

Aplicaciones de la dendrocronología en los ecosistemas forestales de México

A través de los anillos anuales de crecimiento producidos en las maderas de las coníferas es posible conocer las variaciones de las condiciones ambientales históricas dominantes del sitio bajo el cual los árboles crecieron. Asimismo, la ciencia que se encarga de estudiar dicha relación se llama dendrocronología. A través de las aplicaciones de esta ciencia, los investigadores han logrado determinar el comportamiento histórico del clima, implementado mejores programas de manejo forestal, reconstruido los niveles hídricos de ríos y lagos, estimado los patrones e intensidades de la dinámica del fuego, así como eventos geomorfológicos como derrumbes y deslizamientos.

Palabras clave:
Anillos de crecimiento,
crecimiento radial,
coníferas, conservación,
madera, pinos

ULISES MANZANILLA-QUIÑONES*, PATRICIA DELGADO-VALERIO Y AGUSTÍN MOLINA-SÁNCHEZ

Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
C.P. 60170, Michoacán, México.
* ulises_manza@hotmail.com

Dendrocronología

La palabra dendrocronología se compone de dos vocablos griegos: *Dendron* que significa árbol y *Logos* que significa tiempo, por lo tanto, podemos entender que la dendrocronología es la ciencia que se encarga de estudiar, fechar y analizar los anillos anuales de crecimiento que producen la madera de los árboles, principalmente, el grupo de las coníferas (pinos, abetos, oyameles, cedros, cipreses, secuoyas, etc.) y otras especies de clima tropical como cedro rojo, burseras, mangle, etc.

El principio básico de estudio de la dendrocronología es analizar las cuestiones relacionadas entre el crecimiento anual en diámetro de la madera, el cual comprende la generación de anillos anuales y el crecimiento estacional, este último, relacionado con la formación de bandas de crecimiento, las cuales están vinculadas con las estaciones del año, principalmente: primavera-verano y otoño-invierno, producidos por las plantas leñosas como las coníferas.

Por medio del conteo, medición y estandarización de los anillos anuales de crecimiento, es posible determinar la edad de los árboles, las tendencias del crecimiento y el nivel de asociación con los factores ambientales dominantes presentes en la región geográfica donde crecen dichos árboles (Fritts 1976). En el grupo de las coníferas, los anillos de crecimiento están conformados por dos etapas o fases de crecimiento (bandas): la primera denominada madera temprana, la cual se desarrolla durante las estaciones de primavera-verano y se caracteriza por presentar células grandes de color claro y con una

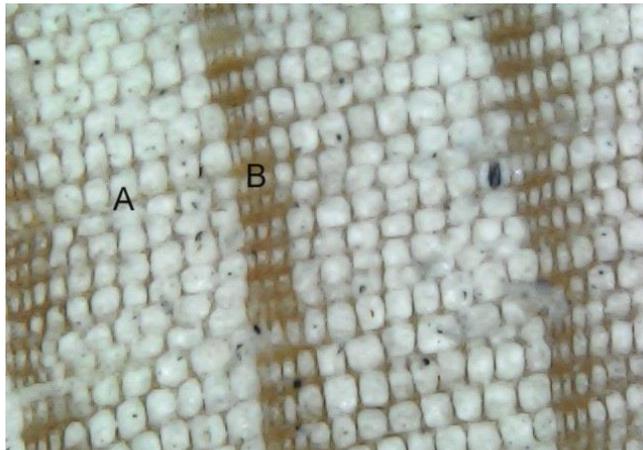


Figura 1. A. Anillo anual de crecimiento de *Pinus martinezii* E. Larsen: madera temprana B. formada durante primavera-verano y madera tardía formada durante otoño-invierno. (Figura: Ulises Manzanilla-Quñones).

pared celular delgada y poco densa, mientras que a la segunda se le conoce como madera tardía, la cual se forma durante las estaciones de otoño-invierno y se caracteriza por presentar células pequeñas de color más oscuro y con una pared celular gruesa y densa (Fritts 1976, Speer 2010) (Figura 1).

Principios básicos de la dendrocronología

De acuerdo con autores como Fritts (1976) y Speer (2010) para que una especie arbórea pueda ser analizada desde una perspectiva dendrocronológica, se deben cumplir con una serie de principios básicos, los cuales se mencionan a continuación:

Primero: los árboles de la especie a evaluar deben producir durante su etapa de crecimiento en diámetro, un solo anillo por año, este crecimiento deberá estar conformado por dos bandas bien definidas de acuerdo con las estaciones del año (Figura 2A). No se pueden fechar ni analizar especies que no tengan una estacionalidad bien marcada acorde con su crecimiento.

Segundo: el crecimiento estacional de los árboles debe estar sujeto a las condiciones dominantes presentes en el ambiente, es decir, que en el transcurso de las estaciones de primavera-verano y otoño-invierno, el crecimiento en diámetro dependerá directamente de la variación de esas condiciones como, por ejemplo: la oscilación de la temperatura (máxima, promedio y mínima) y/o la cantidad de lluvia registrada durante esos periodos.

Tercero: El crecimiento en diámetro debe presentar una buena variabilidad anual (anillos anuales de crecimiento de diferente grosor), que se vea reflejada en el grosor de los anillos anuales de crecimiento (Figura 2B), en este principio, es importante mencionar que los árboles con alta disponibilidad de recursos como mucha humedad y suelos fértiles no son aptos para la realización de un estudio dendrocronológico, por lo que estas condiciones, producirían un crecimiento en diámetro muy homogéneo, es decir, el árbol tendría una baja o nula capacidad de registrar los cambios en el ambiente, a través del grosor de sus anillos.

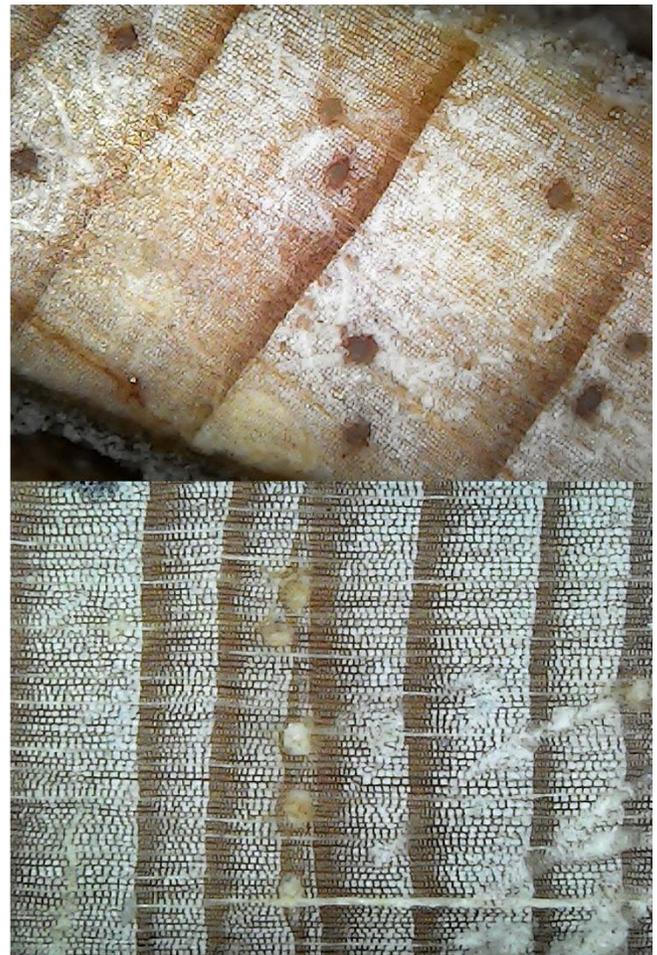


Figura 2. Anillos de crecimiento de dos especies de *Pinus*. A. Anillos anuales de crecimiento de *Pinus rzedowskii* Madrigal Et Caballero. B. Variación en el grosor de anillos anuales de crecimiento de *P. martinezii* (Figuras: Ulises Manzanilla-Quñones).

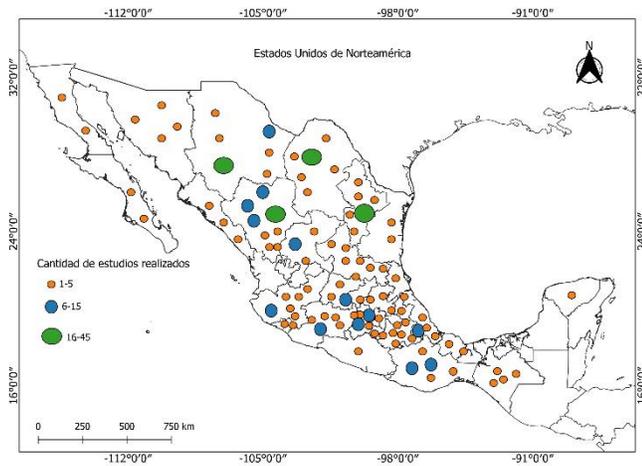


Figura 3. Distribución espacial de los estudios dendrocronológicos realizados hasta el año 2022 en México (Mapa: Ulises Manzanilla-Quñones, datos Morales 2022).

Cuarto: la variable ambiental limitante (humedad y/o temperatura) debe estar presente sobre toda el área geográfica evaluada, lo que significa que la capacidad de respuesta entre el crecimiento en diámetro de los árboles y el factor limitante del crecimiento debe ser homogénea en el área de estudio (Figura 4).

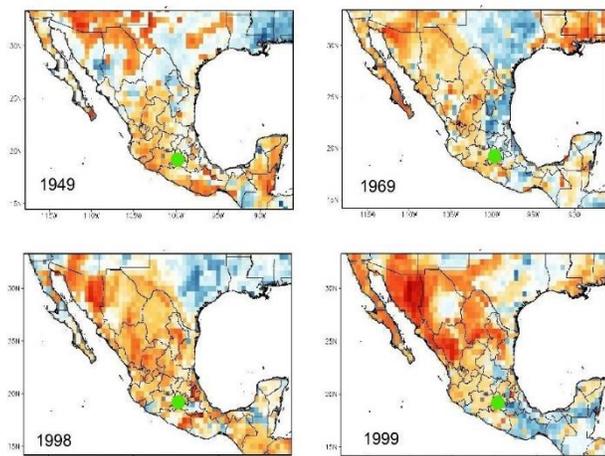


Figura 4. Mapas de sequías generados con el Atlas de sequías para México (Stahle *et al.* 2011).

Dendrocronología en México

Los estudios dendrocronológicos en México se iniciaron formalmente en la década de 1940, pero no fue a partir del año 2000, cuando se incrementaron y

no fue que hasta las últimas dos décadas que aumentaron de manera significativa (Carlón 2023, Manzanilla-Quñones *et al.* 2023). Se estima que hasta la fecha, en nuestro país se han generado cerca de 429 investigaciones dendrocronológicas, siendo los géneros más estudiados *Pinus* (60.38 %), *Pseudotsuga* (23.78 %), *Taxodium* (8.86 %) y otras especies como encinos de climas tropicales (6.98 %). Distribuidos, principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas y Jalisco (44.76 %), Michoacán, Estado de México, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala (22.38 %), Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila y San Luis Potosí (19.58 %) y el resto de estados de la República Mexicana (13.28 %) (Morales 2022). En la Figura 3 se puede visualizar la distribución espacial de la cantidad de estudios dendrocronológicos realizados hasta el año 2022 en México, donde se puede observar la relevancia (enfoques climáticos, ecológico, hídrico, dinámica del fuego y geomorfológico) que tiene el grupo de las coníferas en la realización de este tipo de estudios en nuestro país.

Aplicaciones de la dendrocronología en México

Mediante el uso de unas de las ramas más comunes de la dendrocronología, específicamente, la dendroclimatología, ha sido factible analizar el comportamiento climático histórico, concretamente, la reconstrucción de las sequías a diferentes escalas espaciales y temporales (Stahle *et al.* 2011). Así como la evaluación del impacto de fenómenos océano-atmosféricos de circulación global como El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en el crecimiento radial anual de las coníferas del centro de México (Manzanilla-Quñones *et al.* 2020). En la Figura 4 se puede observar la reconstrucción del comportamiento histórico de las sequías a través del Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI) para los años 1949, 1969, 1998 y 1999 en México.

En el manejo forestal, la dendrocronología, por medio de la dendroecología ha ayudado en el análisis y comprensión de la dinámica ecológica del crecimiento radial del bosque, lo que ha permitido clasificar al arbolado en diferentes estructuras de edades y a determinar las tendencias de crecimiento, lo que, a su vez hace posible implementar un mejor diseño en el aprovechamiento y manejo del bosque (Rojas-García *et al.* 2020). En la Figura 5 se observa un bosque de *Pinus hartwegii* localizado en el Pico de



Figura 5. Bosque de *P. hartwegii* ubicado en el Pico de Tancítaro, Michoacán, el cual se encuentra bajo manejo forestal (Figura: Ulises Manzanilla-Quifiones).

Tancítaro, Michoacán, el cual se encuentra bajo manejo forestal por medio de un ordenamiento de estructura de edades.

La dendrogeomorfología es otra de las ramas de la dendrocronología encargada de estudiar los procesos geomorfológicos presentes en la naturaleza, su aplicación permite a los investigadores conocer la ocurrencia e impacto de eventos geomorfológicos como derrumbes, deslaves, hundimientos, erupciones volcánicas y agrietamientos (Franco-Ramos y Vázquez-Selem 2017). La caída de rocas de los derrumbes y deslaves suelen modificar el crecimiento radial y dejar cicatrices de lesiones en la corteza de los árboles (Figura 6A).

Dendrohidrología, es una rama de la dendrocronología con la cual es factible reconstruir los niveles hídricos de los cuerpos de agua, flujos de corrientes hídricas y escorrentía (Speer 2010). Para su aplicación se requiere de una buena selección de ejemplares, los cuales se encuentren creciendo a las orillas de ríos o lagos (Figura 7).

Dendropirocronología se encarga de estudiar la dinámica ecológica y la ocurrencia de eventos relacionados con la presencia del fuego (Cerano-Paredes *et al.* 2009), por medio de esta subdisciplina, es posible conocer la frecuencia e intensidad de los incendios forestales en los bosques de una determinada región geográfica (Figura 6B), lo que a su vez indica que tal vulnerables son esos ecosistemas a la presencia de la dinámica ecológica del fuego.

Conclusión

Los anillos anuales de crecimiento de las especies arbóreas, principalmente de las coníferas, representan una fuente indirecta de obtención de datos la cual

aporta valiosa información sobre las condiciones dominantes del ambiente de la región geográfica donde crecen los árboles (esto se conoce en informática y en ciencia como proxy (intermediario entre una cosa y otra). En México, los investigadores han aplicado la dendrocronología como una poderosa herramienta, la cual ha aportado datos sumamente relevantes sobre el comportamiento histórico del clima, impacto de fenómenos océano-atmosféricos de circulación global como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), en el diseño e implementación de un mejor manejo forestal del bosque, en la determinación de eventos geomorfológicos como derrumbes, deslaves y erupciones volcánicas, en la reconstrucción de los niveles hídricos de lagos y ríos y en el estudio de la dinámica ecológica de la frecuencia e intensidad de los regímenes de fuego en los bosques de coníferas del país.

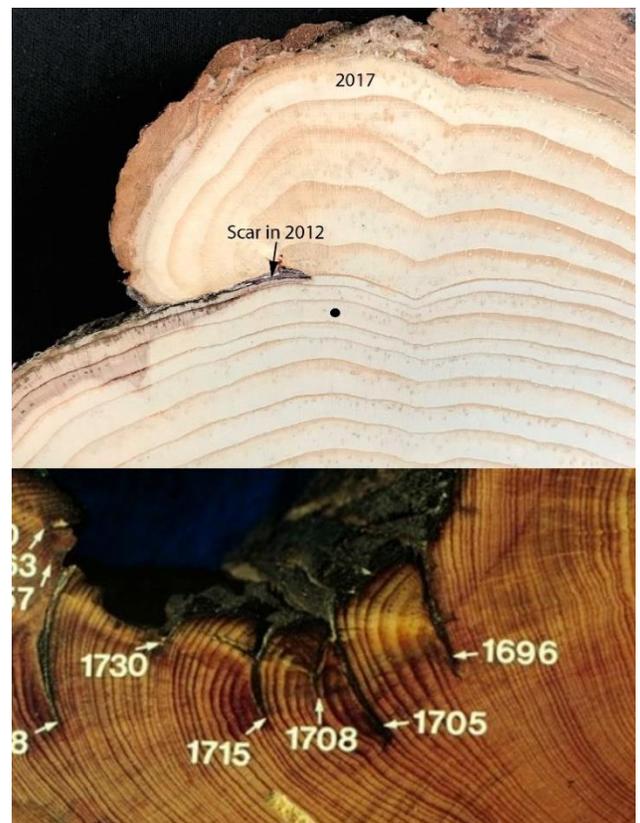


Figura 6. Diferentes tipos de daños registrados en los anillos de crecimiento de la madera **A.** Daños por caídas de rocas en el crecimiento radial anual de *Pinus sp.* **B.** Marcas de cicatrices de incendios forestales registradas en el crecimiento radial anual de *Pinus sp.* (Figuras: A. Franco-Ramos y Vázquez-Selem 2017, B. Cerano-Paredes *et al.* 2009).



Figura 7. Árboles de *Taxodium mucronatum* Ten. (Sabino) creciendo en las orillas del lago de Camécuaro, Michoacán (Fuente: <https://holacarolina.org/leyenda-del-lago-de-camecuaro-municipio-de-tangancicuaro-michoacan/>).

Referencias

- Carlón-Allende T. 2023.** El “lenguaje de los anillos de crecimiento de los árboles”. *Boletín de la SCME* 3(2): 32-41.
- Cerano-Paredes J., Villanueva-Díaz J., Fulé P.Z., Brown P.M., Yocom L.L., Constante-García V. y Estrada-Ávalos J. 2009.** *Interpretación del historial de incendios en bosques mixtos de coníferas*. Primera Edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 59 p.
- Fritts H.C. 1976.** *Tree rings and climate*. Nueva York: Academic Press. 567 p.
- Manzanilla-Quñones U., Aguirre-Calderón O.A., Jiménez-Pérez J. y Villanueva-Díaz J. 2020.** Sensibilidad climática en anchuras de anillos de crecimiento de *Pinus hartwegii*: una especie alpina mexicana con potencial dendrocronológico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91(2020): e913117. Doi: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3117>.
- Manzanilla-Quñones U., Delgado-Valerio P., Car-lón-Allende T. y Molina-Sánchez A. 2023.** Potencial dendrocronológico de *Pinus rzedowskii* Madrigal et Caballero: una especie endémica de Michoacán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(3): e3850. Doi: 10.19136/era.a10n3.3850.
- Morales E.R. 2022.** *Análisis espacio-temporal del estudio de la dendrocronología en México*. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. 118 p.
- Rojas-García F., Gómez-Guerrero A., Gutiérrez-García G., Ángeles-Pérez G., Reyes-Hernández V.J. y De jong B.H.J. 2020.** Aplicaciones de la Dendroecología en el manejo forestal: Una revisión. *Madera y Bosques* 26(3): e2632116. Doi: 10.21829/myb.2020.2632116.
- Speer J.H. 2010.** *Fundamentals of tree ring research*. Tucson, Arizona, USA: University of Arizona Press. 508 p.
- Stahle D.W., Burnette D.J, Díaz J.V., Heim R.R., Fye J.F.K., Paredes J.C., Soto R.A. y Cleaveland M.K. 2011.** Pacific and Atlantic in-

fluences on Mesoamerican climate over the past millennium. *Climate Dynamics* 39(6): 1431-1446. Doi: 10.1007/s00382-011-1205-z.

Franco-Ramos O. y Vázquez-Selem L. 2017.
Trabajo de campo dendrocronológico para estu-

dios de geografía física. Experiencias en los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, 2006-2017. *Investigaciones Geográficas* 94(13). Doi: <https://doi.org/10.14350/ig.59574>.

Desde el Herbario CICY, 16: 268-273 (26-diciembre-2024), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 26 de diciembre de 2024. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensavos.