

<https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2024.05.01>

Versión en español

La dendrocronología en los últimos setenta años en México

Roberto Morales-Estrada¹; Arián Correa-Díaz²; José Villanueva-Díaz³;
Antonio Villanueva-Morales¹; Alejandro Ismael Monterroso-Rivas^{1*}

¹Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Carretera México-
Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Nacional de
Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF).
Av. Progreso, núm. 5, Barrio de Santa Catarina, Coyoacán, Ciudad de México, C. P. 04010, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Margen
derecha Canal de Sacramento km 6.5, Gómez Palacio, Durango, C. P. 35140, México.

Historial del artículo:

Recibido: 26 de septiembre, 2024.

Aceptado: 18 de diciembre, 2024

*Autor de correspondencia:

aimrivas@correo.chapingo.mx

Resumen

El estudio de la dendrocronología se ha intensificado en los últimos años debido a su estrecha relación con la resolución de problemas ambientales. Por ello, el objetivo del presente estudio fue analizar, mediante una revisión bibliográfica exhaustiva (que incluyó motores de búsqueda, sitios web y publicaciones de revistas nacionales e internacionales), el desarrollo de los estudios dendrocronológicos en México. La información obtenida se organizó en una base de datos y se clasificó en nueve categorías para analizar las frecuencias, especies y lugares estudiados. Se identificaron 229 documentos publicados entre 1944 y 2021, con un notable incremento en el periodo 2009 a 2021, en el cual la dendroclimatología emergió como la subdisciplina más estudiada. Se documentaron 429 cronologías diferentes, distribuidas principalmente en la Sierra Madre Occidental. El periodo reconstruido mejor representado fue de 1801 a 2019. Las especies más investigadas fueron *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus hartwegii*. La aplicación más frecuente de esta ciencia ha sido la reconstrucción de la precipitación. Debido a su vasta diversidad, México es un territorio con alto potencial dendrocronológico; sin embargo, es imprescindible extender las fronteras físicas e intelectuales, y ampliar los márgenes espaciales del estudio de esta disciplina en el país.

► **Palabras clave:** anillos de crecimiento, cronologías, dendroclimatología, dendroecología, reconstrucción climática.

Introducción

El desarrollo de los ecosistemas forestales está determinado, principalmente, por factores ambientales. Cuando estos factores se asemejan a las condiciones óptimas, el crecimiento de los árboles es mayor; por el contrario, en condiciones hostiles, su crecimiento es limitado (Villanueva-Díaz et al., 2011). El crecimiento radial de las especies forestales leñosas, en especial las pertenecientes al grupo de las coníferas, propicia la formación de anillos de crecimiento. Estas estructuras anatómicas registran intrínsecamente la variabilidad e influencia temporal de factores como el clima, incendios, plagas, enfermedades, procesos geomorfológicos, competencia, contaminación atmosférica y manejo antró-

pico, entre otros (Franco-Ramos & Vázquez-Selem, 2017). Entre estos factores, el clima es el de mayor influencia en bosques naturales (Rojas-García et al., 2020).

La dendrocronología es la ciencia que estudia la variabilidad temporal de los cambios físicos, estructurales y de composición en los anillos de crecimiento de los árboles y su relación con las condiciones ambientales de los sitios donde se desarrollan. Mediante la aplicación de esta disciplina, es posible reconstruir y estudiar una parte de la historia ambiental bajo la cual se desarrollaron los árboles, ya que permite analizar diversas variables climáticas y procesos ecológicos que abarcan desde cientos hasta miles de años (Douglas, 1941).

La datación de los anillos de crecimiento de especies sensibles a condiciones ambientales específicas se ha consolidado como una herramienta confiable para el análisis histórico de dichas condiciones debido a que ofrece una perspectiva temporal más amplia que los registros instrumentales (Villanueva-Díaz et al., 2002). Dependiendo del enfoque y la aplicación de las series dendrocronológicas, esta ciencia se subdivide en diferentes áreas: dendroclimatología, dendroecología, dendrocronopirología, dendroquímica, dendrogeomorfología, dendrohidrología, dendrovolcanología y dendroarqueología (Amoroso & Suarez, 2015).

En México, el estudio de la dendrocronología comenzó en la década de 1940, con los trabajos realizados por Schulman (1944). A principios de la década de 1960, se generaron nuevas cronologías como parte de la expedición a Casas Grandes en Chihuahua, donde destacó la cronología flotante de 500 años (Bannister & Scott, 1964). En la década de 1970, a través del “Proyecto Mexicano de Anillos de Árboles”, se desarrollaron diversas cronologías (Therrell, 2003), aunque su uso ha sido limitado (Villanueva-Díaz et al., 2011). En ese periodo, Naylor (1971) realizó un estudio preliminar en Oaxaca, pero no tuvo éxito con la generación de cronologías.

A inicios del siglo XXI, el interés global por comprender la variabilidad histórica del clima y de otros factores ambientales que influyen en la dinámica de los bosques (como incendios y fenómenos de circulación atmosférica) impulsó el estudio de la dendrocronología en México. Lo anterior mediante la contribución técnica y económica de organismos internacionales (Villanueva-Díaz et al., 2002). En las últimas dos décadas, el uso de múltiples especies forestales con potencial dendrocronológico bajo diversos enfoques evidencia la viabilidad de México para el desarrollo de esta ciencia (Reyes-Basilio et al., 2020). Estos avances han posicionado al país como uno de los principales líderes en investigación dendrocronológica en América Latina (Fo et al., 2009).

Bajo el contexto anterior, el objetivo de este artículo fue analizar la evolución espacio-temporal del estudio de la dendrocronología en México mediante una revisión bibliográfica exhaustiva y el análisis de productos científicos relevantes. Esto para generar información que proporcione una idea integral de la aplicación de esta ciencia en el país, diagnosticar necesidades y oportunidades de investigación, y proporcionar bases sólidas para la toma de decisiones orientadas al desarrollo de la dendrocronología.

Materiales y métodos

Para el estudio se consideraron publicaciones científicas (artículos científicos), así como literatura gris (libros y capítulos, memorias de congresos y simposios, folletos técnicos y *preprints*) de 1944 a 2021. Los últimos, aunque menos formales, representan aportes relevantes de la comunidad

científica que, directa e indirectamente, se relacionan con el avance de la dendrocronología en México (Montes de Oca-Montano, 2018). La búsqueda y obtención de información se hizo a través de motores de búsqueda especializados como Science Direct, Scopus, Wiley Online Library y Springer; además, se consultaron sitios web como Google Academic, Redalyc, SciELO y PubMed. Se presentó especial atención a los contenidos de las principales revistas nacionales en materia forestal: Revista Mexicana de Ciencias Forestales, Madera y Bosques, Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, Agrociencia e Investigaciones Geográficas, así como a revistas internacionales de alto impacto: Dendrochronologia, Tree-Ring Research, Trees y Forest.

Para la búsqueda, se utilizaron las siguientes palabras clave tanto en español como en inglés: “dendrocronología”, “anillos de crecimiento”, “México”, “dendroclimatología”, “dendroecología”, “crecimiento radial”, “cronologías”, “reconstrucción climática”, “anillos de árboles”, “cicatrices de incendios” y “paleoclimatología”, así como sus combinaciones utilizando el operador lógico AND. Como criterios de inclusión se consideraron todas las publicaciones que hicieran referencia a la dendrocronología en México.

La información recopilada se organizó en una base de datos en el programa Microsoft Excel[®], utilizando macros para semi-automatizar el proceso. Los campos de información correspondieron a dos criterios: documentos y contenido. El primero criterio incluyó un identificador único compuesto por números consecutivos, título, año de publicación, revista, autores e institución de procedencia. Para el contenido de los documentos se consideró el sitio de estudio (entidad, latitud, longitud y altitud), especie estudiada, tipo de vegetación, variable medida en los anillos (ancho de anillo, madera temprana, madera tardía, composición química, cicatrices de incendios o procesos geomórficos, entre otras), amplitud y periodo de la cronología generada, variable reconstruida, y amplitud y periodo de la reconstrucción.

Posteriormente, la información se clasificó en nueve categorías de acuerdo con los análisis de las cronologías de los anillos: dendroclimatología, dendroecología, dendrocronopirología, dendroquímica, dendrogeomorfología, dendrohidrología, dendrovolcanología dendroarqueología y otras (que incluyó revisiones sistemáticas, metaanálisis, sitios aptos para estudios dendrocronológicos y reconstrucción de variables agroalimentarias). Cada categoría se analizó según frecuencias, especies y lugares analizados.

Resultados y discusión

Se identificaron 229 documentos relacionados con la dendrocronología en México. De estos, el 90 % (206) correspondieron a artículos científicos, mientras que los libros o capítulos de libros figuraron con 6.6 % (15), las memorias de eventos de divulgación científica con 3 % (siete) y los *preprints* con 0.4 % (uno).

Los artículos científicos fueron publicados en una amplia variedad de revistas indexadas. Se identificaron 83 revistas diferentes, principalmente extranjeras (74.4 %). Lo anterior refleja la calidad y el rigor científico de la producción en este campo en México, ya que dichos artículos cumplieron con requisitos para posicionar sus resultados en revistas exigentes. Más de la mitad (53.66 %) de los artículos publicados fueron en revistas extranjeras, principalmente norteamericanas (Figura 1). Las revistas nacionales con mayor número de publicaciones fueron: Revista Mexicana de Ciencias Forestales, Madera y Bosques, y Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.

Entre 1944 y 2021, la producción científica sobre dendrocronología en México se concentró en 33 años. La producción media en dicho periodo fue de 2.66 artículos por año (205 artículos en total). Aunque los primeros estudios fueron en la década de 1940 (Schulman, 1944), la percepción inicial de incertidumbre sobre el potencial de México para el desarrollo de esta disciplina derivó en un progreso intermitente y en la generación de un número limitado de cronologías durante el siglo XX (Bannister & Scott, 1964; Villanueva-Díaz et al., 2000; Naylor, 1971). En contraste, durante el siglo XXI se observó un cambio importante en la tendencia de investigación de esta ciencia.

Se identificaron tres periodos de producción científica de dendrocronología en México (Figura 2). El primer periodo (de 1944 a 1998) reveló un desarrollo limitado y productividad baja de la investigación dendrocronológica en el país.

En los 54 años, únicamente se registraron 12 productos científicos (5 % del total). De acuerdo con Villanueva-Díaz et al. (2000), durante dicho periodo se generaron poco más de 40 cronologías.

En el segundo periodo (de 1999 a 2008) se observó una mejora sustancial, con la publicación del 17 % (39) de los 229 productos científicos encontrados. Villanueva-Díaz et al. (2009) clasifican a este periodo como un espacio en el que se robustecieron los conocimientos de la aplicación de la dendrocronología en México. Este resurgimiento estuvo impulsado por cuatro factores: 1) el interés creciente en el ámbito científico sobre elementos climáticos y su variación temporal, fenómenos de circulación atmosférica (Villanueva-Díaz et al., 2002), disponibilidad temporal de los recursos hídricos (Villanueva-Díaz et al., 2007) e influencia de otros factores ambientales sobre los recursos naturales, 2) la creación de un laboratorio de dendrocronología en México, 3) el financiamiento nacional e internacional para proyectos de investigación (Villanueva-Díaz et al., 2008) y 4) la colaboración y soporte técnico de organismos internacionales (Villanueva-Díaz et al., 2011).

En el tercer periodo (de 2009 a 2021) se consolidó el auge de la dendrocronología en México, al publicarse el 77.7 % (178) de los productos científicos considerados en este estudio.

En el análisis temporal se distinguieron nueve categorías o enfoques de investigación. Los resultados destacan la dominancia de estudios centrados en la relación entre el

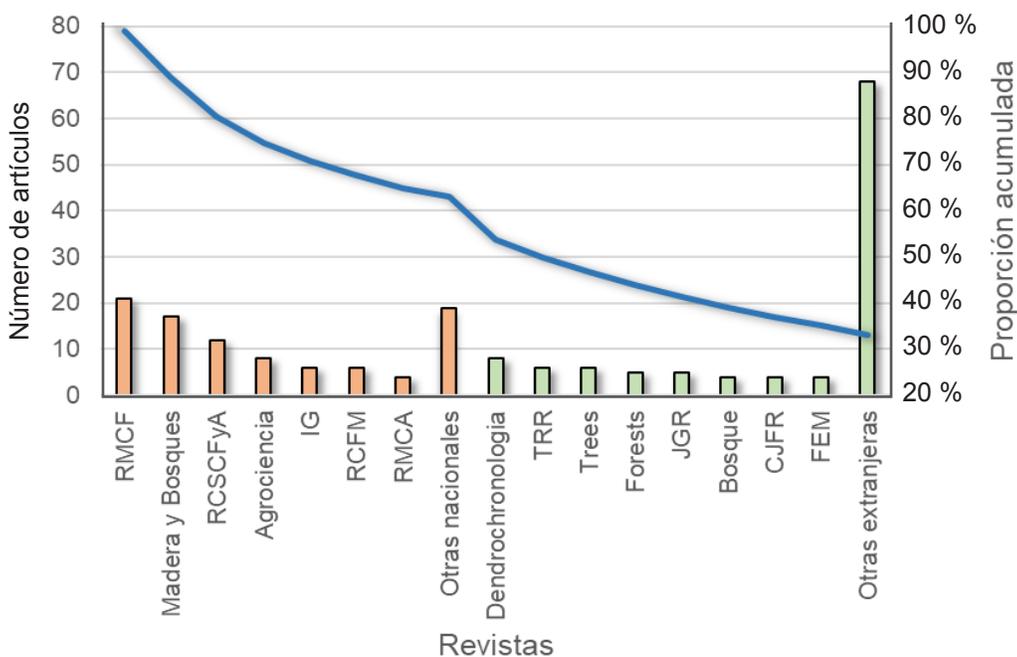


Figura 1. Distribución del número de artículos y revistas nacionales (naranja) y extranjeras (verde) que han publicado investigaciones sobre dendrocronología de México. La línea azul refleja la proporción acumulada. RMCF: Revista Mexicana de Ciencias Forestales; RCSCFyA: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente; IG: Investigaciones Geográficas; RCFM: Revista de Ciencias Forestales en México; RMCA: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas; TRR: Tree-Ring Research; JGR: Journal of Geophysical Research; CJFR: Canadian Journal of Forest Research; FEM: Forest Ecology and Management.

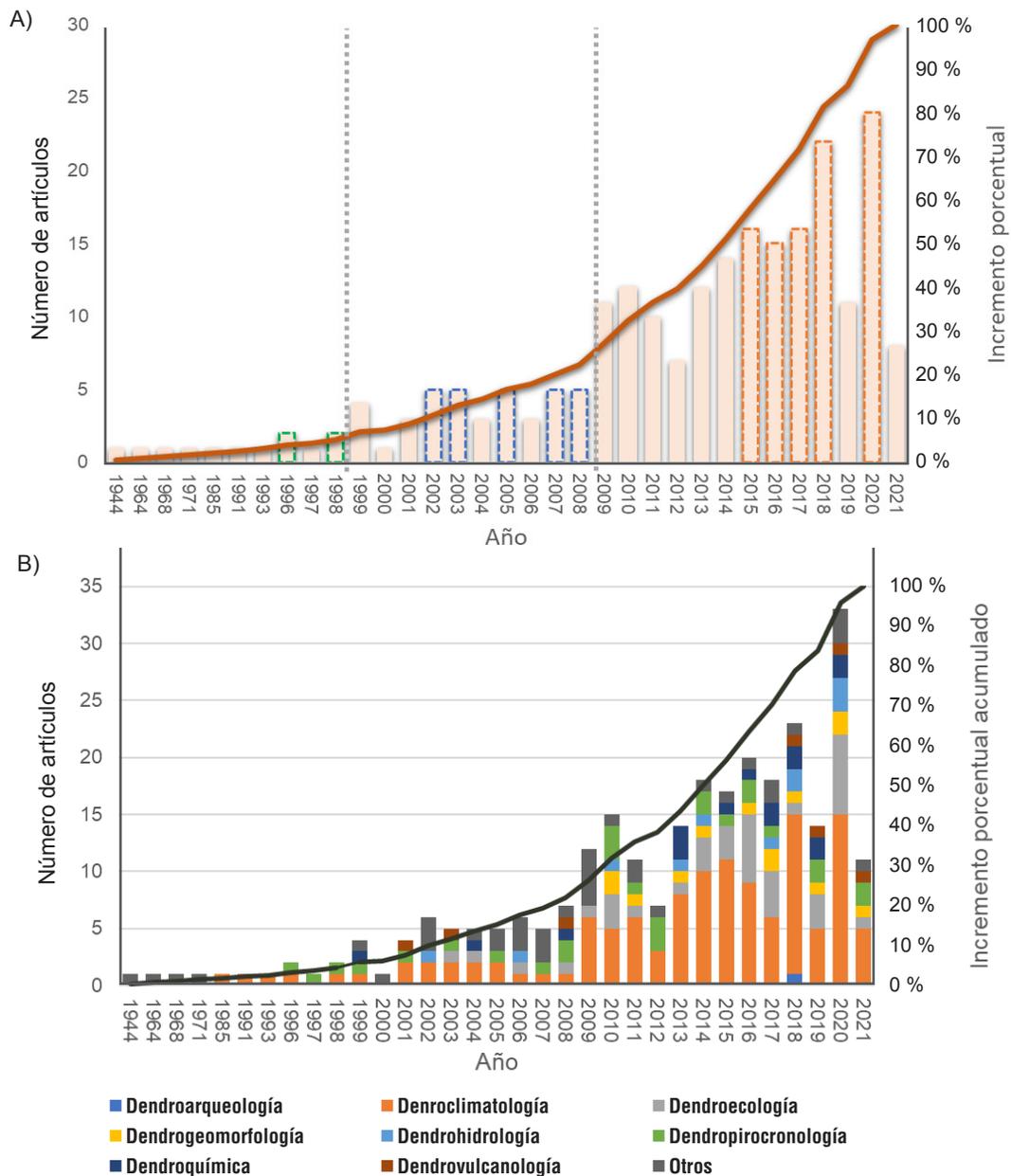


Figura 2. Producción científica relacionada con la dendrocronología en México: A) tres periodos de producción científica (barras resaltadas indican producción sobresaliente) y B) producción de acuerdo con la categoría de dendrocronología.

ancho de los anillos de crecimiento y las variables climáticas. Otros enfoques incluyen investigaciones sobre la influencia de variables ambientales distintas al clima (Grissino-Mayer et al., 2005), el potencial dendrocronológico, la difusión de metodologías y estudios de innovación (Figura 2B).

Dendroclimatología

La dendroclimatología se basa en la capacidad fisiológica de algunas especies arbóreas para registrar la variabilidad climática en sus anillos de crecimiento, lo cual las convierte en auténticas bioestaciones meteorológicas (Cerano-

Paredes et al., 2016, 2021). Esta capacidad fisiológica les permite registrar las condiciones dominantes del clima, así como sus variaciones interanuales a una escala espacial determinada y con resolución estacional (Manzanilla-Quñones et al., 2020). Los métodos dendrocronológicos permiten detectar la relación existente entre el ancho de los anillos de crecimiento y las variables climáticas, lo cual da lugar a la dendroclimatología. Esta subdisciplina es importante para el análisis de la variabilidad climática global, la influencia de fenómenos atmosféricos de circulación general y sus efectos sobre los recursos naturales (Cerano-Paredes et al., 2011; Gómez-Guerrero et al., 2013).

En México, la dendroclimatología representa el enfoque más desarrollado dentro de esta ciencia, con el 53 % (122) de los productos científicos analizados. Las investigaciones se concentran principalmente en el norte y centro del país, y han permitido evaluar cómo las variables climáticas influyen en el desarrollo de los bosques en estas regiones. Además, han hecho posible la reconstrucción de variables climáticas, como la de precipitación estacional (Cardoza-Martínez et al., 2018; Cerano-Paredes et al., 2011, 2021; Chávez-Gándara et al., 2017; Díaz-Ramírez et al., 2016; Irby et al., 2013; Manzanilla-Quñones et al., 2018; Villanueva-Díaz et al., 2007, 2008, 2009).

Otras variables climáticas también han mostrado relación con el desarrollo de los anillos de crecimiento, como la temperatura (Villanueva-Díaz et al., 2020) y la evaporación (Pompa-García et al., 2013). Esta relación ha facilitado la identificación de eventos extremos, como la ocurrencia de sequías (Martínez-Sifuentes et al., 2019).

La influencia que ejercen los patrones de circulación atmosférica sobre la variabilidad climática de México ha generado gran interés (Pompa-García et al., 2015). Este tipo de estudios dendroclimáticos han permitido el análisis de fenómenos como El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) (Cerano-Paredes et al., 2011; Pompa-García et al., 2013, 2015). Asimismo, se ha explorado la relación entre eventos hostiles y la variabilidad climática (Burns et al., 2014). En términos generales, la aplicación de la dendroclimatología ha desencadenado la generación de una amplia red de cronologías, y ha permitido evaluar el potencial dendrocronológico de una gran variedad de especies (Acosta-Hernández et al., 2020).

Dendroecología

Los árboles pueden registrar algunos procesos ecológicos, y la dendroecología, como rama especializada de la dendrocronología, se centra en su estudio (Rojas-García et al., 2020). Esta disciplina ha sido empelada para identificar la ocurrencia temporal de procesos naturales que influyen en el desarrollo de los anillos de crecimiento, con lo cual ha sido posible determinar la importancia de estos procesos para el desarrollo de los ecosistemas forestales. En México, la dendroecología ha tenido diversas aplicaciones. Mediante el análisis estructural de los rodales y la dendrocronología se ha determinado la edad de los bosques (Villanueva-Díaz et al., 2010), las cantidades de biomasa (Correa Díaz et al., 2019, 2020; Martínez-Sifuentes et al., 2019), la productividad forestal (Arreola-Ortiz & Nívar-Cháidez, 2010; Castruita-Esparza et al., 2016; Gómez-Guerrero et al., 2015; Reyes-Cortés et al., 2020) y la capacidad de los bosques para capturar carbono (García-Bedolla et al., 2015; Reyes-Basilio et al., 2020).

Otras orientaciones están relacionadas con la evaluación de los efectos de fenómenos climáticos extremos sobre el desarrollo de los recursos naturales (Acosta-Hernández et

al., 2020; Pacheco et al., 2020; Pompa-García et al., 2017; Rodríguez-Ramírez et al., 2018), el impacto de las plagas sobre el crecimiento radial de los árboles (López-Sánchez et al., 2017), y el análisis de la anatomía y densidad de la madera (Morgado-González et al., 2019; Rodríguez-Ramírez et al., 2020).

Dendrocronopirología

El fuego cumple una función ecológica imprescindible para algunos ecosistemas forestales, y sus beneficios han sido reconocidos por la comunidad científica. La dendrocronopirología brinda herramientas para la datación de los incendios mediante el análisis de las cicatrices que deja el fuego en los anillos de crecimiento. Esto permite la estimación de parámetros relacionados con los regímenes históricos de incendios (Cerano-Paredes et al., 2019) y proporciona una base sólida para detectar perturbaciones antrópicas, así como para fundamentar estrategias de manejo del fuego en bosques (Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019).

En México, esta subdisciplina es cada vez más frecuente, aunque los estudios realizados aún son escasos en comparación con la extensa superficie boscosa del país (Cerano-Paredes et al., 2021; Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019). En la mayoría de los estudios se ha identificado la modificación de los regímenes de incendios, al señalar periodos de exclusión, especialmente en las últimas décadas (Cerano-Paredes et al., 2021; Fulé & Covington, 1999; Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019; Yocom et al., 2014). Estas modificaciones, atribuidas principalmente a la actividad humana, han generado preocupación a la comunidad científica, ya que la supresión prolongada puede aumentar el riesgo de eventos futuros más severos debido a la acumulación de materiales combustibles; además, en muchos bosques, la presencia de fuego es parte de su ecología (Cerano-Paredes et al., 2021). En diversos estudios se ha recomendado incorporar prácticas de manejo del fuego, como las quemas preinscritas, para reducir los combustibles y el riesgo de incendios severos (Cerano-Paredes et al., 2021; Ponce-Calderón et al., 2021).

Algunos trabajos, como el de Skinner et al. (2008), han explorado la posible correlación entre el clima y la ocurrencia de incendios. No obstante, Fulé y Covington (1999) señalan que dicha relación es débil. Estas diferencias se pueden atribuir a las condiciones particulares de los sitios de estudio (ubicación geográfica, topografía, tipo de vegetación, entre otros). Adicionalmente, Stephens et al. (2010) analizaron la formación de cicatrices generadas por incendios y encontraron que solo una proporción pequeña de los árboles presentó cicatrices.

Dendroquímica

Los árboles pueden absorber componentes químicos presentes en el agua, el suelo y el aire. La variación en los niveles de contaminación o en la composición química

de cualquiera de estos medios se puede reflejar en el contenido químico de los anillos de crecimiento (Reyes-Camarillo et al., 2020). A través del análisis dendrocronológico, es posible determinar la variabilidad temporal del contenido químico de los anillos de crecimiento. La dendroquímica es la subdisciplina que, con apoyo de métodos químicos, permite evaluar la respuesta fisiológica de los árboles ante la variabilidad de elementos químicos (Correa-Díaz et al., 2020; Gómez-Guerrero et al., 2013).

En México, la dendroquímica ha recibido poca atención en los últimos años. Los estudios se han centrado en tres enfoques: 1) análisis de isótopos estables y fisiología del arbolado (Beramendi-Orosco et al., 2018; Correa-Díaz et al., 2020; Gómez-Guerrero et al., 2013; Pacheco et al., 2020), 2) impacto de la contaminación ambiental en la concentración química de los anillos (Flores et al., 2017; Morton-Bermea et al., 2016) y 3) determinación de la composición de elementos químicos (Sheppard et al., 2008).

Dendrogeomorfología

En áreas montañosas, caracterizadas por presentar laderas inclinadas, son comunes los movimientos masivos de material rocoso y edáfico, favorecidos por la gravedad y factores geológicos, climáticos y antrópicos. Estos procesos pueden ocasionar daños y remoción de masas forestales. La caída de rocas, deslizamientos y flujos de escombros pueden causar alteraciones en los árboles, las cuales se pueden expresar como cicatrices, reducción abrupta del crecimiento, crecimiento excéntrico y conductos de resina traumáticos. Cada alteración puede ser datada a través del análisis de los anillos de crecimiento, lo que facilita la reconstrucción de procesos geomorfológicos pasados (Stoffel et al., 2011).

En las montañas de México, especialmente en la Sierra Transversal, se han reconstruido flujos de escombros, avenidas torrenciales (Franco-Ramos et al., 2019; Martínez-Sifuentes et al., 2019) y lahares (Bollschweiler et al., 2010; Franco-Ramos et al., 2016). Adicionalmente, la determinación de la edad de los árboles que habitan en superficies geomorfológicas recién formadas ha permitido estimar la edad mínima de estas estructuras (Franco-Ramos & Vázquez-Selem, 2017).

Dendrohidrología

La dendrohidrología es utilizada como una herramienta fiable para reconstruir caudales de ríos, niveles freáticos, cambios en los niveles de lagos e inundaciones. Mediante el análisis de los anillos de crecimiento, es posible generar reconstrucciones dendrohidrológicas que proporcionen información sobre la disponibilidad de recursos hídricos (Villanueva-Díaz et al., 2018). En México, esta subdisciplina se ha aplicado para la reconstrucción del volumen de caudales, niveles de aforo de cuerpos de agua y escurrimientos (Therrell et al., 2006; Villanueva-Díaz et al., 2020).

Dendrovolcanología

La emisión de polvos y gases derivados de las erupciones volcánicas puede ocasionar alteraciones en las condiciones ambientales regionales. Cuando los árboles quedan parcial o completamente cubiertos por ceniza volcánica pueden sucumbir o registrar cambios abruptos en su desarrollo, como la supresión del crecimiento de sus anillos (Biondi et al., 2003).

El análisis dendrocronológico permite reconstruir eventos eruptivos y evaluar sus efectos sobre los ecosistemas forestales (Torbenonson, 2015), al vincular las erupciones volcánicas con los anillos de crecimiento. Sin embargo, para los estudios de dendrovolcanología, es fundamental separar las señales de estrés climático de las volcánicas (Biondi et al., 2003).

En México, la dendrovolcanología ha cobrado relevancia mediante el análisis de los efectos de los volcanes del Eje Neovolcánico Transversal sobre los árboles de la región. Estos estudios han permitido reconstruir eventos eruptivos (Alcalá-Reygosa et al., 2018; Alfaro-Sánchez et al., 2020; Sheppard et al., 2008) y rastrear flujos piroclásticos (Franco-Ramos et al., 2019). Además, se ha comprobado que las erupciones volcánicas originan cambios en la composición química de los anillos de crecimiento; por ello, es común que estos estudios se complementen con análisis dendroquímicos (Alfaro-Sánchez et al., 2020; Carlón-Allende et al., 2015).

Dendroarqueología

En el pasado, la madera desempeñó un papel fundamental en la construcción, especialmente a partir de especies que forman anillos de crecimiento. Esta característica ha permitido que la dendrocronología sea utilizada en sitios arqueológicos con presencia de madera antigua, para la datación de edificios históricos y otras aplicaciones arqueológicas (Bernabei & Macchioni, 2012). Aunque esta herramienta es útil para ampliar la extensión temporal de las cronologías e inferir eventos históricos, la aplicación de la dendroarqueología en México ha tenido poco éxito. Villanueva-Díaz et al. (2011) señalan que hasta inicios de la segunda década del siglo XXI únicamente se tenía un ejemplo exitoso de la aplicación de esta subdisciplina en ruinas prehistóricas de Casas Grandes, Chihuahua. Adicionalmente, con ayuda del método "Wiggle matching" con radiocarbono, se logró datar madera antigua obtenida en dos sitios del Valle de Malpaso, Zacatecas (Turkon et al., 2018).

Otras categorías

Se incluyen estudios enfocados en la revisión sistemática y metaanálisis específicos para México (Acosta-Hernández et al., 2017; Villanueva-Díaz et al., 2000), así como revisiones sobre el desarrollo de la dendrocronología en una región más amplia (Bannister & Scott, 1964; Giraldo-Jiménez,

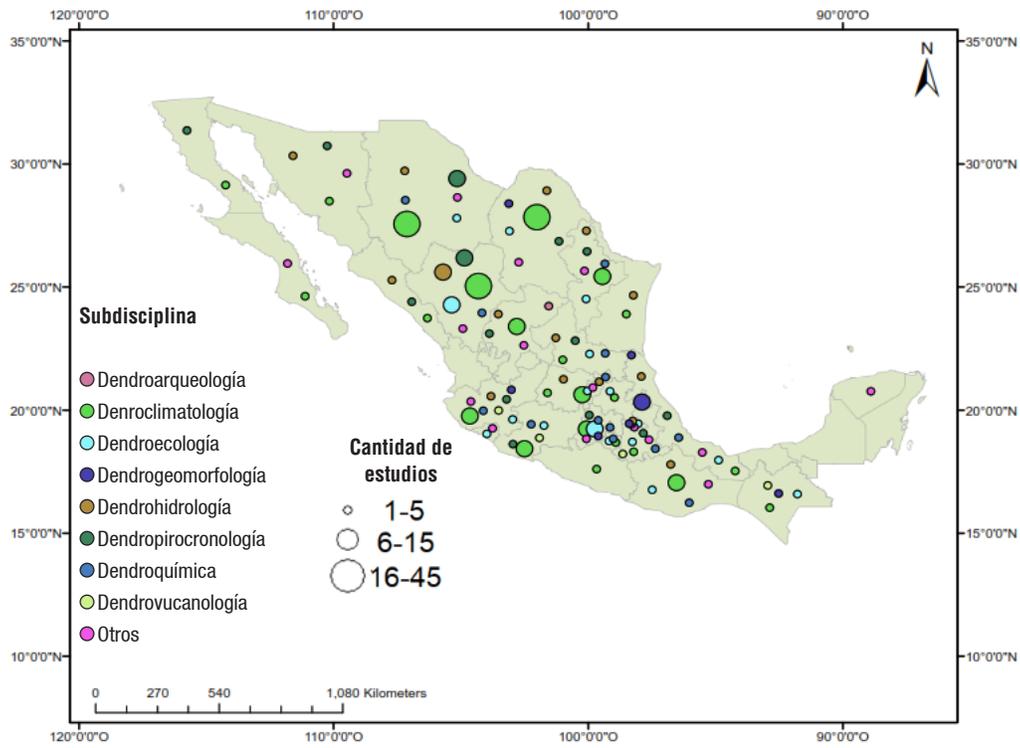


Figura 3. Distribución espacial de las subdisciplinas de la dendrocronología en México.

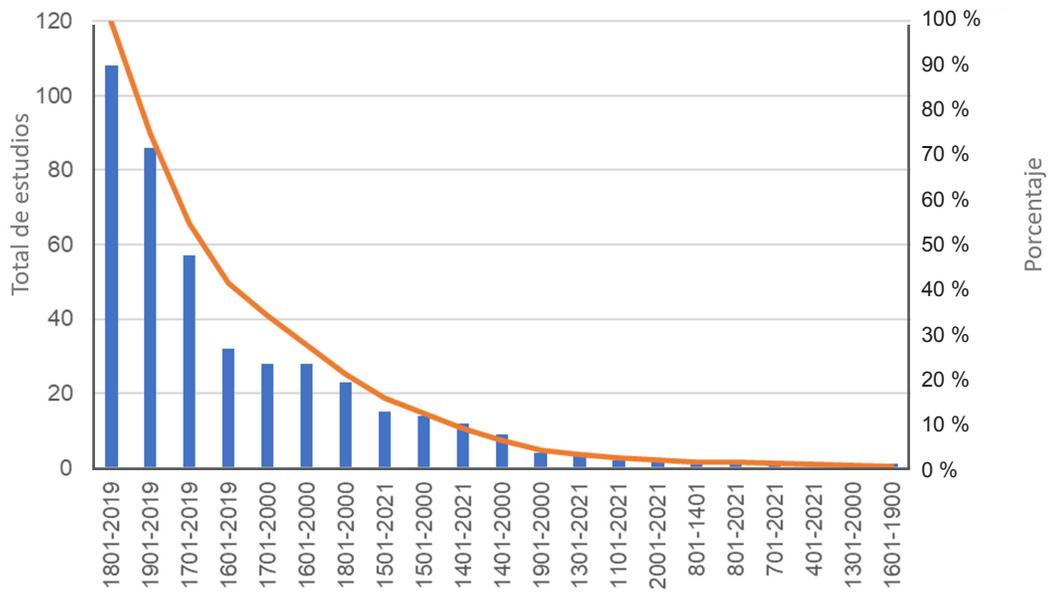


Figura 4. Amplitud (periodo de años) de las cronologías de anillos realizadas en México.

2011; Rojas-García et al., 2020; Schulman, 1944). Adicionalmente, se han identificado sitios aptos para estudios dendrocronológicos (Carlón-Allende et al., 2015) y para la reconstrucción de variables agroalimentarias (Therrell et al., 2006).

La Figura 3 muestra la distribución espacial y el volumen de estudios relacionados con las diferentes categorías de dendrocronología. La mayoría de las investigaciones se han realizado en la parte centro y norte del país, con mayor incidencia en esta última por el predominio de estudios dendroclimáticos, tanto en términos de volumen como de aplicabilidad espacial.

Se identificaron 429 cronologías distribuidas principalmente en tres provincias fisiográficas: Sierra Madre Occidental (44.76 %), Eje Neovolcánico (22.38 %) y Sierra Madre Oriental (19.58 %). El 13.28 % restante se distribuye en otras provincias del país. Se han elaborado cronologías en 28 estados de la República Mexicana, donde destacan Durango, Chihuahua y Coahuila con poco más de la mitad (51 %). En cuanto a las especies utilizadas, se reportan 53 diferentes, la mayoría pertenecientes al grupo de coníferas (84.9 %), específicamente al género *Pinus* (60.38 %). Únicamente ocho especies latifoliadas han sido utilizadas para la elaboración de cronologías en México, y solo tres especies dominan por su uso: *Pseudotsuga menziesii* (23.78 %), *Pinus hartwegii* (10.26 %) y *Taxodium mucronatum* (8.86 %).

Las cronologías abarcan desde el año 467 hasta 2019; es decir, 1537 años. La cronología más extensa es la elaborada a partir de anillos de crecimiento de *Taxodium mucronatum* en los Peroles, San Luis Potosí (Villanueva-Díaz et al., 2007). Sin embargo, debido a que la mayoría de las cronologías se concentran entre 1801 y 2019, este periodo es el mejor representado (Figura 4). En México, la precipitación es la variable más estrechamente relacionada con la variabilidad de los anillos de crecimiento, por ende, es la variable más reconstruida.

Conclusiones

Los estudios dendrocronológicos en México han experimentado un notable crecimiento desde 1999, al explorar con éxito diversos enfoques. Sin embargo, persiste dominancia en las variables climáticas como principales factores de variabilidad en el ancho de los anillos de crecimiento. Otros enfoques de investigación en dendrocronología significan oportunidades para nuevos estudios en otras regiones del país, particularmente en el sur.

Especies latifoliadas con potencial dendrocronológico requieren ser estudiadas con mayor profundidad, particularmente aquellas presentes en ambientes tropicales, donde la estacionalidad climática es menos evidente. La inmensa diversidad que presentan los ecosistemas forestales de

México ofrece un área de oportunidad para la expansión del conocimiento en esta área.

La dendrocronología en México tiene gran potencial para desarrollarse. Futuros estudios se podrían concentrar en comparar a nivel internacional el número de estudios y las especies analizadas. Es imprescindible extender las fronteras físicas e intelectuales, así como ampliar los márgenes espaciales del estudio de esta ciencia en el país.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor para realizar sus estudios de posgrado, así como a los revisores anónimos.

Referencias

- Acosta-Hernández, A. C., González-Cásares, M., Zúñiga-Vásquez, J. M., Hernández-Díaz, J. C., Goche-Telles, J. R., Prieto-Ruiz, J. Á., & Nájera-Luna, J. A. (2020). How drought drives seasonal radial growth in *Pinus strobiformis* from Northern Mexico. In M. Pompa-García (Ed.), *Latin American Dendroecology* (pp. 21-36). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36930-9_2
- Acosta-Hernández, A., Pompa-García, M., & Camarero, J. (2017). An updated review of dendrochronological investigations in Mexico, a megadiverse country with a high potential for tree-ring sciences. *Forests*, 8(5), 160. <https://doi.org/10.3390/f8050160>
- Alcalá-Reygosa, J., Palacios, D., Schimmelpfennig, I., Vázquez-Selem, L., García-Sancho, L., Franco-Ramos, O., Villanueva, J., Zamorano, J. J., Aumaitre, G., Bourlès, D., & Keddadouche, K. (2018). Dating late Holocene lava flows in Pico de Orizaba (Mexico) by means of *in situ*-produced cosmogenic ³⁶Cl, lichenometry and dendrochronology. *Quaternary Geochronology*, 47, 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2018.05.011>
- Alfaro-Sánchez, R., Camarero, J. J., Querejeta, J. I., Sagra, J., Moya, D., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2020). Volcanic activity signals in tree-rings at the treeline of the Popocatepetl, Mexico. *Dendrochronologia*, 59, 125663. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125663>
- Amoroso, M., & Suarez, M. L. (2015). La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la dendroecología en hispanoamérica. *Ecosistemas*, 24(2), 1-6. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-2.01>
- Arreola-Ortiz, M. R., & Nívar-Cháidez, J. J. (2010). Análisis de sequías y productividad con cronologías de *Pseudotsuga menziesii* Rob. & Fern., y su asociación con El Niño en el nordeste de México. *Investigaciones Geográficas*, 71, 7-20. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112010000100002
- Bannister, B., & Scott, S. D. (1964). Dendrochronology in Mexico. *Laboratory of Tree-Ring Research Archives. The University of Arizona*. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/303005>
- Beramendi-Orosco, L. E., Johnson, K. R., Noronha, A. L., González-Hernández, G., & Villanueva-Díaz, J. (2018). High precision

- radiocarbon concentrations in tree rings from Northeastern Mexico: A new record with annual resolution for dating the recent past. *Quaternary Geochronology*, 48, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2018.07.007>
- Bernabei, M., & Macchioni, N. (2012). La datación dendrocronológica en el estudio de los edificios históricos. *Loggia, Arquitectura & Restauración*, 24-25, 104. <https://doi.org/10.4995/loggia.2012.3003>
- Biondi, F., Galindo-Estrada, I., Gavilanes-Ruiz, J. C., & Elizalde-Torres, A. (2003). Tree growth response to the 1913 eruption of Volcán de Fuego de Colima, Mexico. *Quaternary Research*, 59(3), 293-299. [https://doi.org/10.1016/S0033-5894\(03\)00034-6](https://doi.org/10.1016/S0033-5894(03)00034-6)
- Bollscheiwer, M., Stoffel, M., Vázquez-Selem, L., & Palacios, D. (2010). Tree-ring reconstruction of past lahar activity at Popocatepetl volcano, Mexico. *The Holocene*, 20(2), 10. <https://doi.org/10.1177/0959683609350394>
- Burns, J. N., Acuna-Soto, R., & Stahle, D. W. (2014). Drought and epidemic typhus, central Mexico, 1655-1918. *Emerging Infectious Diseases*, 20(3), 442-447. <https://doi.org/10.3201/eid2003.131366>
- Cardoza-Martínez, G. F., Cerano-Paredes, J., Villanueva Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Guerra-de la Cruz, V., & Estrada-Ávalos, J. (2018). Reconstrucción de la precipitación anual para la región oriental del estado de Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(23), 110-127. <https://doi.org/10.29298/rmcfv5i23.345>
- Carlón-Allende, T., Mendoza, M. E., Villanueva-Díaz, J., & Pérez-Salicrup, D. R. (2015). Análisis espacial del paisaje como base para muestreos dendrocronológicos: El caso de la Reserva de la Biosfera. *Madera y Bosques*, 21(2), 11-22. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000200001
- Castruita-Esparza, L. U., Correa-Díaz, A., Gómez-Guerrero, A., Villanueva-Díaz, J., Ramírez-Guzmán, M. E., Velázquez-Martínez, A., & Ángeles-Pérez, G. (2016). Basal area increment series of dominant trees of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco show periodicity according to global climate patterns. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 379-397. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.10.048>
- Cerano-Paredes, J., Rodríguez-Trejo, D. A., Iniguez, J. M., Cervantes-Martínez, R., Villanueva-Díaz, J., & Franco-Ramos, O. (2021). Fire history (1896-2013) in an *Abies religiosa* forest in the Sierra Norte of Puebla, Mexico. *Forests*, 12(6), 13. <https://doi.org/10.3390/f12060700>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R. D., Cornejo-Oviedo, E. H., Sánchez-Cohen, I., & Constante-García, V. (2011). Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4), 33-48. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i4.599>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Guerra-de la Cruz, V., & Fulé, P. Z. (2016). Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de *Pinus hartwegii* al norte del estado de Puebla, México. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 389-399. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000200017>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Magaña-Rueda, V. O., Constante-García, V., Esquivel-Arriaga, G., & Valdez-Cepeda, R. D. (2019). Climatic influence on fire regime (1700 to 2008) in the Nazas watershed, Durango, Mexico. *Fire Ecology*, 15(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s42408-018-0020-x>
- Chávez-Gándara, M. P., Cerano-Paredes, J., Nájera-Luna, J. A., Pereda-Breceda, V., Esquivel-Arriaga, G., Cervantes-Martínez, R., Cambrón-Sandoval, V. H., Cruz-Cobos, F., & Corral-Rivas, S. (2017). Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera con base en anillos de crecimiento de árboles para la región de San Dimas, Durango, México. *Bosque (Valdivia)*, 38(2), 387-399. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000200016>
- Correa-Díaz, A., Gómez-Guerrero, A., Vargas-Hernández, J. J., Rozenberg, P., & Horwath, W. R. (2020). Long-term wood micro-density variation in alpine forests at central México and their spatial links with remotely sensed information. *Forests*, 11(4), 452. <https://doi.org/10.3390/f11040452>
- Correa-Díaz, A., Silva, L. C., Horwath, W. R., Gómez-Guerrero, A., Vargas-Hernández, J., Villanueva-Díaz, J., Velázquez-Martínez, A., & Suárez-Espinoza, J. (2019). Linking remote sensing and dendrochronology to quantify climate-induced shifts in high-elevation forests over space and time. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124(1), 166-183. <https://doi.org/10.1029/2018JG004687>
- Díaz-Ramírez, B., Villanueva-Díaz, J., & Cerano-Paredes, J. (2016). Reconstrucción de la precipitación estacional con anillos de crecimiento para la región hidrológica Presidio-San Pedro. *Madera y Bosques*, 22(1), 11-123. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221480>
- Douglas, A. E. (1941). Crossdating in Dendrochronology. *Journal of Forestry*, 39, 825-831. <https://www.ltr.arizona.edu/~ellisqm/outgoing/dendroecology2014/readings/douglass1941.pdf>
- Flores, J. A., Solís, C., Huerta, A., Ortiz, M. E., Rodríguez-Ceja, M. G., Villanueva, J., & Chávez, E. (2017). Historic binacle of $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ concentration in Mexico City. *Physics Procedia*, 90, 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2017.09.007>
- Fo, M. T., Roig, F. A., & Pollito, P. A. (2009). Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecología en Bolivia*, 44(2), 73-82. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282009000200001
- Franco-Ramos, O., Castillo, M., & Muñoz-Salinas, E. (2016). Using tree-ring analysis to evaluate intra-eruptive lahar activity in the Nexpayantla Gorge, Popocatepetl volcano (central Mexico). *CATENA*, 147, 205-215. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.045>
- Franco-Ramos, O., Stoffel, M., & Ballesteros-Cánovas, J. A. (2019). Reconstruction of debris-flow activity in a temperate mountain forest catchment of central Mexico. *Journal of Mountain Science*, 16(9), 2096-2109. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5496-6>
- Franco-Ramos, O., & Vázquez-Selem, L. (2017). Trabajo de campo dendrocronológico para estudios de geografía física. Experiencias en los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, 2006-2017. *Investigaciones Geográficas*, 94, 13. <https://doi.org/10.14350/rig.59574>
- Fulé, P. Z., & Covington, W. W. (1999). Fire regime changes in La Michilía Biosphere Reserve, Durango, Mexico. *Conservation Biology*, 13(3), 640-652.

- García-Bedolla, A., Aguilar-Cumplido, E., Pompa-García, M., Hernández-Díaz, J. C., & Yerena-Yamalliel, J. I. (2015). Captura de carbono en *Pinus cembroides* Zucc., medida a partir de anillos de crecimiento. In F. Paz-Pellat, J. Wong-González, & R. Torres-Alamilla (Eds.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México*. Programa Mexicano del Carbono, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C. y Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Giraldo-Jiménez, J. A. (2011). Dendrocronología en el trópico: Aplicaciones actuales y potenciales. *Colombia Forestal*, 14(1), 97-111. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2011.1.a08>
- Gómez-Guerrero, A., Martínez-Molina, Martínez-Trinidad, T., Velázquez-Martínez, A., Sardiñas-Gómez, O., Rivera, C., & Toruño, P. J. (2015). Índices de anillos de crecimiento en dos coníferas del Centro de México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1), 134-148. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2146>
- Gómez-Guerrero, A., Silva, C. R., Barrera-Reyes, M., Kishchuk, B., Velázquez-Martínez, A., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., & Horwath, W. R. (2013). Growth decline and divergent tree ring isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) contradict predictions of CO_2 stimulation in high altitudinal forests. *Global Change Biology*, 19(6), 1748-1758. <https://doi.org/10.1111/gcb.12170>
- Grissino-Mayer, H. D., Deweese, G. G., & Williams, D. A. (2005). Tree-ring dating of the Karr-Koussevitzky double bass: A case study in Dendromusicology. *Tree-Ring Research*, 61(2), 77-86. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-61.2.77>
- Irby, C. M., Fulé, P. Z., Yocom, L. L., & Villanueva-Díaz, J. (2013). Reconstrucción dendrocronológica de patrones de precipitación de largo plazo en el Parque Nacional de Basaseachi, Chihuahua, México. *Madera y Bosques*, 19(1), 93-105. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61727444007.pdf>
- López-Sánchez, J. Á., Méndez-González, J., Zermeño-González, A., Cerano-Paredes, J., & García-Aranda, M. A. (2017). Impacto de descortezadores en el incremento radial de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(41), 82-108. <https://doi.org/10.29298/rmcfv8i41.27>
- Manzanilla-Quñones, U., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., & Villanueva-Díaz, J. (2020). Sensibilidad climática en anchuras de anillos de crecimiento de *Pinus hartwegii*: Una especie alpina mexicana con potencial dendroclimático. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, 1-15. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3117>
- Manzanilla-Quñones, U., Ortega-Rodríguez, J. M., & Amador-García, A. (2018). Reconstrucción de temperatura y precipitación en la cuenca del lago de Cuitzeo, México. *Mitigación del Daño Ambiental, Agroalimentario y Forestal de México*, 4(4), 59-74.
- Martínez-Sifuentes, A. R., Villanueva-Díaz, J., Estrada-Ávalos, J., & Castruita-Esparza, U. (2019). Reconstrucción de sequías y asociación climática en la cuenca del Río Conchos, Chihuahua. *Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje*, 1-20. <https://www.riego.mx/congresos/comeii2019/docs/ponencias/extenso/COMEII-19039.pdf>
- Montes de Oca-Montano, J. (2018). La literatura gris cambia de color: Un enfoque desde los problemas sociales de la ciencia y la tecnología. *MediSur*, 16(3), 424-436. <https://www.redalyc.org/journal/1800/180061648011/html/>
- Morgado-González, G., Gómez-Guerrero, A., Villanueva-Díaz, J., Terrazas, T., Ramírez-Herrera, C., & Hernández-de la Rosa, P. (2019). Densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lind. en dos niveles altitudinales y de exposición. *Agrociencia*, 53(4), 645-660. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1834>
- Morton-Bermea, O., Beramendi-Orosco, L., Martínez-Reyes, Á., Hernández-Álvarez, E., & González-Hernández, G. (2016). Increase in platinum group elements in Mexico City as revealed from growth rings of *Taxodium mucronatum* Ten. *Environmental Geochemistry and Health*, 38(1), 195-202. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9703-2>
- Naylor, T. H. (1971). Dendrochronology in Oaxaca, Mexico: A preliminary study. *Tree-Ring Bulletin*, 31, 25-29.
- Pacheco, A., Camarero, J. J., Pompa-García, M., Battipaglia, G., Voltas, J., & Carrer, M. (2020). Growth, wood anatomy and stable isotopes show species-specific couplings in three Mexican conifers inhabiting drought-prone areas. *Science of The Total Environment*, 698, 134055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134055>
- Pompa-García, M., Cerano-Paredes, J., & Fulé, P. Z. (2013). Variation in radial growth of *Pinus cooperi* in response to climatic signals across an elevational gradient. *Dendrochronologia*, 31(3), 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2013.05.003>
- Pompa-García, M., González-Cásares, M., Acosta-Hernández, A., Camarero, J., & Rodríguez-Catón, M. (2017). Drought influence over radial growth of Mexican conifers inhabiting mesic and xeric sites. *Forests*, 8(5), 175. <https://doi.org/10.3390/f8050175>
- Pompa-García, M., Miranda-Aragón, L., & Aguirre-Salado, C. A. (2015). Tree growth response to ENSO in Durango, Mexico. *International Journal of Biometeorology*, 59(1), 89-97. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0828-2>
- Ponce-Calderón, L., Rodríguez-Trejo, D., Villanueva-Díaz, J., Bilbao, B., Álvarez-Gordillo, G., & Vera-Cortés, G. (2021). Historical fire ecology and its effect on vegetation dynamics of the Lagunas de Montebello National Park, Chiapas, México. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 14(6), 548-559. <https://doi.org/10.3832/ifor3682-014>
- Reyes-Basilio, I. B., Acosta-Hernández, A. C., González-Cásares, M., & Pompa-García, M. (2020). Perspectivas de los anillos de crecimiento para estimación potencial de carbono en México. *Madera y Bosques*, 26(2), e2632112. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632112>
- Reyes-Camarillo, F., Pérez-Evangelista, E., Villanueva-Díaz, J., Pulido-Machado, A., & Ramos-Cruz, C. M. (2020). La dendroquímica como herramienta para la determinación y análisis de metales pesados. *Ciencia e Innovación*.
- Reyes-Cortés, L. M., Vargas-Hernández, J. J., Aldrete, A., Gómez-Guerrero, A., & Honorato-Salazar, J. A. (2020). Radial growth in *Pinus patula* Schltdl. & Cham. And its relationship with growing space and climatic factors. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(2), 157-172. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.04.036>

- Rodríguez-Ramírez, E. C., Luna-Vega, I., & Rozas, V. (2018). Tree-ring research of Mexican beech (*Fagus grandifolia* subsp. *Mexicana*) a relict tree endemic to eastern Mexico. *Tree-Ring Research*, 74(1), 94-107. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-74.1.94>
- Rodríguez-Ramírez, E. C., Valdez-Nieto, J. A., Vázquez-García, J. A., Dieringer, G., & Luna-Vega, I. (2020). Plastic responses of *Magnolia schiedeana* Schltdl., a relict-endangered Mexican cloud forest tree, to climatic events: Evidences from leaf venation and wood vessel anatomy. *Forests*, 11(7), 737. <https://doi.org/10.3390/f11070737>
- Rojas-García, F., Gómez-Guerrero, A., Gutiérrez-García, G., Ángeles-Pérez, G., Reyes-Hernández, V. J., & de Jong, B. H. J. (2020). Aplicaciones de la dendroecología en el manejo forestal: Una revisión. *Madera y Bosques*, 26(3), e2632116. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632116>
- Sáenz-Ceja, J. E., & Pérez-Salicip, D. R. (2019). Dendrochronological reconstruction of fire history in coniferous forests in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Fire Ecology*, 15(18), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0034-z>
- Schulman, E. (1944). Dendrochronology in Mexico, I. *Tree-Ring Bulletin*, 10(3), 18-24.
- Sheppard, P. R., Ort, M. H., Anderson, K. C., Elson, M. D., Vázquez-Selem, L., Clemens, A. W., Little, N. C., & Speakman, R. J. (2008). Multiple dendrochronological signals indicate the eruption of ParíCutin volcano, Michoacán, Mexico. *Tree-Ring Research*, 64(2), 97-108. <https://doi.org/10.3959/2008-3.1>
- Skinner, C. N., Burk, J. H., Barbour, M. G., Franco-Vizcaino, E., & Stephens, S. L. (2008). Influences of climate on fire regimes in montane forests of north-western Mexico. *Journal of Biogeography*, 35(8), 1436-1451. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01893.x>
- Stephens, S. L., Fry, D. L., Collins, B. M., Skinner, C. N., Franco-Vizcaino, E., & Freed, T. J. (2010). Fire-scar formation in *Jeffrey pine* - mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Mártir, Mexico. *Canadian Journal of Forest Research*, 40, 1497-1505. <https://doi.org/10.1139/X10-083>
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Vázquez-Selem, L., Franco-Ramos, O., & Palacios, D. (2011). Dendrogeomorphic dating of rockfalls on low-latitude, high-elevation slopes: Rodadero, Iztaccíhuatl volcano, Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(9), 1209-1217. <https://doi.org/10.1002/esp.2146>
- Therrell, M. (2003). *Tree rings, climate, and history in Mexico* [Doctoral dissertation, University of Arkansas].
- Therrell, M. D., Stahle, D. W., Villanueva-Díaz, J., Cornejo-Oviedo, E. H., & Cleaveland, M. K. (2006). Tree-ring reconstructed maize yield in central Mexico: 1474-2001. *Climatic Change*, 74(4), 493-504. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-6865-z>
- Torbenson, M. C. (2015). *Dendrochronology*. British Society for Geomorphology.
- Turkon, P., Manning, S. W., Griggs, C., Santos-Ramírez, M. A., Nelson, B. A., Torreblanca-Padilla, C., & Wild, E. M. (2018). Applications of dendrochronology in northwestern Mexico. *Latin American Antiquity*, 29(1), 102-121. <https://doi.org/10.1017/laq.2017.60>
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Benavides, J. D., Stahle, D. W., Estrada-Ávalos, J., Constante-García, V., & Tostado-Plascencia, M. (2018). Reconstrucción de los niveles del lago de Chapala con series dendrocronológicas de *Taxodium mucronatum* Ten. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 055-068. <https://doi.org/10.29298/rmcfv3i14.474>
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Constante-García, V., Montes-González, L. E., & Vázquez-Selem, L. (2009). *Muestreo dendrocronológico: Colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales*. INIFAP-CENID RASPA.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., & Estrada-Ávalos, J. (2008). Reconstrucción de precipitación estacional de *Pseudotsuga menziesii* (mirb.) Franco en Sierra la Madera, Cuatrociénegas, Coahuila. *Revista Ciencias Forestales en México*, 33(104), 17-35. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/737>
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Constante-García, V., Vázquez-Selem, L., Estrada-Ávalos, J., & Benavides-Solorio, J. D. (2010). Árboles longevos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 7-29. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i2.634>
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Luckman, B. H., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K., & Fulé, P. Z. (2011). La dendrocronología y reconstrucciones paleoclimáticas en el Norte-Centro de México. In B. Ortega-Guerrero, & M. E. Caballero-Miranda (Eds.), *Escenarios de cambio climático: Registros del cuaternario en América Latina* (pp. 47-72). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Therrell, M. D. (2000). Estado actual de la dendrocronología en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 25(88). <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/921>
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Luckman, B. H., Cerano-Paredes, J., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K., & Cornejo-Oviedo, E. (2007). Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climatic Change*, 83(1-2), 117-131. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9144-0>
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Beramendi-Orosco, L., Estrada-Ávalos, J., Martínez-Sifuentes, A. R., Astudillo-Sánchez, C. C., Cervantes-Martínez, R., & Cerano-Paredes, J. (2020). The climatic response of baldcypress (*Taxodium mucronatum* Ten.) in San Luis Potosi, Mexico. *Trees*, 34(2), 623-635. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01944-0>
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., & Cleaveland, M. K. (2002). La dendrocronología en México y sus aplicaciones paleoclimáticas y ecológicas. *XIV Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED*.
- Yocom, L., Fulé, P., Falk, D., García-Domínguez, C., Cornejo-Oviedo, E. H., Brown, P., Villanueva-Díaz, J., Cerano, J., & Cortés-Montaño, C. (2014). Fine-scale factors influence fire regimes in mixed-conifer forests on three high mountains in Mexico. *International Journal of Wildland Fire*, 23(7), 957-968. <https://doi.org/10.1071/WF13214>