersión-difusión con compuestos de boro y ACQ.

Peña *et al* (2009) alcanzaron una retención promedio de  $3,06 \pm 0,46$  kg/m<sup>3</sup> por el método de inmersión y compuestos de boro a una concentración del 2 % para la *G. angustifolia*; también Landauro (2010) reportó una retención promedio de 4,29 kg/m<sup>3</sup> en piezas de 1 m de longitud de esta especie utilizando el mismo preservante y la misma concentración por el método de inmersión prolongada en un período de 108 horas (4,5 días), el valor de retención está por encima al logrado en el estudio anterior y es menor al valor conseguido para *G. angustifolia* en el presente trabajo por el mismo método de preservación aunque a una concentración distinta.

El tiempo de inmersión coincide con lo concluido por Montoya (2008) que recomienda dejar el bambú en inmersión prolongada por 4 días para controlar ataques por parte del *D. minutus* ya que es el tiempo suficiente para que los culmos dejan de absorber los compuestos de boro.

Morales-Pinzón *et al.* (2012) ensayaron con compuestos de boro a una concentración del 5 % por el método de inmersión-difusión en *G. angustifolia* y obtuvieron una retención promedio de  $3,02 \pm 0,3$  kg de EAB/m<sup>3</sup> (equivalente de ácido bórico). Burgos y Montoya (2015) reportan una mayor retención promedio para *G. angustifolia* de 3,603 kg/m<sup>3</sup> por inmersión-difusión con el preservante compuestos de boro al 8 % de concentración y a una temperatura de 60 °C en probetas de 10 cm de longitud. Ambos resultados son similares entre sí, pero están por debajo a la retención media obtenida para *G. angustifolia* por el mismo método en la presente investigación.

Como en el caso de la absorción, no se consiguieron referencias acerca de la retención para el preservante ACQ en los bambúes ensayados, razón por la que se

consideraron trabajos realizados con especies maderables donde se han realizados estudios con este producto con la finalidad de comparar resultados y comportamientos ante este químico. Encinas *et al* (2013) señalan una retención promedio con ACQ de 1,33 kg/m<sup>3</sup> a una concentración del 3 % en la especie colombiana *Caryodaphnopsis cogolloi* van der Werff por medio del método Lowry modificado y por inmersión difusión; el valor obtenido se encuentra muy por debajo de los obtenidos empleando ACQ en ambas especies de bambú en este trabajo.

González (2018) realizó un ensayo para controlar termitas en *T. rosea* utilizando ACQ a diferentes concentraciones (3, 4 y 5 %) y tres métodos de preservación, encontrando retenciones medias de 16,982 kg/m<sup>3</sup> al 5 % de concentración por el método inmersión durante 6 días, y retención promedio de 12,962 kg/m<sup>3</sup> por el método Lowry modificado a la misma concentración mediante la aplicación de una presión de 10 kg/cm<sup>2</sup> por hora, además del método baño caliente y frío donde utilizó temperatura inicial de 60 °C por 4 horas y luego dejó reposar la madera en el mismo preservante por 45 horas obteniendo una retención promedio de 17,816 kg/m<sup>3</sup>. Estos últimos resultados superan las retenciones obtenidas para *D. asper* y *G. angustifolia* en la presente investigación pudiéndose deber al tamaño de las muestras en el ensayo ya que son inferiores a las usadas en el trabajo citado.

### **Penetración**

Conforme la Clasificación de penetración de la JUNAC (1988) adaptada para bambúes, la penetración en bambú de los compuestos de boro, en las 60 probetas evaluadas para ambas especies fue de parcial irregular, regular y total regular con tonalidades entre anaranjado y rojo intenso; estas penetraciones coinciden con los resultados obtenidos por González (2008), Tang y Liese (2011) y Burgos y Montoya (2015) en *B. vulgaris*, *D. asper* y *G. angustifolia*.

En las 60 probetas preservadas con ACQ solo se observaron pequeñas penetraciones dispersas en forma de puntos vasculares siendo parcial vascular en muy pocas probetas, las cuales mostraron una coloración azul intenso en las zonas penetradas con este preservante. La mayoría de las probetas evaluadas no presentaron coloración azul lo que indica que no hubo penetración del producto ACQ, considerando penetraciones nulas.

Debido a la baja penetración del preservante ACQ en la sección media de ambas especies, se aplicó el revelador de cobre en los extremos de las probetas donde se observó que había presencia del preservante mostrando penetración parcial irregular, uniforme, hacia la periferia, hasta total regular.

Es posible que la densidad del preservante o el tamaño de las moléculas del ingrediente activo hizo que el ACQ penetrara menos por los vasos conductivos de los haces vasculares de los culmos y limitara su paso en sentido transversal debido a la impermeabilidad de la cutícula. El movimiento transversal del preservante desde los haces vasculares hacia el tejido parenquimático vecino y hacia las fibras se realiza

únicamente por difusión y con movimiento muy lento (Liese, 2005).

Según la prueba ANOVA realizada el *D. asper* y la *G. angustifolia* presentan penetraciones similares, sin embargo, como se presenta en el Cuadro 9, *G. angustifolia* obtuvo una penetración promedio de 95,83 % por el método Lowry modificado y CB a 4 %, seguido del *D. asper* que obtuvo su mayor penetración media de 81,46 % por el método inmersión-difusión y CB a 5 %. Las penetraciones bajas fueron reportadas con ACQ en sus tres concentraciones, con valores inferiores a 5,50 %, para cada uno de los métodos de preservación. Inclusive hubo probetas de ambas especies que no fueron penetradas por este preservante.

**Cuadro 9. Penetración en porcentaje según especie, método y preservante- concentración**

| Especie                | Método de preservación | Preservante por Concentración |                |                |            |            |            |
|------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|
|                        |                        | C Boro<br>3 %                 | C. Boro<br>4 % | C. Boro<br>5 % | ACQ<br>2 % | ACQ<br>3 % | ACQ<br>4 % |
| <i>D. asper</i>        | Inmersión-difusión     | 63,37                         | 66,10          | 81,46          | 1,57       | 3,99       | 1,68       |
|                        | Lowry modificado       | 65,51                         | 75,47          | 73,86          | 0          | 1,97       | 0          |
|                        | B/C-S/P y F-C/P        | 55,56                         | NE             | 40,42          | 0          | NE         | 0          |
|                        | B/C/F-C/P              | 37,82                         | NE             | 28,07          | 0          | NE         | 0          |
| <i>G. angustifolia</i> | Inmersión-difusión     | 49,16                         | 76,17          | 82,96          | 0          | 4,91       | 3,40       |
|                        | Lowry modificado       | 79,58                         | 95,83          | 91,21          | 0          | 5,50       | 0          |
|                        | B/C-S/P y F-C/P        | 44,78                         | NE             | 55,99          | 0          | NE         | 3,39       |
|                        | B/C/F-C/P              | 48,24                         | NE             | 55,57          | 0          | NE         | 1,48       |

B/C-S/P y F-C/P: Baño caliente sin preservante y frío con preservante; B/C/F-C/P: baño caliente y frío ambos con preservante; NE: no ensayado

Monroy (2006) consiguió en su trabajo de preservación con compuestos de boro y dicromato de sodio penetraciones promedio por los métodos inmersión y baño caliente y frío de 75,91 y 67,22 % para *G. angustifolia*, mientras que con *D. asper* encontró penetraciones promedio de 68,02 y 65,92 % respectivamente. Los valores por inmersión se asemejan a los reportados en el presente trabajo y los de baño caliente y frío se encuentran por debajo, aunque fue superior la penetración alcanzada por Lowry modificado en el trabajo, en ambas especies. Tang y Liese (2011) lograron en *D. asper* penetraciones promedios mayores al 75 % con los compuestos de boro al 6 % de concentración mediante el método Bethell usando una presión de 4 bar (4 kg/cm<sup>2</sup>) y un tiempo de 60 minutos, esta penetración fue superada por el resultado hallado por la misma especie en el actual estudio por el método inmersión-difusión y los compuestos de boro al 5 %. Fueron encontrados porcentajes promedios de penetración para la *G. angustifolia* similares a los reportados en este estudio por parte de Morales-Pinzón *et al.* (2012) de 72 ± 10 % por el método inmersión-difusión y los compuestos de boro al 5 %. Burgos y Montoya (2015) reportaron un menor valor de penetración promedio de 60,90 ± 6,86 % influida por una temperatura de 60 °C para el mismo bambú, método de preservación y producto pero a una concentración del 6 %.

Para efectos comparativos, Tang y Liese (2011) proponen el uso de una tabla

comparativa para la penetración en bambú empleando 5 grados de penetración. En el Cuadro 10 se presentan las penetraciones logradas en el presente trabajo y resultados de otras investigaciones, clasificadas según la propuesta de Tang y Liese.

**Cuadro 10. Comparación de la penetración del preservante, en este estudio y otros estudios, según la clasificación de Tang y Liese (2011)**

| Autor (es)                                | Especie                | Grado y Penetración del preservante en la pared del culmo |                   |                    |                    |                  |
|---|------------------------|---|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|
|   |                        | Grado 0<br>Sin penet.                                     | Grado 1<br>< 25 % | Grado 2<br>25–50 % | Grado 3<br>50–75 % | Grado 4<br>>75 % |
| Monroy<br>(2006)                          | <i>D. asper</i>        |   |                   |                    | 65,92;<br>68,02    |                  |
|   | <i>G. angustifolia</i> |   |                   |                    | 67,22              | 75,91            |
| Tang y Liese<br>(2011)                    | <i>D. asper</i>        |   |                   |                    |                    | > 75             |
| Morales-<br>Pizón <i>et al.</i><br>(2012) | <i>G. angustifolia</i> |   |                   |                    | 72 ± 10            |                  |
| Burgos y<br>Montoya<br>(2015)             | <i>G. angustifolia</i> |   |                   |                    | 60,90 ±<br>6,86    |                  |
| Estudio<br>actual                         | <i>D. asper</i>        |   |                   |                    |                    | 81,46            |
|   | <i>G. angustifolia</i> |   |                   |                    |                    | 95,83            |

Aunque con el método a presión se alcanzan buenas retenciones y penetraciones de las soluciones preservantes usadas, puede considerarse un gasto adicional para los usuarios que deseen preservar estas especies de bambú, ya que puede contar o no con las instalaciones y equipos para hacerlo (cilindro de preservación, bombas y compresores). Desde este punto de vista y buscando economizar parece conveniente utilizar el método de inmersión - difusión con compuestos de boro al 4 % de concentración coincidiendo con estudios similares (Montoya, 2008; Peña *et al.*, 2009) que lograron altas retenciones para controlar ataques por parte de insectos, una vez que las piezas de bambú se encuentran en servicio.

En general el uso de compuestos de boro origina piezas preservadas que son susceptibles a la lixiviación por agua de lluvia u otras fuentes, aspecto que puede solucionarse tomando las previsiones del caso evitando el contacto con el agua mediante protección tipo techados o recubrimientos repelentes como barnices o pinturas especiales.

## BIBLIOGRAFIA

- Burgos, F. A., & Montoya, J. A. (2015). Efecto de la concentración, temperatura y tiempo de inmersión sobre la retención y penetración de boro en *Guadua angustifolia* Kunth. *Agricultura Andina*, 21, 15-26.
- Calo, R. N. (2018). *Caracterización física y mecánica de tres especies de bambú apta para la construcción en Guatemala*. (Tesis de grado), Universidad De San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Guatemala.

- Chandramouli, S., Jagadish, M. R., & Viswanath, S. (2015). Cultivation prospects of *Dendrocalamus asper* for edible shoots in semiarid and humid tropics of Peninsular India. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 5(1), 95-101.
- Clark, L. G., & Ely, F. U. (2011). Géneros de bambúes leñosos (Poaceae: Bambusoideae: Arundinarieae, Bambuseae) de Venezuela. *Acta Botánica Venezolana*, 34(1), 79-103 pp.
- Cobos, J., & León, X. (2007). *Propiedades físico-mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del LASA II*. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Correal, J. F., & Arbeláez, J. (2010). Influence of age and height position on colombian *Guadua angustifolia* bamboo mechanical properties. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 12(2), 105-113.
- Delgado Ladino, C. (2023). *Uso del bambú en la construcción para reducir el impacto ambiental: una revisión de literatura*. Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, Neiva, Colombia.
- Encinas B., O., Beltrán, H., Polanco, T., y Caicedo, V. (2013). Durabilidad inducida de *Caryodaphnopsis cogolloi* bajo la acción de tres preservantes hidrosolubles. *Revista Forestal Venezolana*, 57(2), 147-156.
- Geis, K. U. (2002). Gebietsfremde Splintholz-und Bohrkäfer, nach Mitteleuropa mit Importholz und anderen Gütern eingeschleppt. Eine Bestandsaufnahme (Coleoptera: Lyctidae, Bostrichidae). *Mitteilungen des internationalen Entomologischen Vereins Frankfurt, Germany*, 10, 1-100.
- González, J. M. (2018). Evaluación de la madera de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC tratada con boro, multilac y ACQ ante termitas de madera seca *Cryptotermes brevis* (Walker). (Trabajo de pasantías), Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela Técnica Superior Forestal, Mérida, Venezuela.
- González, V. Y. (2008). *Tratabilidad de Bambusa vulgaris mediante métodos de preservación sin presión*. Tesis de grado, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Ingeniería Forestal, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela.
- Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). (1988). *Manual del Grupo Andino para Preservación de Madera* (1ra ed.). Lima, Perú: Carvajal S.A.
- Kabir, M., Bhattacharjee, D., & Sattar, M. (1995). Physical Properties of node and internode of culm and branch of *Dendrocalamus hamiltonii*. *Bamboo, People and the Environment*, 3, 180-184.
- Landauro, P. D. (2010). Características de preservación por el método de inmersión del tallo de *Guadua angustifolia* Kunth (bambú), proveniente del Distrito de La Florida, Cajamarca. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Lima, Perú.
- Liese, W. (1998). *The Anatomy of Bamboo Culms*. Reporte Técnico Internacional Network for Bamboo and Rattan, INBAR, Beijing, China.
- Liese, W. (2005). Preservation of a Bamboo culm in relation to its structure. *World Bamboo and Rattan*, 3(2), 16-21.
- Londoño, P. X. (1998). A decade of observation of *Guadua angustifolia* plantation in Colombia. *The Journal of the American Bamboo Society*, 12(1), 37-43.

- Meza Vasquez, J. A., & Nuñez Orbe, P. S. (2022). Uso del bambú y su rentabilidad como material de construcción en la ciudad de Iquitos, Loreto, 2022.
- Monroy, G. E. (2006). Tratamiento químico de cuatro especies de bambú para su preservación, utilizando ácido bórico-bórax-dicromato de sodio por el método de inmersión y baño caliente-frío. Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Guatemala.
- Montoya, A. J. (2008). Evaluación de métodos para la preservación de la *Guadua angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica*, 14(38), 411-416.
- Morales-Pinzón, T., Durán, L., & Alzate, C. (2012). Efectividad de la preservación de *Guadua angustifolia* en el Eje Cafetero colombiano por el método de inmersión-difusión (Comunicación Técnica). *Recursos Naturales y Ambiente*, 65-66(51-55), 52-55.
- Peña, V. L., Burgos, A., Gonzalez, F. A., & Valero, S. W. (2009). Efecto de la preservación con mezclas de bórax-ácido bórico y urea formaldehído sobre las propiedades físico mecánicas y el ataque de insectos en guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). *Revista Forestal Venezolana*, 53(2), 135-144.
- Pérez, S. J., & Quintana, J. E. (2019). Evaluación de las características físico mecánicas del bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) como material alternativo para el diseño de una vivienda. Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Chachapoyas, Perú.
- Rivadeneira, F. (2021). Uso de la Caña Guadúa: arquitectura vernácula en restaurantes de la ciudad de Portoviejo, Ecuador. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, (148). <https://doi.org/10.18682/cdc.vi148.5494>.
- Surjokusumo, S., y Nugroho, N. (1995). A study on *Dendrocalamus asper* as concrete reinforcement. *Bamboo, People and the Environment*, 3, 92-98.
- Takahashi, J. (2006). El Bambú en el Perú: III Simposio Latinoamericano del Bambú 2006. PerúBambú. Obtenido de <http://www.Perubambu.org.pe>
- Tang, H. T., & Liese, W. (2011). Pressure treatment of bamboo culms of three Vietnamese species with boron and Ccompuestos de boro preservatives. *Journal Bamboo and Rattan*, 10(1-2), 63-76.
- Wang, H., Varma, R., & Tiansen, X. (1998). *Insect pests of bamboos in Asia: an illustrated manual*. New Delhi, India: International Network for Bamboos and Rattan.

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

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

OSVALDO ENCINAS B. Y MARY MAR RONDÓN

ORCID: 0000-0001-6781-6053

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

Recibido 29 agosto 2023 – Aceptado 23 noviembre 2023

### Resumen

#### Palabras clave:

Durabilidad natural

Durabilidad inducida

ACQ

*Acacia mangium*

*Simarouba amara*

*Gmelina arborea*

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

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

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

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

### Abstract

#### Key Words:

Natural durability

Induced durability

ACQ

*Acacia mangium*

*Simarouba amara*

*Gmelina arborea*

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

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

## 1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. MATERIALES Y METODOS

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

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



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

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

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

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

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



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

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

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

### **2.1. Las especies forestales utilizadas en el ensayo**

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

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

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

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

## 2.2. Los hongos utilizados en el ensayo

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

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

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

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

## 2.3. Preservación de las maderas

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

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



**Figura 3. Probetas codificadas**

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

La absorción (A) se midió en litros por metro cúbico (l/m<sup>3</sup>), considerando el volumen y la cantidad del preservante absorbido por cada probeta, determinado por la diferencia entre los pesos antes y después de la preservación, según la fórmula:  $A = \frac{P2 - P1}{V}$ .

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

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

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

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

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

al autoclave para su esterilización.

### ***Inoculación de los hongos en los frascos***

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

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

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

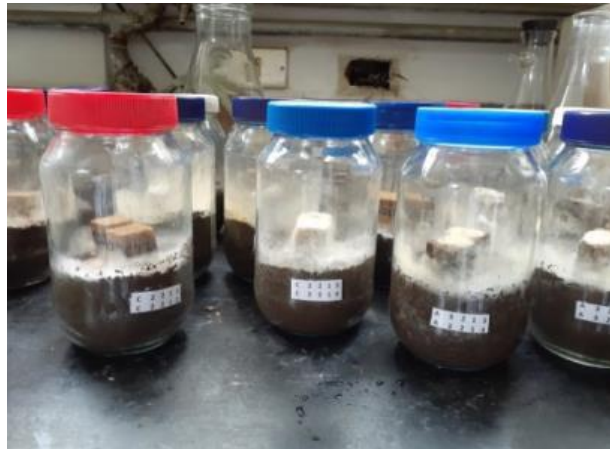
Los frascos que contenían la tierra y los bloques de alimentación con los hongos se llevaron al cuarto de acondicionamiento controlando la temperatura y la humedad relativa (25 °C y 75 %) hasta que los hongos cubrieron totalmente el bloque de alimentación (Figura 4).

### ***Inoculación de las probetas con los hongos***

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



**Figura 4. Hongos cubriendo el bloque de alimentación**



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

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

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

Donde:

PP % = Pérdida de peso porcentual

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

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

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

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

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Densidad y características anatómicas de las maderas

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

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

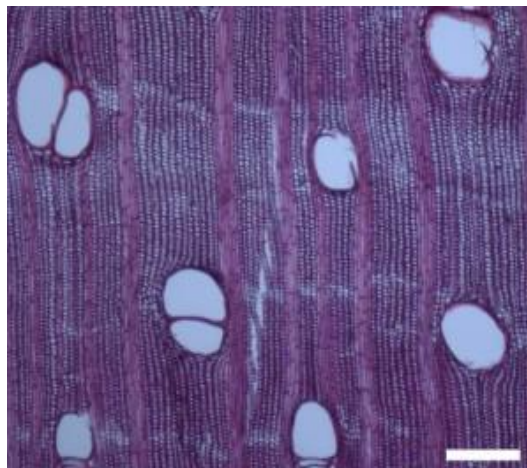
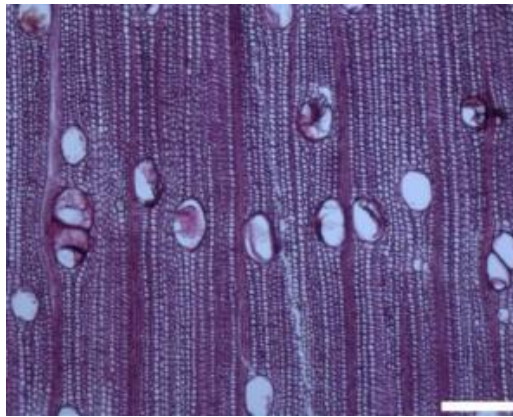


Figura 6. Vista microscópica de un corte transversal de la madera de *S. amara*. Línea de escala = 10 micras.

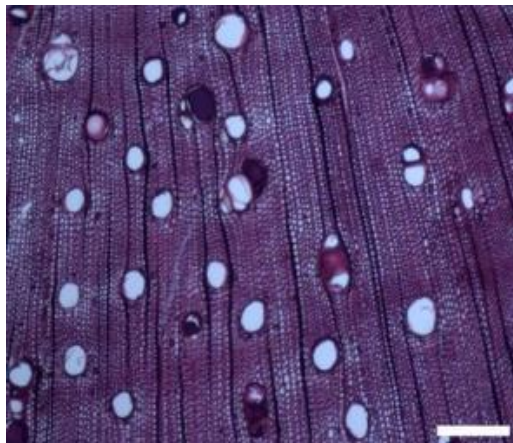
En el duramen de la madera de *G. arborea* se observan poros más pequeños que los de la madera de *S. amara*, rodeados por parénquima paratraqueal escaso; tiene una

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



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

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



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

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

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

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

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

La madera con el máximo valor de absorción resultó ser *S. amara* con 482,664 L/m<sup>3</sup> con una variabilidad en los datos obtenidos de 18,89 %, seguida por *G. arborea* y *A. mangium* con 260,138 L/m<sup>3</sup> y 258,212 L/m<sup>3</sup>, y coeficientes de variación entre 25,33 % y 6,85 %; los valores de absorción más heterogéneos se observan en la madera de *G. arborea*. Cuadro 2.

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

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

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

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

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

La madera de *G. arborea* absorbió 260,138 L/m<sup>3</sup> a pesar de que se observó cierta cantidad de tilde en sus poros que obstruye en diferente grado la penetración del preservante. De igual manera se puede indicar que es una madera con Alta absorción.

La madera de *A. mangium* obtuvo un valor más bajo de absorción en comparación con las otras dos maderas estudiadas, lo que puede atribuirse a que están presentes poros de diámetro pequeño y muchos están llenos de goma, características que permite limitada absorción de esta madera (258,21 L/m<sup>3</sup>); de todos modos, se clasifica como una madera de Alta absorción por lo que se encuentra también en la Categoría I.

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

dos maderas, por lo que es posible formar dos subconjuntos homogéneos (Prueba de Tukey al 5 %): el primero conformado por *A. mangium* y *G. arborea* con medias de absorción entre 258,21 kg/m<sup>3</sup> y 260,13 kg/m<sup>3</sup>, y el segundo grupo formado por *S. amara* con una media de 482,66 kg/m<sup>3</sup>, Cuadro 4.

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

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

La retención, por ser una función de la absorción, está determinada por la concentración de los ingredientes activos del producto y naturalmente por el producto preservante, en este caso ACQ. La consideración de la retención es sumamente importante particularmente cuando se toman en cuenta las condiciones del sitio donde prestarán servicio las maderas preservadas; en general, como indicativo se aceptan los valores recomendados por la AWWPA (American Wood Preserver's Association, 2014) que recomienda que la retención de los productos hidrosolubles debe ser de 4,0 kg/m<sup>3</sup> para maderas en condiciones de uso sobre el suelo, 6,4 kg/m<sup>3</sup> para madera no estructural en contacto con el suelo y 9,6 kg/m<sup>3</sup> para maderas expuestas al agua.

En el presente trabajo, la madera de *S. amara* presenta un valor de retención de 9,87 kg/m<sup>3</sup> (CV 46,09 %) consecuente con los valores altos de absorción, seguida por *G. arborea* y *A. mangium*, con medias de 5,45 kg/m<sup>3</sup> y 5,43 kg/m<sup>3</sup> (CV de 56,6 9% y 60,26 % respectivamente); estas dos últimas especies conforman un solo grupo de valores de retención, Cuadro 5.

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

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

### 3.3. Evaluación de la penetración

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



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

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

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

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

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

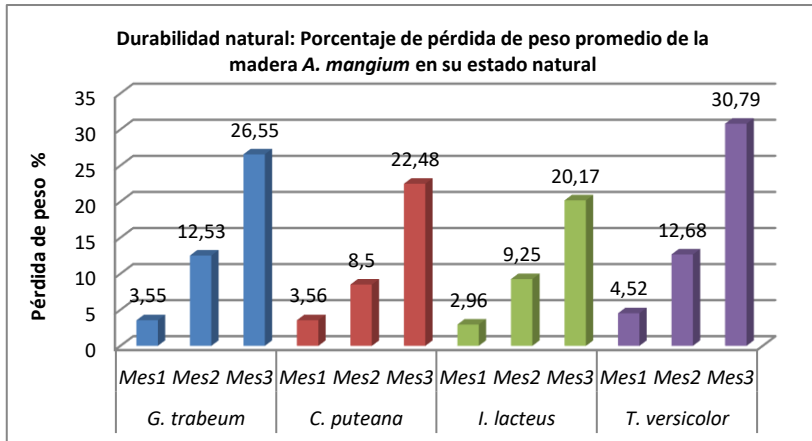


Figura 10. Pérdida de peso de *A. mangium* en su estado natural

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

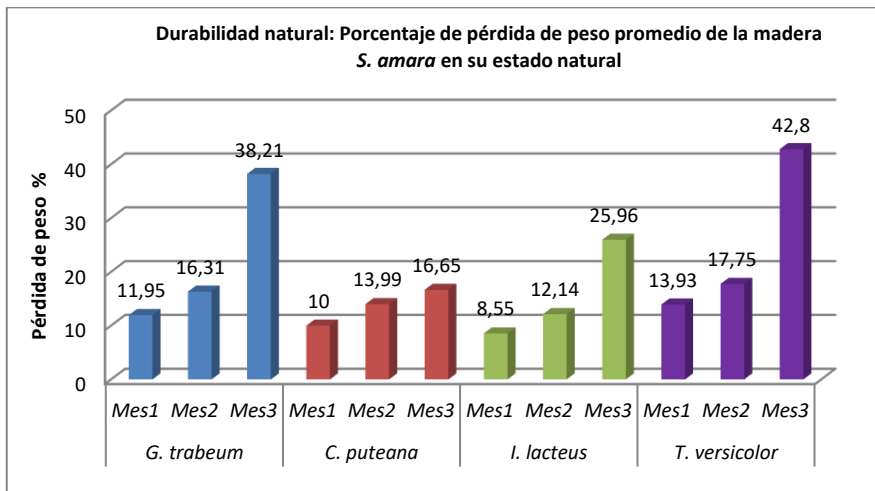
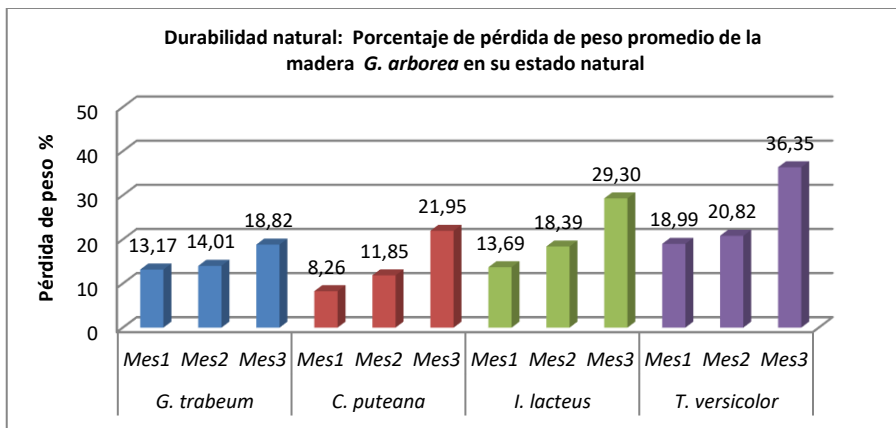


Figura 11. Pérdida de peso de *S. amara* en su estado natural

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

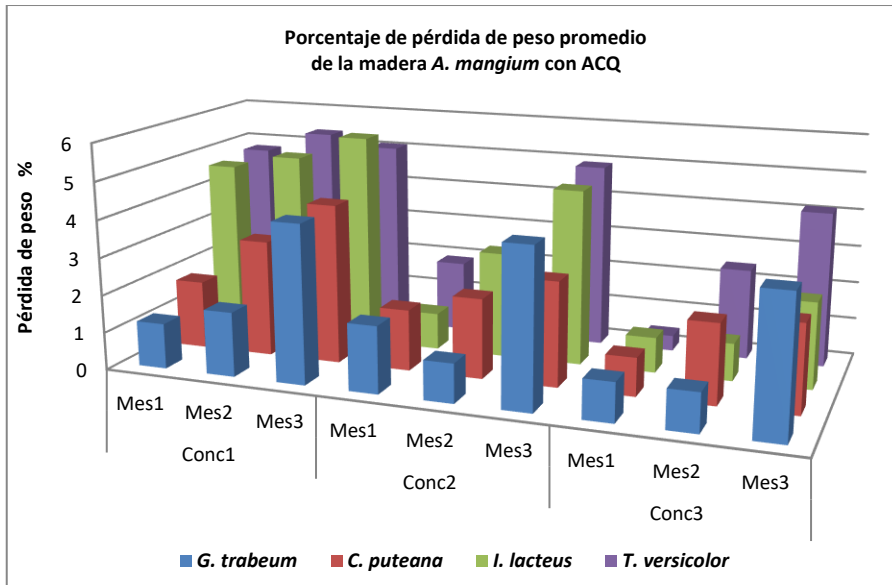
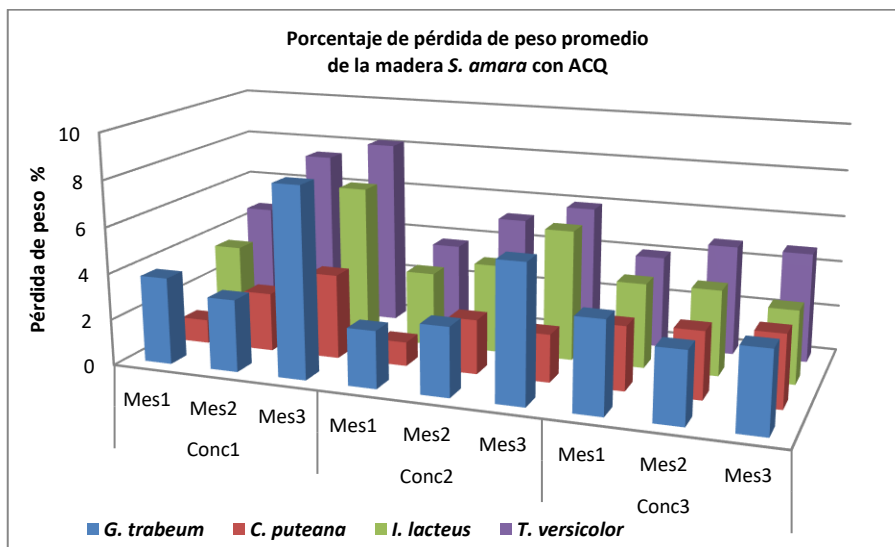
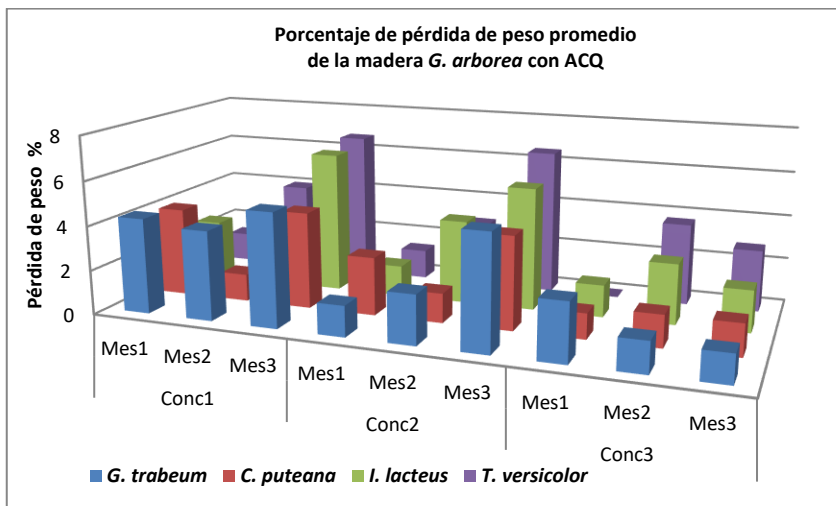


Figura 13. Pérdidas de peso en porcentaje de la madera *A. mangium* preservada con ACQ

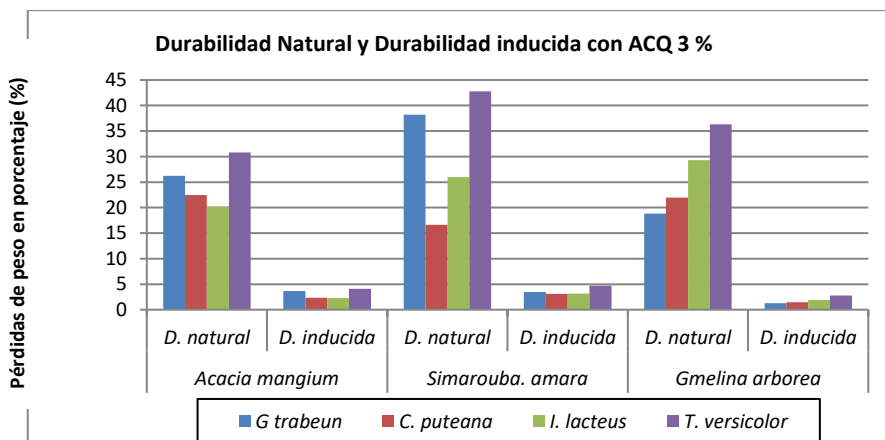


**Figura 14. Pérdidas de peso en porcentaje la madera *S. amara* preservada con ACQ**



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

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



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

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

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

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

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

#### Madera de *Acacia mangium*

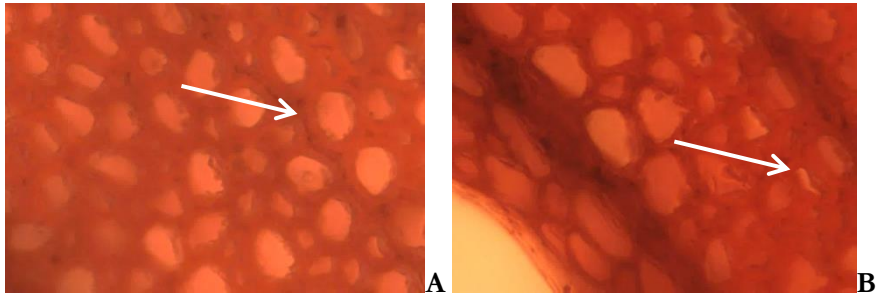
En las probetas preservadas con ACQ los patrones de degradación que siguen los hongos depende del tipo de hongo ensayado y del tiempo transcurrido desde su inoculación; así, en las probetas de la madera de acacia expuestas al hongo de pudrición marrón *G. trabeum* se observó que el crecimiento miceliar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



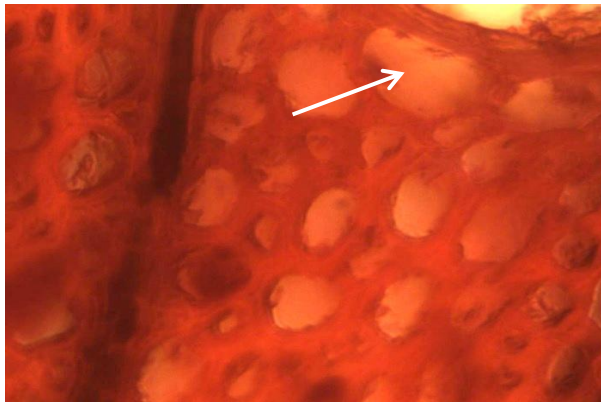
**Figura 17. Crecimiento miceliar de *G. trabeum* sobre *A. mangium*, en probeta sin preservar en el tercer mes de incubación**

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

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



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



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

Con el hongo de pudrición blanca *T. versicolor* al tercer mes de evaluación, el micelio cubre totalmente la madera testigo (sin preservante), Figura 20 y al ser observada al microscopio se puede notar presencia del hongo en los radios y en los vasos, típico de una pudrición simultánea, donde el hongo avanza desde la capa S<sub>3</sub> hacia la capa S<sub>2</sub> de la pared celular, removiendo la lignina y degradándola completamente, Figura 21.

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



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

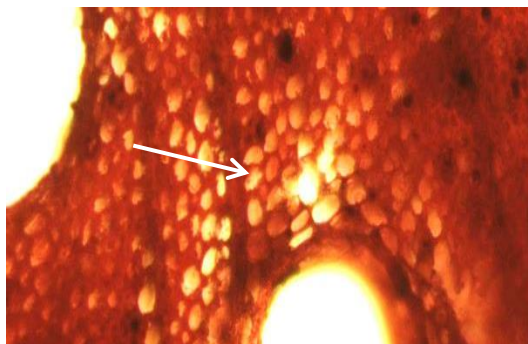


Figura 21. Madera *A. mangium* inoculada con *T. versicolor*, Pudrición blanca simultánea en células con paredes erosionadas y fractura total de la lámina media

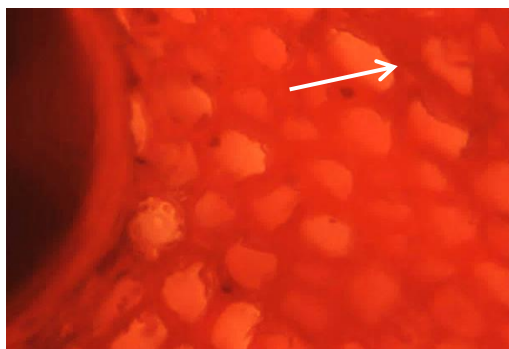


Figura 22. Madera *A. mangium* inoculada con *I. lacteus* Pudrición blanca selectiva, ataque sobre la lámina media el cual origina la separación de las célula

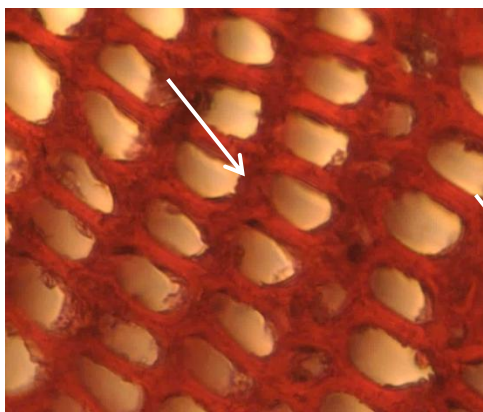
### Madera de *Simaruba amara*

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



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

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



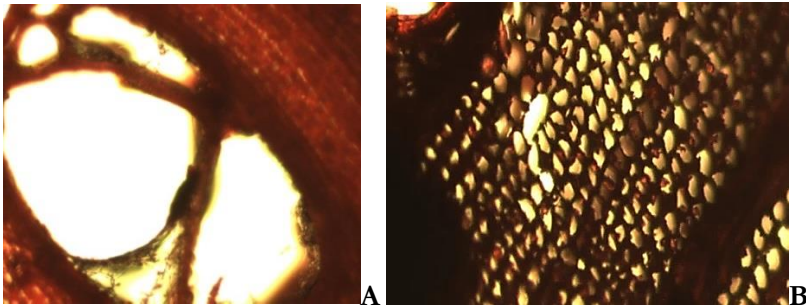
**Figura 24. Madera de *S. amara* inoculada con el hongo *G. trabeum*, se observa formación de grietas dentro de la pared celular**

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



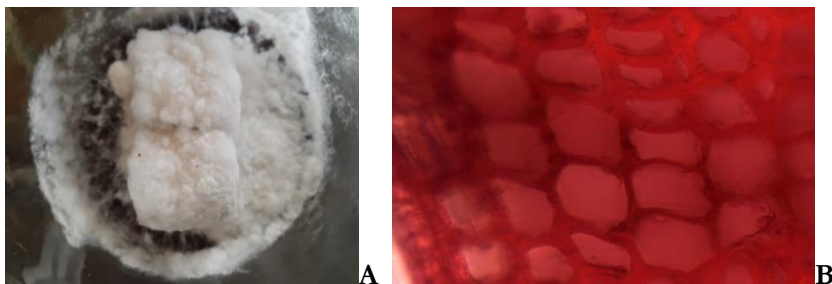
**Figura 25. Crecimiento micelial de *T. versicolor* sobre *S. amara*, en probeta sin preservar en el tercer mes de incubación**

Microscópicamente se observó tanto en las probetas testigos como en las preservadas presencias de hifas dentro de los vasos durante los dos primeros meses de evaluación Figura 26 A. En el tercer mes las probetas testigos inoculadas con el hongo *T. versicolor* mostraron pudrición de tipo simultánea, en donde a partir de la degradación de la capa  $S_3$  se siguió hacia la capa  $S_2$ , removiendo la lignina de la lámina media, provocando su ruptura total Figura 26 B.



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

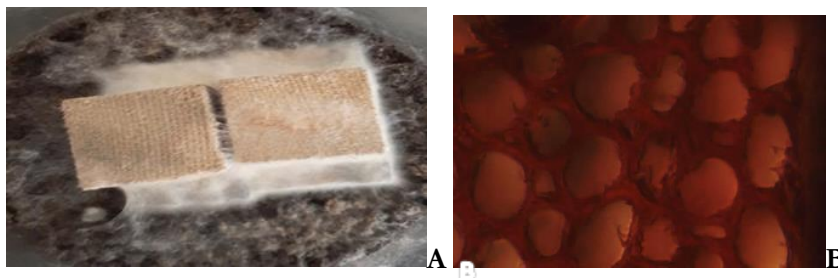
El micelio del hongo de pudrición blanca *I. lactens* formó una capa esponjosa color blanquecino sobre toda la superficie de la probeta, al ser un hongo de crecimiento rápido se comenzó a observar al finalizar el primer mes de evaluación, Figura 27 A. Con la ayuda del microscopio se pudo observar en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



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

### Madera de *Gmelina arborea*

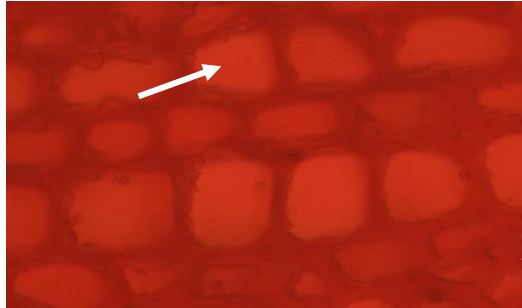
Las probetas de *G. arborea* tanto en su forma natural como preservadas e inoculadas con el hongo *G. trabeum* en el tercer mes mostraron un desarrollo micelial superficial en el que las muestras se vieron medianamente cubiertas, presentando una textura lanosa, ligeramente densa y de color blancuzco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



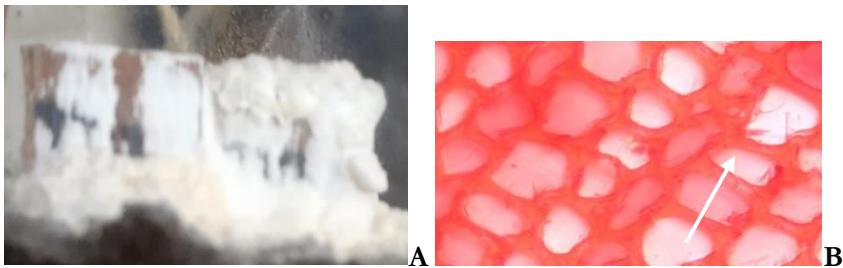
**Figura 28. A. Crecimiento micelial de *G. trabeum* sobre *G. arborea*, en probeta sin preservar al tercer mes de incubación. B. Degradación de la pared celular**

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

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

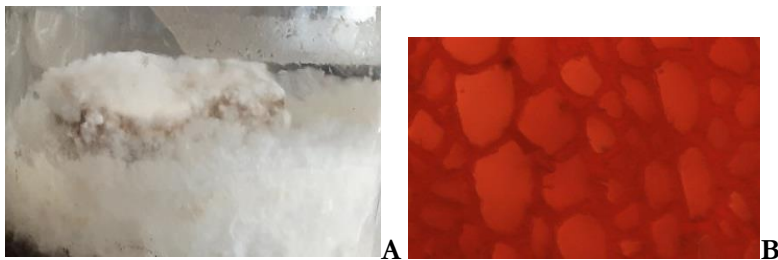


**Figura 29. Madera de *G. arborea* inoculadas con el hongo *C. puteana*, pudrición marrón incipiente al finalizar el tercer mes, provocando adelgazamiento de la pared celular**



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

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



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

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

En las maderas testigo, sin tratamiento alguno, la degradación avanzada observada en la pared celular, de las tres maderas, especialmente la capa S<sub>2</sub>, que contiene mayormente celulosa, con el consecuente colapso de la integridad de los componentes celulares y pérdida de su forma original, junto con las pérdidas de peso observadas al tercer mes del ensayo, indican que la **durabilidad natural de las tres maderas ensayadas es moderadamente baja**, con pérdidas de peso que hace que las maderas sean consideradas muy poco resistentes a los hongos de pudrición blanca y marrón, particularmente al hongo de pudrición blanca *T. versicolor* que ocasiona pérdidas de peso mayores al 30 % en madera de *Acacia mangium* y *Melina arborea* y más del 42 % en la madera de *Simaruba amara* que puede calificarse como No resistente, si se atiende la clasificación de la Junta del Acuerdo de Cartagena para los países andinos.

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

### Bibliografía

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

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

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

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

## TRABAJOS DE GRADO ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL, FCFyA, ULA AÑO 2023

- Albarrán Santiago, Ana Zulay.** Uso de plaguicidas en la actividad agrícola desarrollada en los sectores MIXTEQUE y EL ROYAL, y su incidencia en el ambiente. Parque Nacional Sierra Nevada, Mucuchies, estado Mérida
- Boada R., Goretty A.** Impacto del pretratamiento con disolventes eutécticos profundos (Deep Eutectic Solvents) en la deslignificación de aserrín de pino
- Ortega López, María Luisa.** Implementación de acciones de educación ambiental en el Instituto Municipal del Ambiente de Maneiro, estado Nueva Esparta
- Manrique C., Rosa A. y Sepulveda, Andrea C.** Análisis de la amenaza hidrogeomorfológica en la subcuenca de la quebrada La Portuguesa, municipio Campo Elías del estado Bolivariano de Mérida
- Montilla Araque, Josmar G.** Ensayo para el enriquecimiento de la vegetación protectora de un manantial ubicado en la microcuenca de la quebrada San Francisco, sector El Arenal, municipio Libertador, estado Mérida
- Quintero T, Israel N.** Valorización del residuo agroindustrial del Tabaco (*Nicotina tabacum* L.) utilizándolo en mezclas con pulpa celulósica reciclada de papel de oficina y diario (Periódico), para la elaboración de productos moldeados, manteniendo las propiedades físicas óptimas de los moldes
- Padilla Briceño, Joel Enrique.** Estudio florístico y estructural de los bosques secundarios en el sector Este del Jardín Botánico de Mérida, Venezuela
- Paredes Rojas, Yexy Nazareth y Roa Zambrano, Sadan Novoa.** Propuesta metodológica para la generación de unidades fisiográficas utilizando índices geomorformétricos y modelado del terreno, caso de estudio sector “A” del Bosque Experimental “EL Caimital” del Estado Barinas.