

ARTÍCULO

DETERIORO Y PRESERVACIÓN DE MADERA

Claudia Ibáñez Ojeda, Carlos Mantero, Mario Rabinovich,
Gianna Cecchetto y Pía Cerdeiras

Deterioro y preservación de madera

Resumen

La madera es un elemento básico en las construcciones, debido a que es un material renovable, abundante y de manejo relativamente sencillo. Sin embargo es biodegradable, susceptible de ser atacado por organismos vivos (xilófagos, “comedores de madera”). Por esto debe protegerse a través de algún tipo de tratamiento. Los mecanismos involucrados en ambos aspectos: biodeterioro y protección de madera deben abordarse desde la interdisciplinariedad. Para lograr el desarrollo de conocimiento y resolver las problemáticas desde diferentes puntos de vista, necesitamos combinar los saberes de varias especialidades: ingeniería química y agronómica forestal, microbiología clásica y microbiología molecular y asesoramiento continuo de entomología y estadística.

La investigación central ha sido desarrollar preservantes de bajo costo y ambientalmente amigables y la puesta a punto de técnicas de evaluación de durabilidad adquirida en maderas tratadas. Además, realizamos docencia de grado y próximamente de posgrado; editamos un libro y difundimos los resultados de las investigaciones en congresos, seminarios y revistas científicas.

El grupo ha creado vínculos en nuestro medio, con sectores interesados en la aplicación de nuestras investigaciones, y en el exterior a través de investigadores y docentes de Universidades de Venezuela, Turquía y Brasil, con quienes hemos realizado trabajos en conjunto, pasantías, etcétera.

Palabras clave: protección madera, deterioro madera, hongos descomponedores madera, organismos xilófagos.

Wood decay and its preservation

Abstract

Wood is a widespread element in construction, it is a renewable, abundant and relatively easy handling material. However, it is biodegradable capable of being attacked by living organisms (xylophagous, “wood-eaters”). For this reason, wood needs to be protected through some kind of treatment. The series of mechanisms involved in both aspects, the biodeterioration and protection of wood can only be approached from an interdisciplinary point of view. Knowledge development has been achieved through, and to address various problems from different points of view, we needed to combine knowledge from various specialties; chemical engineering,

agronomy, forestry, classical microbiology and molecular microbiology, and the ongoing advice of entomology and statistics. The focus of research has been finding new low cost and environmentally friendly wood preservatives, and the development and production of new preservatives for different application techniques.

The group is now teaching undergraduate courses and soon will be teaching graduate courses. Research results are disseminated at conferences, seminars and scientific journals while publishing a book on the subject.

The group has established links both within the country, with stakeholders in the implementation of our research, and abroad with researchers and professors from universities in Venezuela, Turkey and Brazil with whom we have worked together, internships, etc.

Keywords: Wood decay, Wood preservation, xylophagous organisms

Introducción

La madera ha sido y es utilizada como un elemento básico en las construcciones y otras aplicaciones, debido a que es un material renovable, versátil, abundante y de manipulación relativamente sencilla. Sin embargo al igual que otros materiales biológicos es susceptible a la degradación por acción de distintos agentes del medio ambiente. Por ejemplo, los denominados factores abióticos del ambiente, la radiación ultravioleta e infrarroja provenientes del sol, la humedad del aire y el agua de lluvia, la degradan paulatinamente a través de una serie de mecanismos químicos, mecánicos y físicos, cuando está expuesta a la intemperie. Sin embargo, en la mayoría de los ambientes se produce deterioro por ataque de organismos vivos (xilófagos, “comedores de madera”) que se alimentan de los reservorios energéticos que contiene, que viven en ella o la utilizan para incubación de sus larvas. Ejemplos de estos organismos son los hongos, los insectos y los perforadores marinos (moluscos y crustáceos). En particular los hongos en su doble rol, causan grandes pérdidas económicas a nivel mundial por disminuir la durabilidad de las estructuras de madera. Al mismo tiempo son protagonistas activos en la ecología de los ambientes naturales por reciclar el carbono de los residuos ligno-celulósicos que eliminan, fundamentalmente en los bosques, lo que asegura la continuación de los ciclos biológicos. El proceso de deterioro en sí es dinámico. Involucra la interacción de los organismos mencionados con su entorno, el complejo ligno–celulósico que es la madera. De allí obtienen las fuentes de carbono y energía que requieren para desarrollarse (Rayner y Boddy, 1988). [La figura 1](#) muestra un esquema de la degradación de madera por parte de los hongos. Recién a fines del siglo diecinueve se acepta el rol de los hongos en la descomposición de la madera y las bacterias son asociadas al deterioro recién en 1950, a pesar de ser organismos

ubicuos y numerosos.

Por estas razones la madera necesita ser protegida a través de algún tipo de tratamiento. Ni siquiera las maderas naturalmente durables son totalmente inmunes al deterioro, al ser expuestas por períodos suficientemente largos de tiempo en ambientes naturales. Esto es sabido desde tiempos muy remotos, en que ya se aplicaban tratamientos de preservación para aumentar la durabilidad de la madera. Los antiguos Egipcios sabían que si la madera permanecía seca no se deterioraba; sarcófagos de sicómoro (*Ficus sycomorus*), madera de gran durabilidad natural, sin tratar fueron encontrados en las tumbas de los Faraones sin daño por hongos o insectos luego de 4000 años. La preservación química de la madera, o sea la introducción de productos químicos en su estructura, es una opción de larga data. Romanos y griegos usaban aceite y resinas, extraídas de maderas durables para preservar sus puentes y otras construcciones. Los chinos, hace 2000 años, sumergían la madera en agua de mar o en agua de lagos salados antes de usarla como material de construcción. Probablemente el ejemplo de preservación más antiguo es el episodio bíblico en el que Noé, al construir el arca, fue instruido por Dios en cuanto a la protección que debía dar a la madera (Junta Acuerdo Cartagena, 1988; Connell, 1991). Sin embargo, la moderna industria de preservación de madera se desarrolló hasta el comienzo del siglo diecinueve. Hacia nuestros días se ha ido perfeccionando, lo que ha permitido que la madera tenga mayores posibilidades de aplicación. En los últimos tiempos son de interés el desarrollo de métodos no químicos de tratamiento de madera y de preservantes eficaces, de baja toxicidad al ambiente. Ejemplo de ello son los tratamientos térmicos de la madera, en los que el efecto biocida se logra a través de la aplicación de temperatura y presión, y las denominadas modificaciones químicas de la madera, en las que se emplean productos químicos que no sólo aumentan su durabilidad, sino que también mejoran sus propiedades físicas. Ejemplos de interés de los preservantes químicos de menor toxicidad, son las sales de amonios cuaternarios, los compuestos de boro y la aplicación de metales micronizados (con tamaños de partícula menores a 100 micras) en las formulaciones tradicionales.

Nuestro grupo interdisciplinar

La naturaleza de los complejos mecanismos involucrados en ambos aspectos, así como el deterioro y la protección de la madera, los convierten en imposibles de abordar desde una concepción meramente disciplinar. En muchos países, el deterioro y la protección de la madera constituyen una disciplina per se. Sin embargo, cuando comenzamos a investigar en el tema hace seis años, necesitamos integrar los saberes de varias especialidades para enfrentar las distintas problemáticas desde diferentes puntos de vista. Así, requerimos de los aportes

de la ingeniería química, agronómica forestal, la microbiología clásica y la microbiología molecular, así como el asesoramiento continuo de la entomología, la estadística y la silvicultura. La integración de saberes permitió un abordaje integral del objeto de estudio, lo que condujo a una transformación metodológica de la investigación. Siendo la madera el objeto de estudio, la ingeniería agronómica forestal la describe como material para diversas aplicaciones. Estudia sus propiedades anatómicas, físicas y mecánicas fundamentales y las influencias que éstas tienen sobre los procesos industriales para su elaboración, transformación y conservación. Desde el punto de vista agronómico y silvicultural, los árboles vivos son también atacados por hongos e insectos, cuyos daños afectan tanto al bosque y al árbol como a los futuros productos madereros o no madereros. La silvicultura es herramienta fundamental en el control de poblaciones de estos agentes. La química describe composición, propiedades químicas y fisicoquímicas de la madera, así como los productos preservantes para tratarla y las posibles interacciones entre ellos. Al tiempo la ingeniería química aporta los procesos de tratamiento de la madera, así como la descripción de propiedades fundamentales para el tratamiento de la misma (difusión de gases y líquidos en la madera, permeabilidad, tratabilidad, conductividad). La microbiología clásica permite comprender el proceso de deterioro a través de los microorganismos xilófagos, sus ciclos de vida, sus requerimientos para desarrollarse y propagarse y las interacciones bioquímicas entre los complejos sistemas enzimáticos de estos organismos y la madera, que conducen a la colonización y posterior descomposición de la madera. Un análisis más profundo de las mencionadas interacciones y aquellas ocurridas entre los sistemas enzimáticos de estos organismos y los preservantes, se logra a través de la microbiología molecular. Esta disciplina, que ha avanzado mucho en los últimos años, aporta además útiles herramientas que permiten la identificación rápida y confiable de los hongos que degradan la madera. El otro gran grupo de organismos que deterioran la madera son los insectos, de quienes se debe conocer, gracias a la entomología, sus ciclos de vida y los requerimientos de supervivencia a la hora de diseñar métodos de control. Por último es fundamental el aporte de la estadística, debido a la variabilidad natural de la madera como material y a que todos los ensayos de durabilidad se realizan con organismos vivos.

La integración de los diversos enfoques disciplinares, conocimientos y estrategias, ha permitido a nuestro grupo desarrollar varias capacidades, que abarcan la producción, educación, salud, así como el apoyo a las políticas públicas relacionadas a la necesidad de proteger la madera en forma ambientalmente amigable (vivienda y construcciones).

De dónde partimos y hacia dónde vamos

Todo comenzó cuando en la Facultad de Química (www.fq.edu.uy) desarrollamos un proceso

de reciclado de pilas domésticas usadas, que debía ser amigable al ambiente y a la vez viable técnica y económicamente para Uruguay. La [figura 2](#) muestra el diagrama de flujo del proceso de reciclado y [la 3](#), el reactor principal de la planta piloto. El producto principal de este proceso de reciclado, fue una solución rica en zinc y manganeso, libre de otros metales pesados. El destino primario de dicha solución era la fabricación de fertilizantes, por su aporte de micronutrientes. Este es un uso limitado por el escaso volumen requerido. En nuestro país existía el antecedente del uso, en establecimientos rurales pequeños, de sales de zinc para impregnar postes de cercas por ascensión simple. Por esta razón se comenzó a investigar el empleo de la solución como conservador para madera. Esta investigación dio origen a una tesis de doctorado, que permitió la formación del grupo interdisciplinar, que a partir de ese momento investiga y difunde el conocimiento que adquiere y genera. Culminada la mencionada tesis, se estudió el efecto insecticida de la solución en estudio sobre termitas y otros productos preservantes sobre dos tipos de coleópteros (*Hylotrupes bajulus* y *Anobium* sp).

El desarrollo de conocimiento se ha logrado a través de investigaciones tanto básicas como aplicadas. El estudio comenzó con el análisis del efecto de los metales sobre el crecimiento de hongos descomponedores de madera, cultivados en medios de cultivo artificiales como sobre madera. Luego la investigación se centró en la actividad enzimática de los hongos y cómo era afectada por la presencia en el medio de los metales con efecto inhibitorio del crecimiento, hasta analizar esa interacción a nivel molecular. Al mismo tiempo se realizó la evaluación de la durabilidad adquirida en maderas tratadas con los mismos metales. Las [figuras 4, 5, 6, 7 y 8](#) muestran distintos ensayos de durabilidad realizados. En el video adjunto (<http://www.youtube.com/watch?v=9cjG648Jp3Y&feature=youtu.be>) se muestran distintas etapas del trabajo, tanto en el laboratorio como en el campo. Primero se ve la preparación de los ensayos de PCR en tiempo real, para el estudio del efecto de los metales sobre la expresión de las enzimas ligninolíticas de los hongos que descomponen madera y el análisis de los resultados a través del software del equipo. Luego se muestra el proceso de impregnación de madera en el autoclave de laboratorio y, finalmente, la instalación de un ensayo de campo con las maderas tratadas en el laboratorio, para el estudio de durabilidad de las mismas. Sin embargo el tema central de investigación ha sido la búsqueda de preservantes para madera de bajo costo y ambientalmente amigables, así como el desarrollo y la producción de nuevos preservantes por distintas técnicas de aplicación, considerando siempre el impacto que éstos producen sobre el ambiente y la salud animal y humana.

Actualmente, la investigación central del grupo es el desarrollo de un sistema alternativo al actualmente usado, para el tratamiento de los postes de las líneas de distribución de energía eléctrica, empleando productos químicos menos tóxicos que los usados y utilizando más de un

método habitual de tratamiento. A la vez se realiza un relevamiento de las causas de deterioro de los mencionados postes en servicio en nuestro país.

Nuestro objetivo a futuro es ampliar el grupo de investigación, integrando otras especialidades que permitan profundizar en áreas específicas, tanto del deterioro como en la protección de madera. Por ejemplo el desarrollo de conservadores para madera que contengan metales micronizados, es un área de pujante interés que requiere asesoramiento en el manejo y la producción de nanomateriales. El estudio de modificaciones químicas de la madera, como la furfurilación, requiere de la química orgánica junto a la ingeniería química.

Otras consideraciones de interés

Desde un punto de vista educativo, realizamos docencia de grado y próximamente de posgrado. Los resultados de las investigaciones son difundidos en congresos, seminarios y revistas científicas (Ibáñez *et al.*, 2005, 2008a, 2008b, 2011) al mismo tiempo que editamos un libro sobre la materia ([figura 9](#)).

Dos estudiantes de grado se han integrado al grupo de investigación, quienes continuarán con estudios de posgrado dentro del tema. En el relevamiento de los postes en servicio se incluirán también otros estudiantes de grado para realizar pasantías curriculares.

El grupo ha creado vínculos en nuestro medio, con sectores públicos y privados interesados en la aplicación de nuestras investigaciones. Con el exterior, los vínculos han sido a través de investigadores y docentes, con quienes hemos realizado trabajos en conjunto, pasantías, etcétera. El intercambio con la Universidad de los Andes (www.ula.ve/), Venezuela, a través el Prof. Dr. Osvaldo Encinas, aportó al grupo la microbiología de la madera. De los estudios colaborativos con la Universidad de Estambul, Turquía (www.itu.edu.tr), a través del Prof. Dr Nami Kartal, surgen los ensayos con insectos xilófagos, cuyos resultados serán publicados, a la vez que es coautor del libro de estudio que realizamos. Actualmente estamos comenzando el estudio de la fijación de preservantes a base de sales de boro, zinc y silicatos en madera de pino y eucalipto, en colaboración con el Prof. Dr. Heber Abreu de la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (www.ufrj.br), Brasil.

Los integrantes del grupo, son: los autores, más la Prof. MsC Pía Cerdeiras (microbióloga), las estudiantes Lourdes Silva y Ana Laura Ibarra, y la Prof. Marta Bianchi (entomóloga, actualmente jubilada). El asesoramiento en estadística es del Prof. Dr. Jorge Franco y en entomología del Dr. Martín Bollazzi.

Conclusiones

El grupo interdisciplinario formado para el estudio del deterioro y la preservación de madera, ha logrado en poco tiempo desarrollar estrategias y una metodología de investigación propia, que le ha permitido la adquisición y la generación de conocimientos.

Se espera a mediano plazo lograr que sea, como en muchos países de mundo, una disciplina per se, pero sin perder el abordaje integral del objeto de estudio desde diferentes puntos de vista, como se realiza ahora desde la interdisciplinariedad.

Bibliografía

CONNELL M. (1991) Industrial Wood Preservatives – The history, development, use, advantages, and future trends. In *The Chemistry of Wood Preservation*. ED. By R. Thompson. The Royal Society of Chemistry. Cambridge.

EATON R.A., HALE M. (1993) *Wood. Decay, pests and protection*. Chapman & Hall Editors

IBÁÑEZ Claudia, RABINOVICH Mario, MANTERO Carlos, SOUBES Matilde, y CERDEIRAS Maria (2005) Evaluación inicial de soluciones de sulfato de zinc obtenidas a partir de reciclado de pilas, como preservante para madera. International Academy of Wood Science, Concepción de Chile, Chile.

IBÁÑEZ Claudia, RABINOVICH Mario, KARTAL Nami, MANTERO Carlos, CERDEIRAS Maria 2008a. Preservantes alternativos para madera obtenidos en un proceso de reciclado. *Revista Forestal Latinoamericana*. 43 (1): 91 – 102.

IBÁÑEZ Claudia, MANTERO Carlos, CECCHETTO Gianna, RABINOVICH Mario, CERDEIRAS Maria (2008b) Wood preservative obtained by recycling – preliminary selection of leaching inhibitor. IRG/WP08-50252.

IBÁÑEZ Claudia, MANTERO Carlos, Cecchetto G., RABINOVICH Mario, SILVA Lourdes, Cecchetto G., CERDEIRAS Maria (2011) Wood preservative properties of a Zn and Mn – containing solution obtained by a battery recycling process. *International Wood Products Journal*.

JUNTA del ACUERDO DE CARTAGENA. (1988) *Manual del Grupo Andino para la preservación*

de Madera. PRID- Madera. Ed. Junta del Acuerdo de Cartagena Lima Perú. 388 p

RAYNER A.D., BODDY L. (1988) Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. John Wiley and Sons.

SJÖSTRÖM E. (1993) Wood Chemistry. Fundamentals and applications. Second edition. Academic Press Inc. London.

Figura 1: Proceso de degradación de la madera

Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de reciclado de pilas desarrollado.

Figura 3: Ensayo de campo: durabilidad adquirida por probetas de pino tratadas con sales de zinc y boro.

Figura 4: Ensayo de durabilidad adquirida de laboratorio (minibloques de pino).

Figura 5: Efecto de metales sobre actividad ligninolítica de hongos descomponedores de madera en presencia de colorantes poliméricos en el medio de cultivo.

Figura 6: Colonización de probetas de pino por hongos descomponedores de madera, proveniente de ensayo de laboratorio.

Figura 7: Aspecto de probetas de pino luego del ataque por *Anobium punctatum*.

Figura 8: rasco de cultivo con probetas de pino con larvas de *Anobium punctatum*.

Figura 9: Tapa del libro Madera, biodeterioro y preservantes.

