

Durabilidad de la madera de *Populus deltoides* 'Delta Gold' ("Stoneville 66") impregnada con metacrilato de metilo

Keil, G.¹; Murace, M.²; Luna, L.³ & Acciaresi, G.⁴

1: M. Sc. Prof. Adjunto Industrias Forestales I. Fac. Cs. Agr. y Forestales. UNLP. La Plata. CC31 (1900). Indforest1@ceres.agro.unlp.edu.ar; 2: Lic. Ayudante Diplomado. Protección Forestal. Fac. Cs. Agr. y Forestales. UNLP.; 3: Dra. Cs. Naturales. JTP. Fac. de Cs. Naturales y Museo. CIC-BA; 4: Ing. Forestal. JTP. Protección Forestal. Fac. Cs. Agr. y Forestales. UNLP.

Resumen

El término durabilidad adquirida indica la resistencia a la degradación que presentan las maderas tratadas con productos preservantes. Una línea de investigación reciente en el campo del tratamiento de las maderas es la formación de compuestos madera - plástico. Esta técnica consiste en impregnar los espacios vacíos del leño con una sustancia plástica monomérica, el metacrilato de metilo, polimerizada *in situ* empleando un catalizador y calor o rayos gamma. El objetivo de este trabajo fue determinar la durabilidad de la madera de *Populus deltoides* 'Delta Gold' ("Stoneville 66") impregnada con el monómero metacrilato de metilo y observar la distribución del producto en el tejido leñoso. Los ensayos de biodegradación se realizaron según norma IRAM 9518 con modificaciones. La especie fúngica utilizada fue *Pycnopus sanguineus*. El material endurecido y testigo se procesó para su observación con microscopio electrónico de barrido. Los porcentajes de pérdida de peso seco de la madera endurecida y testigo fueron de 12,53 y 53,53 %, respectivamente. El compuesto se depositó en el lumen de los vasos y en las punteaduras vaso- radio. La madera endurecida tendría un vida útil en servicio estimada entre 10 y 30 años. Esta resistencia permitiría su empleo como madera para uso al exterior sin contacto con el suelo para la fabricación de estructuras para juegos, cercas, vigas, columnas, pérgolas, muebles para jardín, revestimientos y balaustradas.

Palabras clave: álamo, compuesto madera-plástico, durabilidad adquirida

Introducción

Los usos a los cuales se destine una madera dependen de sus propiedades físico-mecánicas, estéticas y de su durabilidad natural.

El término “durabilidad natural” hace referencia a la resistencia que ofrece la madera al ataque de hongos, insectos, al desgaste mecánico y a la acción de los agentes atmosféricos. Cuando las maderas son tratadas con productos preservantes esa resistencia a la degradación se define como “durabilidad adquirida” (Zakel & Morrell, 1992).

Debido a que los hongos xilófagos son los principales microorganismos relacionados con la degradación de las maderas en servicio, la durabilidad suele asociarse con la resistencia que presentan las maderas a la degradación fúngica (Highley *et al.* 1994).

La preservación es una práctica que permite ampliar las posibilidades de uso de las maderas de baja durabilidad (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

Una línea de investigación reciente en el campo del tratamiento de las maderas es la formación de compuestos madera - plástico (CMP) o maderas endurecidas. Esta técnica consiste en impregnar los espacios vacíos del leño con una sustancia plástica monomérica denominada metacrilato de metilo (MMA). La polimerización del MMA se realiza *in situ* empleando un catalizador y calor o rayos gamma (Andía *et al.*, 1996).

El MMA presenta como ventajas poseer una baja viscosidad lo cual facilita la impregnación; ser incoloro lo cual posibilita su coloración, su disponibilidad en el mercado, su facilidad de manejo durante la impregnación, entre otras. Como desventajas se señalan su alta volatilidad, su inflamabilidad y la producción de vapores molestos (Andía *et al.*, 1996).

El uso de los CMP polimerizados por acción térmica comenzó en el año 1966 con la fabricación de tacos de billar, hockey y de golf, partes de armas, cabos de instrumentos de corte e instrumentos musicales, productos para la industria textil y parquet. Países como Inglaterra, Japón, Alemania, Italia, Estados Unidos, Chile y Brasil fueron pioneros en el empleo de los CMP a escala comercial (Silva Lepage, 1982). En estos países las maderas empleadas para la producción de CMP fueron *Pinus radiata*, *Pinus elliottii*, álamo, roble americano, pino blanco y abedul (Bull Simpfendorfer 1981; Silva Lepage, 1982, Lagos, 1995)

En Argentina, hasta la fecha, se utilizaron maderas de álamo, sauce, pino y aglomerados para la formación de CMP polimerizados con rayos gamma (Pahissa Campa *et al.* 1972) y madera de álamo endurecida mediante una fuente de calor (Andía *et al.*, 1996).

Según Keil *et al* (2005) la madera de álamo endurecida con calor resultó más densa, dura, resistente a la compresión paralela y perpendicular a las fibras, a la flexión estática; presentó mayor rigidez y resistencia al corte tangencial y mayor estabilidad dimensional con respecto a la madera sin tratar.

Algunos investigadores consideran que los CMP ofrecen importantes cualidades para su empleo en la fabricación de pisos para exteriores y tejas para techos, entre otros (Witt, 1977). El conocimiento de la durabilidad de los CMP permitiría evaluar el comportamiento de este material ante dichas situaciones de alto riesgo.

El objetivo de este trabajo fue determinar la durabilidad adquirida de la madera de *Populus deltoides* ‘Delta Gold’ (“Stoneville 66”) impregnada con el monómero metacrilato de metilo y observar la distribución del producto en el tejido leñoso.

Materiales y métodos

Material leñoso

Se trabajó con madera de “Stoneville 66”. Esta fue obtenida de una plantación comercial de 12 años de edad ubicada en el delta del río Paraná (34° 45' S, 59° 05' W), provincia de Buenos Aires

El proceso de endurecimiento se realizó en dos etapas. La primera consistió en la incorporación del producto en el material mediante autoclave con atmósfera inerte. El método de impregnación empleado fue Bethell (célula llena) sin vacío final. La segunda etapa consistió en el curado (polimerización del monómero) de la madera impregnada. Para esto el material se cubrió con una doble envoltura de papel de aluminio y se colocó en horno eléctrico a $80 \pm 5^\circ\text{C}$

de temperatura con atmósfera inerte provocada por el pasaje de una corriente de nitrógeno gaseoso.

La presencia de oxígeno inhibe la polimerización vía radicales libres. Además el nitrógeno aporta presión y evita la combustión de los gases. En estas condiciones la madera permaneció en el horno durante 8 horas. Para la formación del CMP se utilizaron 567 Kg de MMA por metro cúbico de madera (Andía *et al.*, 1996).

A partir de listones de 5 x 5 x 20 cm cuya dimensión mayor correspondió al sentido paralelo a las fibras, se obtuvieron 48 probetas del compuesto madera plástico (CMP) de 20 mm de lado y libres de defectos. Igual cantidad de probetas se obtuvieron de listones de madera de álamo sin tratar que fueron consideradas como testigos.

Cepa fúngica

La especie seleccionada fue *Pycnoporus sanguineus* (L. ex Fr.) Murr., Bull., cepa N° 163 LPS. El micelio fúngico fue repicado en cajas de Petri con agar extracto de malta (20 g de agar, 10 g de malta, 2 g de peptona y 1000 ml de agua destilada). Las cajas fueron incubadas en estufa a 27 °C durante 15 días.

Ensayos de biodegradación

Los ensayos de biodegradación se realizaron según norma IRAM 9518 (1962) con modificaciones.

De acuerdo con esta se prepararon frascos de pudrición en los que fueron colocados 43 cm³ de agua destilada y una mezcla de tierra vegetal y arena (160 g arena, 40 g tierra) previamente secada en estufa durante 3 días a 105 ± 2 °C y tamizada en malla de 0,5 mm.

Preparados los frascos en cada uno de ellos se introdujeron 2 probetas de ensayo secadas en estufa a 80 °C hasta peso constante (Psi) y luego humectadas por inmersión en agua destilada durante 24 horas. Las probetas fueron enterradas hasta un 50% de su altura.

Cumplido este paso se taparon los frascos con tapones de algodón y fueron esterilizados en autoclave durante 30 minutos a 1,5 atmósferas de presión.

La inoculación del material se realizó colocando sobre la cara transversal de cada probeta un trozo de micelio fúngico de 1 cm de diámetro.

El material estuvo expuesto a degradación durante 150 días. Transcurrido este tiempo las probetas fueron extraídas de los frascos, colocadas en estufa a 75 °C y pesadas diariamente hasta comprobar peso constante. Estos valores se consideraron como peso seco final (Psf).

La evaluación de la pérdida de peso se realizó aplicando la fórmula:

$$\text{Pps}(\%) = \frac{(\text{Psi} - \text{Psf})}{\text{Psi}} \times 100$$

Pps(%): porcentaje de pérdida de peso referida al peso seco inicial de las probetas.

Psi(g): peso seco inicial de las probetas obtenido luego de permanecer 3 días en estufa a 80 °C.

Psf(g): peso seco de las probetas cumplido el tiempo de ensayo y colocadas en estufa a 75 °C por 2 días.

Observaciones anatómicas

Se procesaron muestras de madera endurecida y no endurecida (testigo) para su observación con microscopio electrónico de barrido (MEB). Se obtuvieron cortes con cuchillas de metal, los cuales fueron montados sobre las platinas y cubiertos con un baño de oro-paladio.

Resultados y discusión

Ensayos de degradación

Los porcentajes de pérdida de peso seco de la madera endurecida y testigo obtenidos en laboratorio se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Valores medios de pérdida de peso seco.

Material	Pérdida de peso seco* (%)
Compuesto madera-plástico (CMP)	12,53 a
Madera de álamo sin tratamiento	53,56 b

* Letras distintas denotan diferencias significativas (Tuckey $\leq 0,05$)

De acuerdo con los resultados obtenidos la madera endurecida (CMP) aumenta su resistencia a la degradación fúngica (Tabla 2).

Tabla 2. Clase de resistencia del CMP y de la madera sin tratamiento.

Material	Pérdida de peso (%)	Rango de Pérdida de peso (%)	Rango de Peso residual (%)	Tipo de resistencia
CMP	12.53	0 - 10	90 - 100	Altamente resistente
		11 - 24	76 - 89	Resistente
		25 - 44	56 - 75	Moderadamente resistente
Madera sin tratamiento	56.53	45 - mas	55 - menos	No resistente

La madera de álamo endurecida tendría un vida útil en servicio estimada entre 10 y 30 años. Esta resistencia a la degradación es comparable con la de aquellas maderas conocidas por su alta durabilidad natural como el algarrobo, anchico colorado, lapacho y caldén entre otras (IRAM 9600, 1998).

Esta resistencia permitiría su empleo como madera para uso al exterior sin contacto con el suelo (clase de riesgo R3), expuesta a la intemperie o lixiviación. De acuerdo con esto el compuesto madera-plástico podría utilizarse en la fabricación de estructuras para juegos, cercas, vigas, columnas, pérgolas, muebles para jardín, revestimientos y balaustradas (IRAM 9600, 1998).

Observaciones anatómicas

En las muestras testigo se observó la proliferación del micelio fúngico, el cual se distribuyó principalmente en el interior de los elementos de vaso (Figs. 1 y 2). En esta última se observa, además, la separación celular característica de la pudrición blanca selectiva, consecuencia de la destrucción de la laminilla media compuesta (Fig. 2).

Fig. 1- Corte longitudinal tangencial

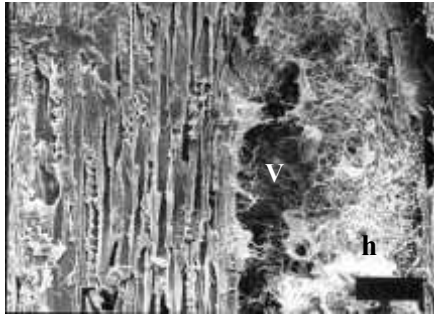
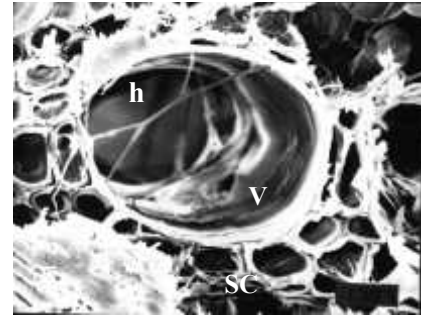


Fig. 2- Corte transversal



En la madera endurecida se observó, por sectores, la distribución uniforme del MMA, cubriendo paredes y lúmenes celulares (Fig. 3). En otras zonas de las muestras, el producto se distribuyó revistiendo las paredes internas de los vasos, obturando en forma parcial los lúmenes celulares (Fig. 4) y las punteaduras vaso-radio (Fig. 5).

Fig. 3- Corte transversal

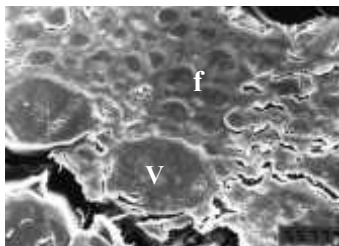


Fig. 4- Corte transversal

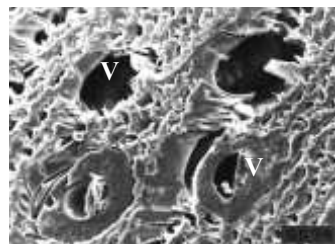


Fig. 5- Corte longitudinal



Referencias:

v: elemento de vaso
f: fibra
p: punteaduras

Schwarze *et al.* (2000) consideran que en las maderas de angiospermas la colonización fúngica se produce en principalmente por el sistema axial (elementos de vaso) y en segundo término por el sistema radial (radios parenquimáticos). De acuerdo con esto la presencia del polímero en el lumen de los vasos y obstruyendo las punteaduras vaso-radio retrasó el proceso de colonización y degradación de la madera.

Conclusiones

El compuesto madera plástico formado a partir de la impregnación de la madera de álamo resulta ser un material más resistente a la degradación fúngica que la madera de álamo sin tratamiento.

El metacrilato de metilo forma una barrera física que obstaculiza la colonización de los hongos causantes del deterioro de la madera.

Polimerizando la madera de álamo con metacrilato de metilo se forma un producto factible de ser empleado en la fabricación de estructuras para juegos, cercas, vigas, columnas, pérgolas, muebles para jardín, revestimientos y balaustradas.

Agradecimientos

Agradecemos a la Lic. Ana María Bucksinsky (Instituto Spegazzini-CONICET) por el aporte de la cepa xilófaga.

Bibliografía

Andía, I.R.; Otaño, M.E. & Keil, G.D. 1996. "Endurecimiento de Madera de Álamo mediante la impregnación en autoclave con una mezcla monómero - catalizador". Desarrollo experimental. Análisis e informe. Industrias Forestales I. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. Exte N° 200-205/94 UNLP. La Plata. Buenos Aires. 50 pp.

ASTM D 2017. 1978. "Standard Method of Acelerated Laboratory Test of natural decay resistance of woods". pp. 639 – 645.

Bull Simpfendorfer, Carlos G.. 1981. "Propiedades de combinados madera plástico empleando la radiación gamma como agente de polimerización". Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago de Chile. 163 pp.

Highley, T.L., C. A. Clausen, S.C. Croan, F. Green, B. L. Illman & J.A.Micales. 1994. Research on biodeterioration of wood, 1987-1992. I. Decay mechanisms and biocontrol. USDA Forest Service, Research Paper FPL-RP-529.

IRAM 9518. 1962. Toxicidad, permanencia y eficacia de preservadores de madera. Métodos de laboratorio. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 12 pp.

IRAM 9600. 1998. "Preservación de maderas. Maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 22 pp.

Junta de Energía Nuclear de España. 1971. "Estudio de las propiedades físicas de combinaciones madera plástico utilizando la radiación gamma como fuente de polimerización". Dirección de Química e Isótopos. Madrid. España. 70 pp.

Junta del Acuerdo de Cartagena; "Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas". 1988. 1ra. Ed., Lima. Perú. 400 pp.

Keil, G; M. Otaño; I. Andía, M. Murace & B. Díaz. 2005. Potencialidades de la madera de *Populus* endurecida con metil metacrilato para la diversificación de usos. 3° Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. AFOA. Corrientes, Argentina. Actas en CD, trabajo n° 108.

Lagos, T.E.. 1995. "Neowood. Un producto obtenido del pino radiata". *Vetas* 152: 44 – 45.

Pahissa Campa, J.; Gabarain, R.U.A.; Tramontini, C. & Melia, E.. 1976. "Obtención de Materiales Madera Polímero por irradiación". Actas del VII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires. Argentina. Tomo V. pp. 6415 – 6418.

Schwarze, F.; J. Engels & C. Mattheck. 2000. Fungal strategies of wood decay in trees. Springer, 185 pp.

Silva Lepage, E.. 1982. "Compostos madeira-plástico. Estudo de algumas propriedades mecânicas de madeira de *Pinus elliottii* impregnada com monômero de metacrilato de metila". Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. San Pablo. Brasil. 21 pp.

Witt, A. E..1977. "Applications in Wood Plastics. Radiaton Phys". Chem. 9: pp. 271 – 288.

Wright, J.E. & Deschamps, J.. 1976. "Deterioro fúngico de salicáceas en el Delta". IDIA. Enero - junio: pp. 52 - 55

Zakel, R.A. & J.J., Morrell. 1992. Wood microbiology. Decay and its prevention. Academic Press Inc. 476 pp.