

Metodología para analizar la degradación de madera estructural en atmósferas volcánica en Costa Rica

Methodology to analyze the degradation of structural Timber in acid atmospheres

Viviana Paniagua-Hernández
Investigadora Escuela de Arquitectura, UCR
correo electrónico: viviana.paniaguahernandez@ucr.ac.cr

Cindy Torres Quirós Investigadora
Escuela de Ingeniería Química, UCR

Palabras clave:

Ambiente VOLCÁNICO, SO₂, *Cupressus lusitanica* -*Tectona grandis*, Técnica ultrasónica.

Keywords:

VOLCANIC environment, SO₂, *Cupressus lusitanica* -*Tectona grandis*, Ultrasonic technique.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación fue proponer una metodología para el estudio de la influencia de los agentes ácidos en el comportamiento mecánico de especímenes de madera comercial de *Tectona grandis* (Teca) y *Cupressus lusitanica* (Ciprés). Se observó experimentalmente una reducción entre el 5-7% en E_{dyn} y 8-11% en E_{app} , con una tendencia de 3% más disminución en Ciprés que en Teca. Más cerca del volcán la concentración SO₂ (gas) fue apreciable y los valores de pH de la lluvia ácida fueron de $3,92 \pm 0,33$ en promedio. La meteorización provocó severos cambios de color ($\Delta E^* > 17$) esto puede ser considerado para fines de diseño arquitectónico. Se comprobó que la metodología propuesta para monitorear la degradación de la madera en ambientes ácidos resultó adecuada.

Se ha reportado que la intensidad de la corrosión química de la madera depende del contaminante, concentración, humedad, temperatura, tiempo de exposición y permeabilidad de la especie [1][2] [3]. De los factores degradantes la radiación es el más dañino ya que provoca oxidación, despolimerización (lignina y la celulosa), pérdida del material y la decoloración superficial [4]–[6]. Esta degradación puede variar según la especie, conífera [7], [8] o latifoliada [9], [10], por lo que la presente investigación consideró una especie conífera (Ciprés) y una latifoliada (Teca).

Se ha reportado que la madera muestra una baja degradación en ambientes corrosivos en comparación con los metales [11], sin embargo, no se ha reportado el comportamiento del material en zonas volcánicas de [8] [11], [12][11], [12]. Por tanto, en la presente investigación se estudió el efecto de contaminantes atmosféricos, como el dióxido de azufre SO₂.

II. METODOLOGÍA

Se ensayaron piezas de Teca y Ciprés, con admisibilidad de defectos (INTE C100: 2011) [13] considerando el porcentaje de albura y duramen. Se colocaron en tres sitios de diferente acidez: a) Alta exposición (HEA); b) Exposición intermedia (IEA) c) Control (CA) testigo. Dichas piezas de madera se separaron del suelo [9] en posiciones de 0° y 90°, orientadas al sur. Sus dimensiones son 2x4x68” con relación altura ancho (d / b) >3 longitud L/18. La concentración de SO₂ y H₂S se midió con un monitor portátil Multirae Lite Honeywell. El análisis de pH de lluvia y niebla, así como los aniones cloruro, fluoruro, nitrato y sulfato de dichas muestras se analizaron mediante cromatografía de iones. Las muestras se aclimataron (HR 50 ± 5% y 163 ± 35 F ° (23C ± 5%), se verificó el CH 12 ± 1% antes de las pruebas. Se calculó el E_{dyn} ecuación (1) y E_{app} ecuación (2) siguiendo la norma ASTM-D198 [14]. También se evaluó el cambio de color de las superficies (cada 30 días utilizando Canon EOS88D Rebel Ti7, y un Travor Photo Studio Light Box 35 “/ 90cm), según la ecuación (3).

$$E_{\text{dyn}} = \rho * v^2 \quad (1)$$

donde ρ es la densidad de la madera (kg / m³) y v es la velocidad de la onda (m s⁻¹) La velocidad de la onda ultrasónica (v_{us}).

$$E_{\text{dyn}} = \rho * v^2 \quad (2)$$

donde P aumenta en la carga de prueba por debajo del límite de proporcionalidad y Δ es el aumento en la deflexión asociada con P .

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Donde ΔE es el cambio de color de la madera debido a la intemperie, ΔL^* es la diferencia entre los valores de L^* inicial y después de la exposición, Δa^* es la diferencia entre los valores de a^* inicial y después de cada exposición, y Δb^* es la diferencia entre los valores de b^* inicial y después de cada exposición [15].

III. RESULTADOS

Caracterización del sitio

La Figura 1 muestra los perfiles de gas de SO₂ y H₂S, así también muestra el pH de la lluvia ácida, el cual fue en promedio 3.92 ± 0.33 y la niebla ácida 3.84 ± 0.21, para el sitio más ácido (HAC).

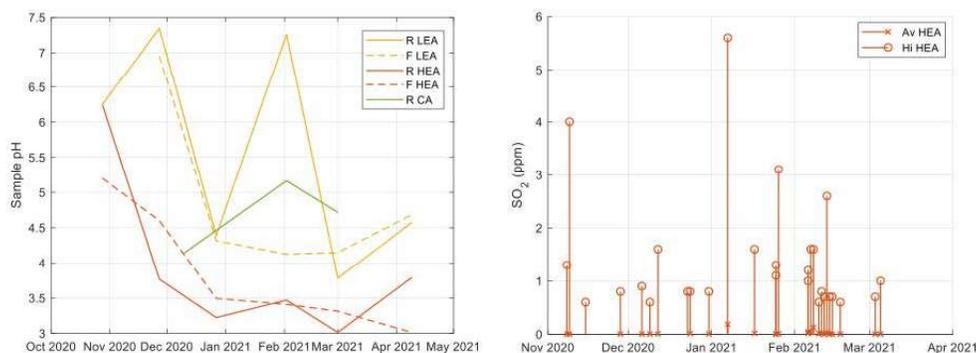


Fig. 1. Izquierda Perfil de pH (0-14). I.HEA y II. A la derecha perfil de emisión de gas SO₂ (ppm) en HAC.

Evaluación de las propiedades mecánicas

Para ambas especies, Ciprés y Teca, se observó una disminución apreciable en los valores de Eapp y Edyn a los 90 días y a los 180 días. Ciprés Edyn disminuyó en promedio $2,2 \pm 0,68$ GPa y $2,1 \pm 0,31$ GPa para la teca. Se encontró una tasa de disminución estimada del 5-7% en Edyn y 8-11% en Eapp, y una tendencia de 3% más de disminución en Ciprés que en Teca (Figura 2).

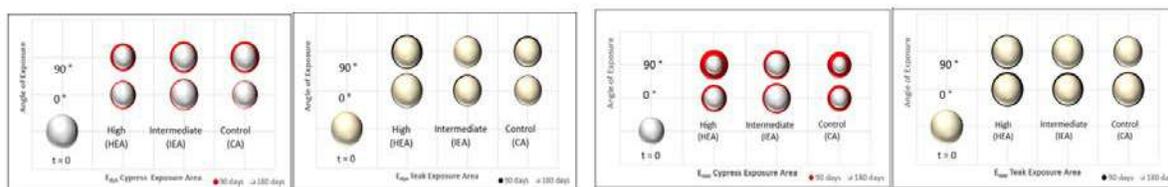


Fig. 2. a. Disminución de Edyn (izquierda) y Eapp (derecha) en Ciprés y teca durante 180 días de exposición en 3 sitios.

Cambios de color

Ambas especies mostraron un ΔE más significativo en posición horizontal que en posición vertical, esto considerando que la irradiación promedio fue de 312.4976 W/m² en HEA. La percepción del ΔE [16] en Ciprés horizontal fue nivel 5 “completamente perceptible” en el mes 2 y en vertical en el mes 4; para la Teca en ambas posiciones en el mes 2 (mes más lluvioso), dichos resultados se observan en la Figura 3.

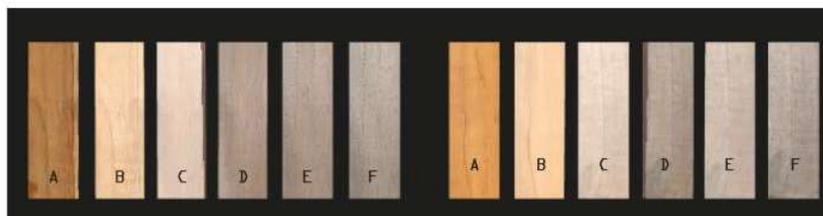


Fig. 3. Apariencia de cambio de color durante los primeros 6 meses de exposición.

IV. CONCLUSIONES

Se estableció con éxito una metodología para analizar la degradación de la madera en atmósferas ácidas. Se obtuvo una disminución de 5-7% aproximadamente en el Edyn y 8-11% en el Eapp. Ambos módulos disminuyeron significativamente en HEA en comparación con IEA y CA El Eapp disminuyó 2.43% más que Edyn en posición horizontal que en posición vertical, y 2.71% más en Ciprés que en Teca. Se registró una modificación significativa de los cambios de color en promedio $\Delta E^* > 17$. Con esto se anticipa la influencia del ambiente volcánico en la madera.

V. REFERENCIAS

- [1] K. K. Pandey, S. S. Chauhan, and P. K. Aggarwal, "Reaction of wood with inorganic salts," *Holz als Roh- und Werkst.*, vol. 56, no. 6, pp. 412–415, 1998.
- [2] J. J. Morrell, "Chapter 17 Protection of wood-based materials," in *Handbook of Environmental Degradation of Materials*, William Andrew Publishing, 2018, pp. 343–368.
- [3] W. Feist, "Outdoor Wood Weathering and Protection Chapter 11.," in *Rowell RM, Barbour JR (eds) Archaeological wood—properties, chemistry, and preservation*, A. C. S. Adv Chem Ser 225, Ed. Washington, DC, USA, 1990, pp. 263–298.
- [4] M. Fredriksson, "A critical literature review of moisture and temperature conditions in wood exposed outdoors above ground," 2010.
- [5] C. Brischke, L. Meyer, & S. O.-I. B., and undefined 2014, "Durability of wood exposed in ground—Comparative field trials with different soil substrates," *Elsevier*.
- [6] G. C. Foliente, "Design of timber structures subjected to extreme loads," *Progress Struct. Eng. Mater.*, vol. 1(3), ., pp. 236–244, 1998.
- [7] L. Reinprecht, *Wood Deterioration, Protection and Maintenance*. 2016.
- [8] F. F. P. Kollmann, W. A. Côté, and W. A. Côté, "Chemical Composition of Wood," in *Principles of Wood Science and Technology*, Springer Berlin Heidelberg, 1968, pp. 55–78.
- [9] K. Pandey, "Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 90(1), pp. 9–20, 2005.
- [10] K. K. Pandey, "A Study of Chemical Structure of Soft and Hardwood and Wood Polymers by FTIR Spectroscopy," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 71, no. 12, pp. 1969–1975, Mar. 1999, doi: 10.1002/(sici)1097-4628(19990321)71:12<1969::aid-app6>3.0.co;2-d.
- [11] G. Wegener and D. Fengel, "Untersuchungen zur Beständigkeit von Holzbauteilen in aggressiven Atmosphären Investigations for estimating the resistance of structural timber against aggressive atmospheres," *Holz als Roh- und Werkst.*, vol. 44, no. 6, pp. 201–206, Jun. 1986.
- [12] M. Borralló Jiménez, "Durabilidad de los herrajes metálicos en la construcción en madera: Interacción madera-metal," Universidad de Sevilla, 2004.
- [13] INTE-C100:2011, "Madera estructural. Clasificación en grados estructurales para la madera aserrada mediante una evaluación visual.," 2011.
- [14] ASTM-D198, "ASTM-D198 Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes." ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, 2015.
- [15] B. Hill, T. Roger, and F. W. Vorragen, "Comparative Analysis of the Quantization of Color Spaces

- on the Basis of the CIELAB Color-Difference Formula,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 16, no. 2, pp. 109–154, 1997.
- [16] T. (2004). Cui, W., Kamdem, D. P., & Rypstra, “Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood.,” *Wood Fiber Sci.*, vol. 36(3), pp. 291-301., 2004.