



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL ESTUDIO DE LA
DENDROCRONOLOGÍA EN MÉXICO**

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

ROBERTO MORALES ESTRADA

Bajo la supervisión de: ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS, DR.



Chapingo, Estado de México, mayo de 2022

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL ESTUDIO DE LA DENDROCRONOLOGÍA EN MÉXICO.

Tesis realizada por **Roberto Morales Estrada** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____



DR. ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS

ASESOR: _____



DR. JOSE VILLANUEVA DÍAZ

ASESOR: _____



DR. ARIAN CORREA DÍAZ

ASESOR: _____



MC. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE CUADROS	V
DEDICATORIAS.....	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
DATOS BIOGRÁFICOS	VIII
ABSTRACT	10
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	11
1.1 Antecedentes generales	11
1.2 Justificación	12
1.3 Planteamiento del problema	13
1.4 Objetivos.....	15
1.5 Preguntas de Investigación	16
1.6 Estructura	16
1.7 Literatura citada	18
CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
2.1. Marco teórico conceptual.....	21
2.2. Marco de referencia	28
2.3 Antecedentes de la dendrocronología	36
2.4 Literatura citada	41
CAPITULO 3. ARTICULO CIENTÍFICO.....	52
CAPITULO 4. ESTUDIO DE LA DENDROCRONOLOGÍA EN MÉXICO	110
CONCLUSIONES	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la tesis.....	17
Figura 2. Principales revistas nacionales (naranja) y extranjeras (verde) en las que se publica. (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).....	58
Figura 3. Distribución temporal de la producción científica de la dendrocronología en México. (A) Periodos de producción científica, las barras delineadas en verde, azul y rojo indican años con producción sobresaliente dentro del periodo correspondiente. (B) patrón de producción científica respecto a cada categoría.	60
Figura 4. Distribución espacial de las subdisciplinas de la dendrocronología en México.	69
Figura 5. Amplitud (periodo de años) de las cronologías de anillos realizadas en México	70
Figura 6. Distribución espacial de cronologías realizadas en México.	110
Figura 7. Producción de cronologías por estado.....	111
Figura 8. Especies arbóreas utilizadas en estudio dendrocronológicos en México	112
Figura 9. Extensión temporal de las cronologías	112
Figura 10. Reconstrucción de variables a partir de análisis de anillos de crecimiento.	114
Figura 11. Redes de colaboración	116

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación de los estudios de la dendrocronología en México.	92
Cuadro 2.	Material adicional 2. Títulos de los documentos relacionados con el estudio de la dendrocronología en México.	96
Cuadro 3.	Cronologías más extensas desarrolladas México.....	113

DEDICATORIAS

Este documento está dedicado a:

Dios, que a través de su doctrina me ha mostrado que con humildad, honestidad, respeto y perseverancia se logran grandes cosas, inclusive aquellas que aparentan ser imposibles.

Mi madre, una mujer de carácter noble e irrefutable fortaleza, quien ha conducido mi vida por el mejor camino, guiándome con sus consejos y enseñanzas y acompañándome en todo momento.

Lili, por compartir su vida conmigo mostrando un amor sincero, apoyo incondicional en mis triunfos y fracasos y alentándome a ser cada día mejor. Nuestros logros me enorgullecen y confié plenamente en que juntos lograremos mucho más.

Vale y Ali, por ser un motor de mi vida gracias al cual día con día doy lo mejor de mí, sabiendo que mis esfuerzos se verán fructificados en ellos.

Mis hermanos Javier, Juan y Oscar por ser parte de mi hermosa familia y apoyarme incondicionalmente en todo momento, sé que estarán conmigo siempre.

Mi padre, un hombre sumamente fuerte ante la adversidad, que a su manera me mostró como vivir una vida responsable y plena, sus enseñanzas guían mi camino todo el tiempo. Su ausencia es únicamente física lo llevo en mi mente y en el corazón por siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por brindarme la beca para realizar mis estudios de posgrado.

A la **Universidad Autónoma Chapingo** y a la **Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales** por permitirme realizar mis estudios de posgrado, así como el uso de sus instalaciones para el desarrollo de la investigación.

Al **Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas** por su tiempo y dedicación para el desarrollo de esta investigación y al resto del comité por las observaciones realizadas.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Roberto Morales Estrada

Fecha de nacimiento: 10 de noviembre de 1989

Lugar de nacimiento: Zacatlán, Puebla

CURP: MOER891110HPLRSB00

Profesión: Ingeniero en Restauración Forestal

Cedula profesional: 9621130

Desarrollo académico:

Bachillerato: Colegio de Bachilleres del Estado de Puebla, Plantel 23

Licenciatura: División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.



ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL ESTUDIO DE LA DENDROCROLOGÍA EN MÉXICO

RESUMEN GENERAL

La interrelación entre los recursos naturales y el ser humano es primordial para el desarrollo de la vida, en este sentido los bosques juegan un papel muy preponderante ya que fungen como proveedores de recursos y servicios ecosistémicos. La importancia que recae en estos ecosistemas se ve reflejado en el constante interés científico para conocer su dinámica, estructura, funcionamiento y su posible impacto ante la actual variabilidad climática. La dendrocronología a través del estudio de “anillos de crecimiento”, ha permitido conocer la relación entre variables climáticas y el crecimiento de los bosques. Es por lo que, esta disciplina ha tomado una gran relevancia en los últimos años dada su estrecha relación con el estudio de problemáticas ambientales. El objetivo principal de este trabajo fue documentar, sintetizar y analizar los enfoques, usos y tendencias de estudios dendrocronológicos en México, a partir de una revisión bibliografía exhaustivas; la finalidad fue identificar los avances en el estudio de esta disciplina y a partir de ello definir oportunidades y necesidades de investigación. Para una mejor comprensión, se realizó una revisión bibliográfica y de conceptos utilizados en el campo de la dendrocronología. Como resultado de lo anterior, se localizaron 229 documentos publicados durante el periodo de 1944 a 2021. La información contenida en estos documentos se clasificó en nueve categorías de acuerdo con sus objetivos de investigación. Una vez sintetizada esta información, se identificaron las especies y ecosistemas mayormente estudiados, distribución espacial de las cronologías, y principales enfoques utilizados incluyendo la identificación de variables reconstruidas a partir de estos estudios. Conjuntamente se identificaron las redes de colaboración científica e interinstitucional de esta ciencia en México.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, publicaciones, subdisciplinas, necesidades de investigación

Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Roberto Morales Estrada

Director de Tesis: Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF DENDROCHRONOLOGY IN MEXICO

ABSTRACT

The interrelationship between natural resources and the human being is essential for the development of life, in this sense forests play a very preponderant role since they act as providers of resources and ecosystem services. The importance of these ecosystems is reflected in the constant scientific interest to know their dynamics, structure, functioning and possible impact on current climate variability. Dendrochronology through the study of "growth rings" has allowed us to know the relationship between climatic variables and forest growth. That is why, this discipline has taken on great relevance in recent years given its close relationship with the study of environmental problems. The main objective of this work was to document, synthesize and analyze the approaches, uses and trends of dendrochronological studies in Mexico, based on a comprehensive bibliography review; the purpose was to identify the advances in the study of this discipline and from this to define research opportunities and needs. For a better understanding, a bibliographic review and concepts used in the field of dendrochronology were made. As a result, 229 documents published during the period 1944-2021 were located. The information contained in these documents was classified into nine categories according to their research objectives. Once this information was synthesized, the most studied species and ecosystems, spatial distribution of chronologies, and main approaches were identified, including the identification of variables reconstructed from these studies. The scientific and inter-institutional collaboration networks of this science in Mexico were jointly identified.

Keywords: Growth rings, publications, subdisciplines, research needs.

Thesis: Master in sciences, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Roberto Morales Estrada

Advisor: Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Antecedentes generales

La estrecha relación entre el desarrollo de los recursos naturales y el de la sociedad humana denota el gran valor de los bosques, no solo como proveedor de bienes tangibles sino también de servicios económicos, sociales, culturales y científicos (e.g. servicios ecosistémicos) (Villanueva-Díaz *et al.*,2010). Esta notable importancia ha incentivado al sector científico para adquirir un mayor conocimiento de la dinámica, estructura y funcionamiento de los bosques, siendo frecuentemente uno de los objetivos de investigación el lograr un uso sustentable de los recursos y servicios que estos nos proveen (Aguirre Calderón, 2015).

El estudio de los factores ambientales que influyen en el desarrollo de los bosques naturales suele ser un tema de interés científico dentro de las áreas de estudio correspondientes (Torbensohn, 2015). Una peculiaridad de algunas especies arbóreas es que dentro de su estructura anatómica se registra un tipo de información que se puede relacionar con las variaciones ambientales que a través del tiempo han definido su desarrollo (Llorente, 2012). Gracias a ello es posible conocer una parte de la historia del sitio donde cohabitan (Ortiz-Quijano *et al.*,2018).

A partir del estudio de las estructuras anatómicas denominadas “anillos de crecimiento” ha surgido una ciencia conocida como dendrocronología (Fritts, 1976); la cual permite determinar si existe una relación entre el grosor del ancho de los anillos de ciertas especies y los factores ambientales que caracterizan el hábitat en el que se desarrollan los árboles (Gómez-Guerrero *et al.*,2015).

La dendrocronología ha tomado relevancia en la investigación científica por su contribución al estudio de las problemáticas que afectan el desarrollo de los árboles y en general de los bosques, su estudio se ha extendido a nivel mundial y claramente también en México (Panyushkina, 2011). No obstante, la investigación

dendrocronológica en latitudes subtropicales y tropicales ha sido escasa, lo que constituye una sustancial restricción en la extensión territorial de la investigación de esta ciencia y limita el análisis de especies forestales creciendo en ambientes diversos (Sheppard, 2010).

El presente trabajo se elaboró como una estrategia para sintetizar la evidencia científica desarrollada en México de la ciencia denominada Dendrocronología, por lo que se empareja de mejor manera con un estudio de revisión sistemática, no obstante, se complementó con algunos otros análisis que concuerdan de mejor manera con investigaciones bibliométricas y de metaanálisis. En términos generales, se buscó dar una amplia visión de los avances de esta ciencia en el país.

1.2 Justificación

La dendrocronología es una ciencia auxiliar para el manejo y mayor conocimiento del sector forestal, no obstante, la amplitud de sus métodos permite su vinculación con otros campos como: ecológico, hidrológico, climático, arqueológico, entre otros (Constante-García *et al.*, 2009), contribuyendo significativamente al análisis espacio-temporal de cada uno de ellos, en ello radica en gran medida la importancia de esta ciencia.

En México se han desarrollado diversos trabajos dendrocronológicos que han aportado un mayor conocimiento del comportamiento de los bosques ante diversos factores ambientales (Villanueva-Díaz *et al.*, 2004), estos trabajos son relevantes dado que se pueden utilizar como fuentes fiables en la planeación de estrategias para la conservación y uso sustentable de los recursos forestales e inclusive en el análisis de riesgos (fenómenos climáticos extremos e incendios principalmente).

Dada su importancia y su amplia aplicabilidad, en las últimas décadas se ha denotado un creciente interés por el estudio de la dendrocronología en México, mismo que se ve reflejado con el incremento periódico de la publicación de estudios de investigación; ello hace necesario que, con base a criterios científicos se

desarrollen documentos en los que se sintetice y ordene el estado de conocimiento de la dendrocronología en el país (Villasís-Keever *et al.*,2020).

Sin embargo, a pesar de alta diversidad de especies forestales en el país los estudios dendrocronológicos se han encauzado mayoritariamente al uso de dos especies *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco y *Taxodium mucronatum* Ten., las cuales son especies con un alto potencial dendrocronológico (Constante-García *et al.*,2010), y bajo un enfoque muy similar, generalmente relacionados al sector climático (Villanueva-Díaz *et al.*,2000).

A través de estos trabajos se ha logrado desarrollar una vasta red dendrocronológica que abarca principalmente el centro y norte del país, no obstante, dado que México posee potencial para el desarrollo de esta ciencia, resulta conveniente explorar el potencial dendrocronológico de nuevas especies, ampliar geográficamente el estudio de esta ciencia y extender, intensificar y actualizar el estudio de las especies con potencial probado.

Este documento sintetizó los estudios dendrocronológicos en México (desarrollo de subdisciplinas, especies estudiadas y áreas de estudio), corroboró las ideas generalizadas que se tienen sobre el uso de esta ciencia en el país, detectó sus limitantes, identificó las instituciones más relevantes en la investigación, lo cual permita definir las necesidades de investigación de esta ciencia en México. Esto con la finalidad de obtener resultados y conclusiones que sirvan como guía y fundamenten la toma de decisiones futuras para el desarrollo de esta disciplina.

1.3 Planteamiento del problema

En las últimas décadas, el interés por la dendrocronología en México ha incrementado, lo que se ha traducido en un aumento de la producción científica y, por tanto, conforma un repertorio que claramente le da solides a la aseveración de que México es un país con potencial para el desarrollo de esta ciencia. Lo cual es

factible debido a la diversidad de ecosistemas y riqueza de coníferas y latifoliadas presentes en una gran diversidad de condiciones climáticas.

A pesar de ello, actualmente el estudio de la dendrocronología en México se afronta a diversas limitantes; una cantidad restringida de investigadores especializados, escasa infraestructura con equipamiento (laboratorios de dendrocronología), recursos económicos limitados, poca vinculación con actores del sector forestal (A. Correa-Díaz, comunicación personal, 2022) y dificultad, bajo interés y conocimiento limitado para el estudio de anillos de crecimiento de otras especies, sobre todo las de climas tropicales (Beramendi-Orosco *et al.*, 2013).

La combinación de estos factores conlleva a que esta ciencia muestre un rezago en su desarrollo (Villanueva-Díaz, Cerano-Paredes, Stahle, Constante-García, & Estrada-Avalos, 2010), ya que, a pesar de la inmensa biodiversidad presente en el territorio mexicano, la aplicación de esta ciencia se ha caracterizado por un uso restringido de especies arbóreas, mayoritariamente en zonas particulares y con un enfoque generalmente dendroclimático (e.g. relación entre el ancho de anillos y variables climáticas).

De acuerdo con, Villanueva-Díaz *et al.* (2010) el enfoque de esta ciencia en México inicialmente tendría que centrarse en definir el potencial dendrocronológico de una gran cantidad de especies y con base en ello generar series dendrocronológicas de calidad que puedan aplicarse a los diversos sectores con que se vincula esta ciencia. Actualmente no hay completa certeza de las especies que se han estudiado bajo un enfoque dendrocronológico y del potencial que han mostrado, sobre todo de latifoliadas, las cuales han sido exploradas bajo este enfoque en México, pero pobremente utilizadas (Acosta-Hernández *et al.*, 2017).

Este mismo autor adicionalmente considera que el desconocimiento de los métodos adecuados para la generación de series dendrocronológicas limita la aplicabilidad de esta ciencia, ello a pesar de que instituciones de investigación como el INIFAP se han encargado de generar documentos de divulgación de estos métodos y que

estos generalmente son de acceso público, aun así, hay desconocimiento de la existencia de estos.

Los estudios de tipo revisión sistemática, fungen como una herramienta para encausar la toma de decisiones para la mejora de las ciencias, este tipo de estudios son cada vez más comunes en México, no obstante, para el análisis del desarrollo de la dendrocronología en el país son escasos (Acosta-Hernández *et al.*,2017; Villanueva-Díaz *et al.*,2000), lo que también dificulta el correcto enfoque y fluidez de la dendrocronología en el país, dado que, no se tiene una base actualizada de evidencia que pueda servir como punto de partida para su amplio desarrollo.

1.4 Objetivos

General

Documentar, sintetizar y analizar los enfoques, usos y tendencias de estudios de dendrocronológicos en México, a partir de revisión bibliografía exhaustiva; con la finalidad de identificar los avances en el estudio de esta disciplina en el país y a partir de ello definir oportunidades y necesidades de investigación.

Específicos

- Recopilar literatura referente a estudios dendrocronológicos en México, mediante la consulta de repositorios digitales tales como: Scopus, Web of Science, BIOSIS Previews, ELSEVIER, Medline, BioOne, SpringerLink, Wiley Interscience, Google académico, entre otros.
- Analizar los avances en el estudio de las diferentes subdisciplinas de la dendrocronología en México, principalmente en los referentes a las especies, regiones y ecosistemas con mayor presencia de estudios dendrocronológicos, así como resultados relevantes con los cuales se pueda definir las necesidades de investigación.

1.5 Preguntas de Investigación

Se plantearon las siguientes preguntas: ¿Bajo qué enfoques se ha estudiado la dendrocronología en México? ¿Qué especies forestales se han utilizado en los estudios dendrocronológicos realizados en México? ¿Qué variables se han medido en busca de resolver problemas de investigación a través de la dendrocronología? ¿Cuáles son las necesidades y áreas de oportunidad para la investigación de la dendrocronología en México? ¿Cuál es la extensión temporal de las cronologías realizadas en México?

1.6 Estructura

La tesis se encuentra organizada en tres capítulos de acuerdo con la figura 1.

En el primer Capítulo se introduce el trabajo con las generalidades, justificación del problema, así como los objetivos planteados. En el Capítulo II se presenta la revisión bibliográfica y de conceptos utilizados en el trabajo. En el tercer capítulo se encuentra contenido el artículo científico producto de este trabajo. Por último, en el capítulo cuatro se encuentran los resultados generados para el estudio de la dendrocronología en México.

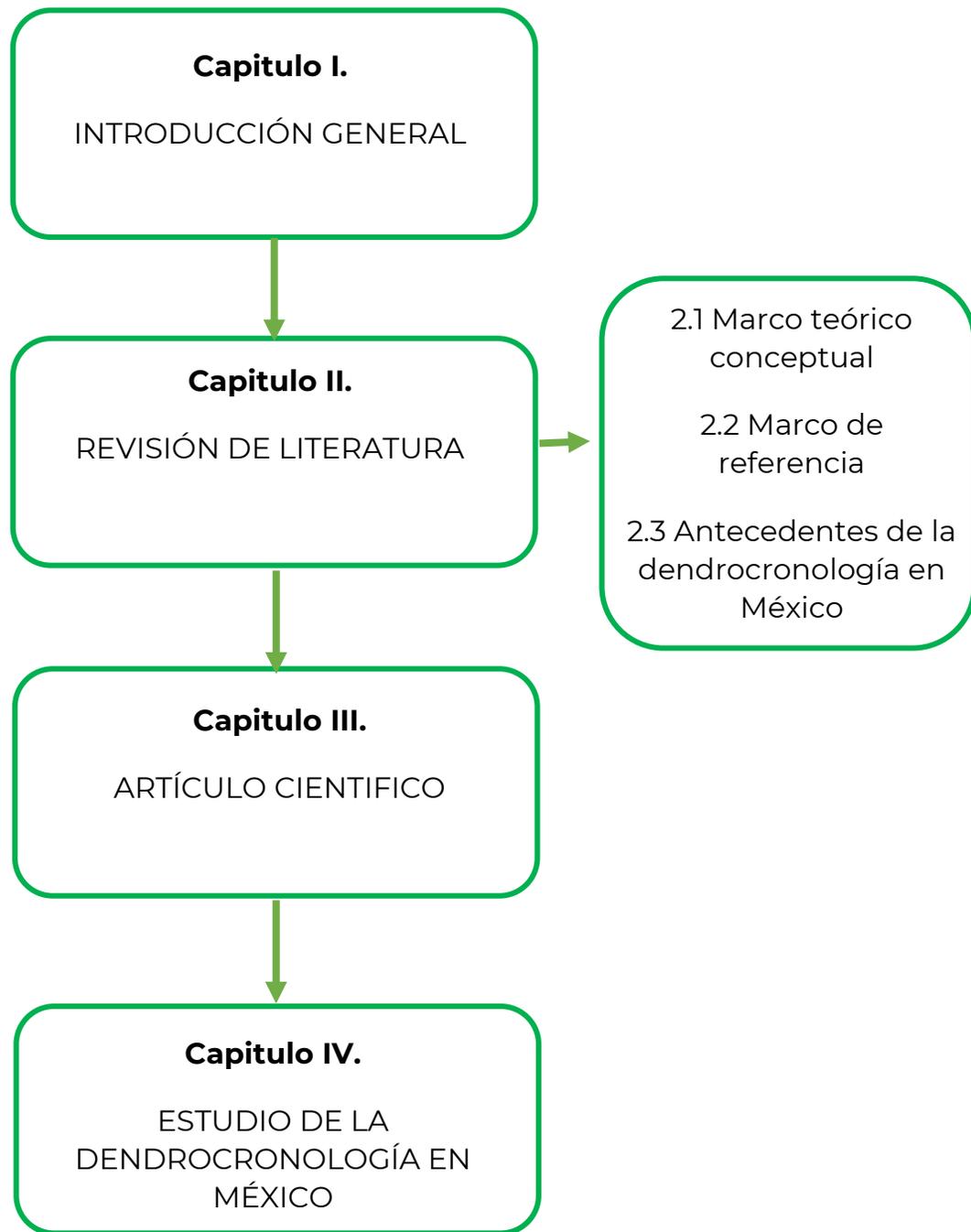


Figura 1. Estructura de la tesis

1.7 Literatura citada

- 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>
- Aguirre Calderón, O. A. (2015). Forest management in the XXI Century. *Madera y Bosques*, Vol. 21(Número: especial), 17-28.
- Beramendi-Orosco, L. E., Hernandez-Morales, S., Gonzalez-Hernandez, G., Constante-García, V., & Villanueva-Díaz, J. (2013). Dendrochronological potential of *Fraxinus uhdei* and its use as bioindicator of fossil CO₂ emissions deduced from radiocarbon concentrations in tree rings. *Radiocarbon*, 55(2), 833-840. <https://doi.org/10.1017/S0033822200057994>
- Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., & Estrada-Ávalos, J. (2009). *Medición y calidad de fechado en anillos de árboles (Primera Edición)*. INIFAP-CENID RASPA.
- Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., & Estrada-Ávalos, J. (2010). *Parámetros para definir el potencial dendrocronológico*. INIFAP CENID RASPA.
- Correa-Díaz, A. (2022). *Problemática de la dendrocronología en México*. [Comunicación personal].
- Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0>

- 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>
- Llorente, C. (2012). La historia que nos explican los árboles. *Dendrocronología: Reconstruyendo la historia. Biol. on-line*, 1, 1-22.
- Ortiz-Quijano, A. B., Cuevas-Cardona, C., Villanueva-Díaz, J., López-Mata, L., & Sánchez-González, A. (2018). Dendrochronological reconstruction of environmental history of *Fagus grandifolia* subsp. Mexicana in Mexico. *Tree-Ring Research*, 74(1), 108-119. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-74.1.108>
- Panyushkina, I. (2011). Dendrochronology. En *Encyclopedia of Science & Technology* (11th ed.). McGraw Hill.
- Sheppard, P. R. (2010). Dendroclimatology: Extracting climate from trees: Dendroclimatology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(3), 343-352. <https://doi.org/10.1002/wcc.42>
- Torbenson, M. C. A. (2015). Dendrochronology. En *Geomorphological Techniques*. British Society for Geomorphology.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Constante-García, V., & Estrada-Avalos, J. (2010). Estandarización y desarrollo de series dendrocronológicas en México (Primera Edición). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Constante-García, V., Vázquez-Selem, L., Estrada-Ávalos, J., & Benavides-Solorio, J. D. D. (2010). Árboles longevos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 7-29.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K., & Sánchez-Cohen, I. (2004). Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. INIFAP-CENID RASPA.
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Therrell, M. D. (2000). Estado actual de la dendrocronología en México. *Revista Ciencias Forestales en México*, 25(88), 5-36.
- Villasís-Keever, M. Á., Rendón-Macías, M. E., García, H., Miranda-Navales, M. G., Escamilla-Núñez, A., Villasís-Keever, M. Á., Rendón-Macías, M. E., García, H., Miranda-Navales, M. G., & Escamilla-Núñez, A. (2020). La revisión sistemática y el metaanálisis como herramientas de apoyo para la clínica y la investigación. *Revista alergia México*, 67(1), 62-72. <https://doi.org/10.29262/ram.v67i1.733>

CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico conceptual

Con el propósito de definir una base conceptual para abordar el análisis del desarrollo de la dendrocronología en México, se analizan algunos conceptos teóricos que se abordan en esta investigación, para ello se consultó diferentes documentos científicos referidos al tema. El abordaje conceptual por su misma naturaleza está sujeto a interpretaciones y construcciones teóricas disciplinarias lo cual permite establecer una postura inicial para una posterior discusión de los resultados.

2.1.1. Dendrocronología

Anillos de crecimiento: Los anillos de crecimiento son capas de células producidas por la actividad estacional del cambium vascular (Giraldo Jiménez, 2011). En plantas lignificadas que se desarrollan bajo la influencia de un clima temporal que las conduce a la latencia periódica, los anillos de crecimiento tienen propensión ser de carácter anual (Fritts, 1976)

Estas estructuras internas de los árboles tienen la peculiaridad de registrar intrínsecamente el inicio y final del crecimiento periódico; su producción da lugar a la formación periódica de madera por la acumulación estacional de tejido en la xilema (López Ayala *et al.*, 2006). El espesor de los anillos de crecimiento suele estar relacionado con los factores ambientales presentes previo y durante su formación, por ello suelen ser utilizados como registros de variabilidad del entorno ambiental que los rodea (Reyes-Basilio *et al.*, 2020).

Cambium vascular: Es una capa de células con frecuente actividad de división y que da origen al xilema y floema, la división de este meristema es periclinal en dos direcciones, en plantas leñosas su actividad se ve reflejada en la acumulación de

floema hacia el exterior y madera hacia el interior (Gimenez *et al.*,2005; Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Datación o fechado cruzado: La datación cruzada es un método dendrocronológico a través del cual se logra asignar a cada anillo de crecimiento el año calendario de su formación. La importancia de su aplicación lo coloca como un método fundamental de la dendrocronología (Douglas, 1941). Consiste básicamente en comparar los anchos de anillos de árboles individuales y detectar patrones de coincidencias (Stokes & Smiley, 1996).

Dendroarqueología: Subdisciplina de la dendrocronología cuyo objetivo principal es la datación de edificaciones antiguas y objetos arqueológicos que dentro de su estructura contengan madera. La datación de los anillos de crecimiento de la madera permite determinar fechas relevantes de la historia de estos objetos (Baillie, 1990).

Dendroclimatología: La dendroclimatología es una subdisciplina de la dendrocronología, que relaciona el ancho de los anillos con variables climáticas (Miranda-Avilés *et al.*,2007). A partir de esta subdisciplina es posible reconstruir variables climáticas inclusive con extensiones de tiempo mayores a las de los registros instrumentales disponibles (González Elizondo *et al.*,2017).

La dendroclimatología tiene mayor aplicación en zonas geográficas en las que la formación de anillos de crecimiento anuales en arboles está bien definida, y que además, su desarrollo este en función de la variabilidad climática, delimitándose visiblemente el inicio y cese de los periodos estacionales de crecimiento (Mendivelso *et al.*,2016b). Al ser una rama de la dendrocronología, la dendroclimatología se apoya de los mismos principios y métodos (medición, datación y estandarización de anillos de crecimiento).

Entre las principales aplicaciones de la dendroclimatología se encuentran la reconstrucción de eventos y parámetros climáticos tales como: precipitación,

temperatura, sequías, impacto de fenómenos de circulación general como El Niño Oscilación del Sur, índices de sequía, entre otros (Arreola-Ortiz & Návar-Cháidez, 2010), estas reconstrucciones permiten inferir sobre el efecto directo de estos fenómenos en la recarga de los mantos acuíferos, la dinámica de crecimiento de los bosques, su impacto sobre la sociedad (Cerano-Paredes *et al.*,2016) y sus efectos secundarios reflejados por ejemplo en la migración del campo a la ciudad (Chávez-Gándara *et al.*,2017).

Dendrocronología: Ciencia dotada de una serie de métodos, los cuales hacen posible la datación exacta de anillos de crecimiento de árboles, y la detección de la influencia que ejercen las condiciones ambientales sobre el crecimiento de los árboles (Fritts, 1976)

La dendrocronología ha resultado ser una disciplina muy útil para medir la respuesta de los árboles ante el entorno que los rodea, dicha respuesta se expresa en la variación del incremento de los anillos anuales de crecimiento; este hecho posibilita la reconstrucción de las condiciones ambientales prevalecientes en el área en que se han desarrollado los árboles (Schweingruber, 1996).

Dendroecología: Subdisciplina de la dendrocronología enfocada en el análisis de los procesos ecológicos de un bosque y su relación con anillos de crecimiento de árboles que se han desarrollado bajo la influencia de dichos procesos. La aplicación de esta rama permite hacer diversos análisis como: dinámica de crecimiento de los bosques bajo condiciones ecológicas variables, análisis de la estructura de edades de los bosques, patrones de crecimiento, respuesta eco fisiológica de las plantas ante variables ecológicas, entre otros (Rojas-García *et al.*,2020).

Dendrogeomorfología: Rama de la dendrocronología encargada del estudio de los procesos geomorfológicos y su relación con los disturbios ocasionados por estos mismos en los anillos de crecimiento de árboles (Franco-Ramos & Vázquez-Selem, 2017), es útil para reconstruir la ocurrencia de los eventos geomorfológicos y determinar sus dimensiones (Stoffel *et al.*,2011).

Dendrohidrología: Rama de la dendrocronología que utiliza la información de los anillos de crecimiento para analizar y reconstruir propiedades hidrológicas como son el flujo de agua, niveles de los cuerpos de agua y la escorrentía. Esta rama tiene una relación inherente con la dendroclimatología y en conjunto ayudan a inferir sobre la disponibilidad futura del agua (Panyushkina, 2011).

Dendropirocronología: Rama de la dendrocronología con base en el análisis de anillos de crecimiento de árboles afectados por fuego, se encarga del análisis temporal de los regímenes de incendio forestales (Ávila-Flores *et al.*,2018). La afectación de los incendios queda registrada en los árboles mediante cicatrices en los anillos de crecimiento, las cuales se pueden datar con ayuda de la dendrocronología y con ello se puede describir parte de los regímenes de incendios, estas cicatrices se caracterizan y distinguen de otras por la presencia de carbón (Cerano-Paredes *et al.*,2009).

Dendroquímica: Campo de la dendrocronología encargado del análisis temporal de la composición química de los anillos de crecimiento. Su análisis está basado en el hecho de que, la disponibilidad de sustancias químicas naturales o sintéticas que los árboles absorben, varía de acuerdo con las circunstancias ambientales prevalecientes y ello se expresa en una composición química variable en los anillos de crecimiento (Panyushkina, 2011).

Dendrovulcanología: Rama de la dendrocronología encargada del análisis de la influencia de los eventos volcánicos sobre el desarrollo de anillos de crecimiento y la determinación de fechas de ocurrencia de erupciones volcánicas registradas en los anillos de crecimiento mediante alteraciones de su desarrollo (LaMarche & Hirschboeck, 1984; Torbenson, 2015).

Floema: Tejido encargado de la conducción masiva de agua y carbohidratos, desde las zonas de síntesis hasta las áreas de demanda, su importancia radica en que facilita la disponibilidad de alimentos en diversas zonas de las plantas. A través del floema también se distribuyen compuestos que la planta utiliza para la regulación

de su crecimiento (e.g. aminoácido y hormonas), macromoléculas y proteínas (Zúñiga-Sánchez *et al.*,2017).

Régimen de incendios: Un régimen de incendios se puede concebir como una síntesis de la presencia del factor ecológico fuego en ecosistemas forestales naturales (Cerano-Paredes *et al.*,2009), sus efectos y parámetros descriptivos como la extensión espacial, estacionalidad, frecuencia, severidad, intensidad, entre otros (Ávila-Flores *et al.*,2018).

Xilema: Compone lo que comúnmente es llamado madera, su función principal es el transporte y reparto de agua y sales minerales que proceden principalmente de la raíz, aunque también puede transportar otros nutrientes y moléculas señalizadores. Funge como el principal elemento de soporte mecánico especialmente en plantas con crecimiento secundario (Megías *et al.*,2020b).

2.1.2. Revisión sistemática, análisis bibliométrico y metaanálisis.

Análisis bibliométrico o bibliometría: Considerado como una ciencia, se apoya del empleo de matemáticas y diversos métodos estadísticos para todas aquellas publicaciones escritas, que en su contenido contemplan elementos como temas científicos, título de publicación, autor (es), medio de publicación, entre otros. Su principal objetivo es el recuento de toda la bibliografía existente, así como el estudio de sus características de uso y contenido. Así mismo se utiliza para conocer el estado de la producción de literatura científica de un tema determinado (Solano-López *et al.*,2009).

Literatura gris: Corresponde a toda aquella literatura que no es difundida por medios ordinarios de publicación que respalden su consistencia y certifiquen su calidad de contenido y procesos de revisión y edición. Debido a que no son documentos con publicación controlada, ni se obtienen por un acceso mediante los canales normales de distribución, el acceso a estos documentos se convierte en un problema («La Literatura Gris», 2011).

Como ejemplos de literatura gris se encuentran documentos como tesis de pre y posgrado, memorias de congresos, E-prints, guías, legislación, software, proyectos, traducciones científicas, informes de investigación, boletines, normas, informes técnicos, documentos de sociedades científicas, carteles, encuestas, entre otros (Laufer, 2007).

Las principales características de la literatura gris son: 1) Resultan de procesos académicos estructurados, 2) Son inéditos, 3) Por sus contenidos revisten un interés especial para comunidades universitarias (profesores, investigadores, estudiantes de pregrado y posgrado, directivos, etc.) y 4) Son documentos con el propósito de compartir un texto de interés, y también como medio para conceptualizar, describir, documentar o apoyar procesos de investigación que están en desarrollo. Así mismo no siguen un proceso de edición apegado a las normas oficiales de edición como las que se llevan a cabo en libros o revistas arbitradas y no se ajusta a las normas de control bibliográfico (ISBN, ISSN, Índices de Impacto) («La Literatura Gris», 2011).

Metaanálisis: Es una técnica estadística que permite sintetizar la evidencia procedente de estudios disponibles sobre un tema de interés o pregunta de investigación concreta que proviene del marco de una revisión sistemática previa (Catalá-López *et al.*, 2014). De ahí que la calidad de un metaanálisis está directamente ligada a la calidad metodológica de la revisión sistemática, por lo que para realizar un metaanálisis es necesario que las revisiones sistemáticas previas sean rigurosas y garanticen la calidad metodológica de los estudios incluidos (Escrig-Sos *et al.*, 2021).

La principal ventaja de utilizar un metaanálisis para combinar los resultados de los estudios previos es que, debido a que este análisis proviene de diversos estudios enfocados en resolver una pregunta de investigación o tema específico aumenta el tamaño de la muestra, por lo tanto, se incrementa su potencia estadística; además, incorpora trabajos efectuados en distintos lugares lo que conlleva que los resultados obtenidos pueden generalizarse (Fau & Nabzo, 2020).

Redes de colaboración: La colaboración científica ha sido estudiada a través de indicadores resultantes de análisis bibliométricos, en los cuales, generalmente se hace uso de las publicaciones científicas recopiladas para extraer la información concerniente a la colaboración entre investigadores, instituciones o países, con la finalidad de conocer el impacto que tiene la colaboración en los resultados de investigación (Pérez *et al.*,2019).

Las redes de colaboración representadas de manera gráfica muestran en la posición central, aquellos investigadores con una alta productividad dentro de su disciplina o campo de estudio. Generalmente las redes centrales independientemente de la disciplina están conformadas por un reducido grupo de investigadores llamados “investigadores centrales” o también denominados “investigadores estrella”. Por otra parte, el resto de los investigadores, gráficamente se localizan en la periferia de la red con una menor productividad comparada al grupo anterior (García-Hernández, 2013).

El principal objetivo de las redes de colaboración es efficientizar la actividad investigadora que permita cumplir con objetivos de estudio que serían más difíciles de obtener de manera individual. Asimismo, se permite ver claramente el papel de los investigadores dentro de las redes de colaboración, así como su importancia en la generación de conocimiento, su evolución y el fortalecimiento de colaboración entre los grupos de investigadores (Cárdenas-Tapia, 2021).

Revisión sistemática: Constituye una síntesis clara y estructurada de la evidencia disponible de un tema específico. Esta se realiza a través de una evaluación ordenada y explícita de literatura, la cual surge de una pregunta de investigación. A su vez representa el más alto nivel dentro de la jerarquía de la evidencia, ya que se lleva a cabo mediante un análisis crítico de aspectos cuantitativos y cualitativos de un amplio repertorio de artículos científicos y fuentes de información global disponibles (Moreno *et al.*,2018).

2.2. Marco de referencia

El crecimiento de las plantas al igual que en muchos otros organismos se debe a la formación de nuevas células, que a su vez constituyen tejidos y órganos (Llorente, 2012). Las células que componen los tejidos provienen de otras células no diferenciadas, que se agrupan dando lugar a la formación de meristemas, los cuales se localizan en partes específicas de la planta de manera permanente o estacional y permiten el crecimiento de las plantas (Megías *et al.*,2020a).

Los tejidos meristemáticos tienen diferentes clasificaciones; de acuerdo con su ubicación en la estructura de la planta se tienen meristemas apicales y meristemas laterales; en función de la naturaleza de las células que lo originan y del tiempo relativo de su aparición se clasifican en primarios y secundarios. Los tejidos meristemáticos primarios permiten el crecimiento en altura, mientras que los tejidos meristemáticos secundarios posibilitan el incremento en el espesor de las plantas (Chuncho-V. *et al.*,2019).

El crecimiento secundario o crecimiento en grosor sucede en las zonas de una planta leñosa en las que el crecimiento primario ha cesado, el proceso comienza con la formación de los meristemas laterales denominados cambium vascular y cambium suberoso, el primero de ellos es el responsable de la formación de los tejidos vasculares (Nabors, 2006).

El xilema y floema son tejidos vasculares que caracterizan a las plantas vasculares, permiten la conducción de agua, sustancias inorgánicas y orgánicas y dan soporte y consistencia a la parte aérea y subterránea de la planta. Estos tejidos especializados están constituidos por diversas células que se clasifican acorde con sus características y funciones (Megías *et al.*,2020b).

Las traqueidas son un ejemplo de células que componen al xilema de las plantas vasculares (Nabors, 2006) en particular el desarrollo de estas células es diferenciado entre los grupos de plantas denominados Angiospermas y Gimnospermas, en este último y particularmente en las coníferas, el crecimiento se caracteriza por la formación de anillos de crecimiento, los cuales están integrados mayoritariamente por traqueidas, que debido a su disposición espacial y desarrollo periódico constante pero desigual, favorece la diferenciación de anillos de crecimiento (Schweingruber, 1996).

La formación de los anillos de crecimiento está vinculada con la actividad del cambium vascular, el cual periódicamente se activa formando xilema hacia el interior y floema hacia el exterior, este proceso a su vez está asociado con la variación del clima a través del ciclo de crecimiento; en climas templados estas variaciones generalmente cumplen con un ciclo anual, lo que da lugar a la formación de anillos de crecimiento anuales (López-Ayala *et al.*,2006).

De acuerdo con Mendivelso *et al.*,(2016) en zonas tropicales en contraste con las zonas templadas, el desarrollo de los meristemos secundarios está influido por tres factores ambientales:

1. presencia de una estación seca anual asociada a una disminución o ausencia de las precipitaciones,
2. períodos anuales de inundación y
3. fluctuación anual de la salinidad del agua en el caso de ecosistemas de manglar.

Esta combinación de factores da lugar a una estructuración de los tejidos más compleja, lo que muchas veces dificulta la identificación de los anillos de crecimiento anual.

Por su parte y generalizando a las angiospermas, su madera está compuesta fundamentalmente de vasos, fibras y parénquima; y su constitución puede ser de

tipo porosa o difusa. La madera porosa se caracteriza por la diferenciación estacional del ancho de los vasos, lo que facilita la identificación de anillos de crecimiento; sin embargo, no ocurre lo mismo con la madera difusa, dado que en este caso los vasos son homogéneos en tamaño a lo largo de los ciclos de crecimiento (Roig-Juñent *et al.*,2012).

Los estudios dendrocronológicos en zonas tropicales se afrontan a lo expuesto en los párrafos anteriores; debido a que no todas las especies que se desarrollan en estos climas forman anillos de crecimiento anual y por lo tanto, los estudios dendrocronológicos en estas áreas son limitados (Beramendi-Orosco *et al.*,2013). Sin embargo, la conjugación de factores específicos posibilitan la determinación de anillos de crecimiento anuales y su datación para especies tropicales (Durán-Guerra *et al.*,2014), procedimiento que se ha facilitado mediante el uso de isotopos estables (Evans & Schrag, 2004).

Estructuralmente un anillo de crecimiento está constituido por dos bandas (madera temprana y madera tardía), cada una de ellas con características distintivas muy notorias; el desarrollo apresurado reflejado en un diámetro mayor de las traqueidas de la madera temprana da lugar a una menor densidad, en comparación con la densidad de la madera tardía que está constituida por traqueidas más compactas. El crecimiento desigual de los anillos de crecimiento a través del ciclo de desarrollo sucede como respuesta fisiológica de los árboles ante las condiciones desiguales prevalecientes durante el ciclo (Villanueva-Díaz, Cerano-Paredes, Stahle, Constante-García, & Estrada-Avalos, 2010).

El desarrollo de los anillos de crecimiento esta influenciado por la actividad fisiológica propia de cada árbol (edad cambial, acción de los reguladores de crecimiento, cantidad de productos fotosintéticos, masa foliar, entre otros) (Gómez Guerrero *et al.*,2015), no obstante, otros factores exógenos influyen también en la productividad o crecimiento de un árbol, tal es el caso de las plagas, incendios, variables climáticas, contaminación, manejo antrópico, entre otras (Constante-García *et al.*,2009). En bosques naturales, particularmente de bosques templados,

el crecimiento está regulado principalmente por el clima, mismo que como ya se mencionó con anterioridad, es promotor de la formación de anillos de crecimiento (Rojas-García *et al.*,2020).

La influencia que los factores ambientales tienen en el crecimiento de los árboles queda registrada en los anillos de crecimiento (Grissino-Mayer, 2003), y se expresa con un mayor o menor ancho de anillo, este hecho permite modelar la relación histórica entre ancho de anillos y factores ambientales conmensurables (Amoroso and Suarez, 2015) y posibilita la reconstrucción parcial de la historia ambiental del área en la que se localizan los árboles, con una extensión temporal mayor a la de los datos instrumentales disponibles (Arreola-Ortiz & Návar-Cháidez, 2010; Correa-Díaz *et al.*,2014).

La importancia del estudio de los anillos de crecimiento es irrefutable, dado que ello permite ampliar el conocimiento de la relación entre los componentes bióticos y abióticos de los sistemas ambientales y el desarrollo de los bosques (*Mendive/so et al.*,2016a) y con ello definir estrategias de manejo y conservación de los ecosistemas forestales.

La dendrocronología es una ciencia dotada de una serie herramientas metodológicas que posibilitan la determinación de la edad de los árboles, fechado cruzado, datación y medición de los anillos de crecimiento (Stahle *et al.*,2011); a partir de ello, se generan series dendrocronológicas, las cuales son un insumo fundamental para el análisis de variables climáticas, hidrológicas y de diversas aplicaciones ecológicas.

La calidad de las series dendrocronológicas debe ser validada mediante diversos parámetros estadísticos (e.g. inter correlación entre series, sensibilidad media, desviación estándar y relación señal/ruido), ello permite ostentar bases estadísticas para los análisis realizados en los estudios dendrocronológicos (Constante-García *et al.*,2010).

El análisis de series de ancho de anillo obtenidas a partir de métodos dendrocronológicos, constituye una alternativa bastante viable cuando se requiere analizar la historia de algún fenómeno o evento natural, del cual se carece o dispone de bases de datos instrumentales de poca extensión, naturalmente el fenómeno que se estudia debe tener influencia en el desarrollo de los anillos de crecimiento (Cerano Paredes *et al.*,2011).

No obstante, a pesar de la factibilidad de los estudios dendrocronológicos como un método confiable para el análisis espacio temporal de los recursos naturales y la influencia que el medio ejerce sobre ellos, la dendrocronología tiene limitantes para su aplicabilidad, dado que se rige por una serie de requisitos y principios, mismos que no se cumplen en todo ambiente ni para toda especie arbórea.

Un requisito obligatorio para los estudio dendrocronológicos, es que la especie seleccionada desarrolle anillos de crecimiento de forma anual y que se puedan distinguir claramente en una sección transversal (Villanueva-Díaz *et al.*,2004) aunado a ello, cuando se trata de una especie que no cuenta con antecedentes en este ámbito, es necesaria la demostración convincente del potencial dendrocronológico de la especie, ello permite planear la investigación (Roig *et al.*,2005).

De acuerdo con Stahle, (1999) se requiere de cuatro condiciones mínimas para que se considere que los anillos de crecimiento de alguna especie en particular son viables para el análisis dendrocronológico:

1. Los individuos analizados únicamente deben desarrollar un anillo de crecimiento por ciclo anual.
2. Un factor medioambiental debe dominar la influencia sobre el crecimiento de los anillos.
3. La variación del grosor de los anillos de crecimiento debe ser reflejo de la variación del principal factor ambiental influyente.

4. El factor que limita o estimula el crecimiento debe mantener uniformidad en una extensión espacial considerable.

La correcta aplicación de los métodos dendrocronológicos, tomando en cuenta los requisitos previos y principios dendrocronológicos encauzan la generación de cronologías de anillos de crecimiento bien datados, no obstante, además de ello, otros factores influyen en la calidad de las cronologías; la selección de sitios con mayor posibilidad de presencia de individuos sensibles al clima, métodos de obtención y procesamiento de muestras, amplitud de cronologías, medición, fechado y estandarización, son factores importantes que también deben considerarse (Villanueva-Díaz *et al.*,2007).

El análisis de cronologías de anillos de árboles mediante la dendrocronología, puede derivar en diversas aplicaciones y contribuye al estudio de problemáticas de diversa índole; cada estudio dendrocronológico parte de los principios y se fundamenta en los métodos arriba mencionados, no obstante, acorde con la diferenciación de sus objetivos, resultados y conclusiones, se reconocen diversas subdisciplinas como: dendroarqueología, dendroclimatología, dendroecología, dendrogeomorfología, dendrovulcanología, entre otras (Miranda-Avilés *et al.*,2007).

El desarrollo de la dendrocronología ha mostrado un considerable avance, por lo cual surge la necesidad de implementar metodologías de síntesis del conocimiento y desarrollo científico de esta ciencia (Fernández-Sánchez *et al.*,2020), ante ello ha sido imprescindible el impulso de estudios actualizados de síntesis de la investigación, los cuales a su vez sirven como fuente confiable de evidencia para la toma de decisiones (Moreno *et al.*,2018). Mediante estos estudios también es posible detectar problemas, para ello, las fuentes o evidencias del análisis deben aportar información relevante, por tanto, identificar la evidencia adecuada implica un nivel de reflexión importante (Colaboración para la evidencia ambiental, 2013; Sánchez-Calderón *et al.*,2022).

Este tipo de estudios puede estar fundamentado en la aplicación de métodos de investigación particulares tales como la revisión sistemática, metaanálisis y la bibliometría, los cuales son métodos que permiten analizar y cuantificar la productividad científica del tema de interés. Con el presente estudio, se buscó evaluar el avance de la dendrocronología en México, por lo cual se utilizaron componentes de estos tres tipos de métodos.

Las revisiones sistemáticas permiten vislumbrar la información disponible de temas de interés de forma sintetizada, permitiendo obtener un alto grado de veracidad, calidad metodológica y confiabilidad de resultados. Esta garantía proviene de la metodología que se aplica para la realización de la revisión sistemática, la cual se resume en: búsqueda exhaustiva de todos los artículos relevantes, criterios reproducibles y explícitos de selección, valoración del diseño y características de los estudios y síntesis e interpretación de los resultados (Manterola *et al.*,2013).

Por su parte, de acuerdo con García-Perdomo, (2015), derivado de una bibliometría se obtienen diversos indicadores, entre los que destacan:

I. “Indicadores de actividad científica:

Indicadores de productividad científica: productividad por investigador, país, institución, año de publicación, Autores más relevantes y su productividad por ramas o disciplinas; idioma que emplean en la publicación de sus resultados de investigación).

Indicadores de output (resultados): patentes que contienen una fuente de información sobre invención que no está disponible en ninguna otra parte, y por tanto constituyen un valioso complemento a las tradicionales fuentes de información científica y tecnológica. Los tipos de análisis que emplean indicadores basados en patentes se pueden estructurar en: cuantificación de la actividad tecnológica internacional, de un país, sector industrial o empresa y la apertura de nuevos

mercados; evaluación de resultados de los programas de investigación tecnológica; análisis de cluster mediante coocurrencia de citas, palabras o clasificaciones.

Indicadores de tipo de investigación: Tipo de documento: artículo original o de revisión, presentación en congresos, libros, informe, patentes; Investigación de carácter básico o aplicado de la investigación e Investigación de carácter teórico, metodológico o experimental.

II. Indicadores basados en coautoría

Colaboración: esta se puede desarrollar entre departamentos de una institución, entre distintas instituciones, o entre varias ciudades de un país o entre diversos países.

Índice de coautoría: promedio de autores por artículo.

Tasas de colaboración: porcentaje de documentos firmados conjuntamente por distintos agentes del sistema de producción de conocimiento.

Proporción de artículos en colaboración internacional. mide el porcentaje de trabajos publicados con respecto a la producción total del nivel señalado.

Índice de Internacionalización (II): indicador que brinda información sobre el mayor o menor grado de participación internacional en el total de la producción

III. Indicadores basados en asociaciones temáticas

De referencias bibliográficas comunes (enlace bibliográfico).

De citas comunes: relacionan temas con una base intelectual común.

Los clusters: pueden identificar especialidades, aunque con una demora temporal.

De palabras comunes a través de los términos de indización o lenguaje libre

De clasificaciones comunes: la co-ocurrencia de clasificaciones de artículos o patentes define interrelaciones similares a las de las palabras clave.

IV. Indicadores de impacto

Indicadores de impacto o influencia:

Tratan de encontrar medidas indirectas de la calidad intrínseca de los trabajos, como pueden ser el uso que la comunidad científica hace de un determinado documento, su impacto o influencia mediante:

- Impacto de los trabajos a partir de citas recibidas.
- Impacto de las fuentes utilizadas, basado en su visibilidad en bibliotecas, repertorios, bases de datos o en el factor de impacto de las revistas de publicación.

Factor de impacto medio de las revistas utilizadas por una institución o país para la publicación”.

2.3 Antecedentes de la dendrocronología

La concepción de los anillos de crecimiento anuales en especie arbóreas se remonta a la época de Teofrasto en 322 A.C; a finales del siglo XV se le atribuye a Leonardo Da Vinci el descubrimiento de los anillos anuales en los árboles (Speer, 2010), no obstante a estos anticipados hallazgos, el estudio y análisis de estas estructuras arbóreas fue progresivo, tomando mayor relevancia con la aparición de la dendrocronología (Fo *et al.*,2009).

A principios del siglo XX se introduce la palabra dendrocronología con referencia al estudio de anillos de crecimiento (Edvardsson *et al.*,2021); la palabra tiene su origen del griego *dendron* (árbol), *cronos* (tiempo) y *logos* (conocimiento) (Mendivelso *et al.*,2016b); a pesar de que sus orígenes datan del siglo XX, contrastada con otras ciencias milenarias la dendrocronología se concibe como una ciencia moderna (Stahle *et al.*,2011).

Andrew E. Douglass fue el primer investigador en usar datación cruzada que es un método fundamental de la dendrocronología (Cook & Kairiūkštis, 1990), con la aplicación de esta técnica efectuó una de las primeras investigaciones dendrocronológicas, con la cual demuestra una clara relación entre el ancho de los anillos de crecimiento de diversas especies de coníferas y la precipitación en el suroeste de los Estados Unidos. Debido a la trascendencia de las aportaciones de este personaje a la dendrocronología, actualmente se le reconoce como el padre de esta ciencia (Giraldo Jiménez, 2011).

La dendrocronología moderna se basa en un conjunto de principios y métodos, cuya aplicación permite medir y fechar con precisión los anillos de crecimiento anuales (datación), interpretar la información extraída de los anillos y detectar factores que influyen en su desarrollo (Merino, 2009). El estudio de los anillos de crecimiento mediante el uso de la dendrocronología ha permitido a los investigadores aportar datos trascendentes sobre la variabilidad climática de las regiones de estudio, además de otras aportaciones en otros campos de las ciencias como ecología, hidrología, arqueología, geomorfología, contaminación, entre otros (Manzanilla Quiñones *et al.*,2020).

Dendrocronología en México.

Los trabajos dendrocronológicos realizados por Schulman en el Desierto de los Leones cerca de la CDMX y en el estado de Durango a principios de la década de 1940 (Naylor, 1971), marcan el inicio de la dendrocronología en México, sin embargo, a pesar de haber obtenido resultados prometedores sobre todo en Durango, Schulman, (1956) se mostró pesimista respecto al futuro de esta ciencia en el país.

Los esfuerzos de Schulman se vieron mejorados en la década de 1970, cuando investigadores del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona efectuaron múltiples expediciones de investigación logrando generar diversas cronologías (Villanueva-Díaz *et al.*,2011). Posteriormente, en la segunda mitad del

siglo XX se sumaron otros esfuerzos de desarrollo de la dendrocronología como Naylor, (1971); Suzan-Azpiri, (1985) y Huante *et al.*,(1991), no obstante y a pesar de la gran riqueza de especies arbóreas presentes en los ecosistemas forestales de todo el país, el desarrollo de esta ciencia se restringió a zonas muy específicas y a la producción de una cantidad limitada de cronologías (Villanueva-Díaz *et al.*,2008).

Para el siglo XXI, el desarrollo de nuevas estrategias de investigación apoyadas con alianzas internacionales, aunado al creciente interés mundial sobre el conocimiento de la variabilidad climática y sus impactos sobre los ecosistemas forestales y fundamentalmente con el establecimiento del primer laboratorio de dendrocronología en México (Villanueva-Díaz *et al.*,2009), se incentiva la investigación dendrocronológica en México (Reyes-Basilio *et al.*,2020) bajo un dominio de un enfoque dendroclimático (Acosta-Hernández *et al.*,2017).

En las últimas décadas el estudio de la dendrocronología en México se ha acelerado, gracias a ello se ha producido una cantidad considerable de cronologías que derivan de especies que habitan en diversos ecosistemas forestales del país (Manzanilla Quiñones *et al.*,2020), la mayoría de estas especies pertenecen a los géneros *Pinus*, *Pseudotsuga* y *Taxodium*, y en menor medida *Abies* y *Quercus*, y su estudio se ha llevado a cabo principalmente en el norte y centro del país (Pompa García *et al.*,2017).

Las coníferas han sido frecuentemente utilizadas con fines dendrocronológicos en el país, dado que, su capacidad intrínseca para producir anillos anuales de crecimiento bien definidos facilita su análisis bajo esta perspectiva (Díaz *et al.*,2000), por su parte, las latifoliadas han sido subutilizadas (Durán-Guerra *et al.*,2014; Villanueva-Díaz *et al.*,2021).

No obstante, en México se han realizados trabajos exploratorios de potencial dendrocronológico (Durán-Guerra *et al.*,2014; López-Ayala *et al.*,2006; Roig *et al.*,2005) y otros en los que se ha comprobado la factibilidad de especies latifoliadas para su inclusión en la dendrocronología (Villanueva-Díaz *et al.*,2021). Los avances

de esta ciencia en México aunados a la gran diversidad presente en el país, lo colocan como uno de los países latinoamericanos con mayor potencial dendrocronológico .(Fo *et al.*,2009; Sánchez-Calderón *et al.*,2022)..

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se muestra como una institución pionera y a la vanguardia en la investigación dendrocronológica en México, suele colaborar con diversas instituciones nacionales e internacionales para la generación de diversos trabajos de investigación relacionados con esta ciencia, su plantilla de investigadores ha generado diversas publicaciones científicas y documentos técnicos de apoyo para el desarrollo de esta disciplina en México.

Otras instituciones nacionales (UNAM, UAAAN, COLPOS, entre otras) e internacionales sobre todo norteamericanas (University of Arkansas, The University of Arizona, Northern Arizona University, entre otras) han contribuido al desarrollo de esta ciencia en México, la colaboración entre estas y muchas otras instituciones involucradas constituye una red de colaboración interinstitucional basta.

Los enfoques de investigación de esta ciencia en México son diversos, con un una orientación dominante de búsqueda de relación del ancho de anillos de crecimiento con variables climáticas, sin embargo, se han explorado otras alternativas de estudio, con el objetivo de indagar en la posible relación entre los anillos de crecimiento y otras variables (ecológicas, hidrológicas, contaminación, vulcanología, incendios, entre otras); otros enfoques se han abordado mediante trabajos de innovación, determinación de potencial dendrocronológico, aplicación básica y de análisis de esta ciencia en el país, estos últimos de manera escasa (Grissino-Mayer, 2003).

Particularmente los estudio que sintetizan y analizan el avance de la dendrocronología en México son escasos; Bannister & Scott, (1964) recapitulan los avances de esta ciencia en el país, Villanueva-Díaz *et al.*,(2000) realizan una síntesis y análisis de los estudios dendrocronológicos realizados en México hasta

los inicios del siglo XXI; Acosta-Hernández *et al.*,(2017) realizan una revisión sistemática de las investigaciones dendrocronológicas llevadas a cabo en México, publicadas entre los años 2001 y 2016.

Las revisiones sistemáticas de literatura son un tipo de investigación basado en evidencia, las cuales surgen como una estrategia para darle mayor certidumbre a la aplicación de procedimientos medico (Lund *et al.*,2018). Desde su surgimiento y hasta el presente, este tipo de investigación se ha utilizado principalmente en las ciencias médicas para determinar la eficiencia y seguridad de la investigación médica (Villasís-Keever *et al.*,2020).

No obstante, la necesidad de contar con fuentes fiables de evidencia para la resolución de problemáticas y darle mayor certidumbre a la investigación de otros campos de la ciencia, ha conducido al uso extendido de las metodologías de revisión sistemática y síntesis de evidencia; tal es el caso de las ciencias ambientales, en las cuales se ha aplicado esta metodología, como sostén para la toma de decisiones, entre muchos otros objetivos (Colaboración para la evidencia ambiental, 2013).

2.4 Literatura citada

- 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>.
- Arreola-Ortiz, M. R., & Návar-Cháidez, J. de 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.
- Ávila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & Vargas-Larreta, B. (2018). Dendrocronopirología: Análisis de la evidencia morfológica de incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(21), 136-147. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i21.363>
- Baillie, M. G. L. (1990). *Tree-ring dating and archaeology*. University of Chicago Press.
- 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., Hernandez-Morales, S., Gonzalez-Hernandez, G., Constante-Garcia, V., & Villanueva-Diaz, J. (2013). Dendrochronological potential of *Fraxinus uhdei* and its use as bioindicator of fossil CO₂ emissions deduced from radiocarbon concentrations in tree rings. *Radiocarbon*, 55(2), 833-840. <https://doi.org/10.1017/S0033822200057994>
- Cárdenas-Tapia, M. (2021). Redes de colaboración científica en el Instituto Politécnico Nacional de México. *Investigación Administrativa*, 50-1, 1-22. <https://doi.org/10.35426/IAv50n127.06>

Catalá-López, F., Tobías, A., & Roqué, M. (2014). Conceptos básicos del metaanálisis en red. *Atención Primaria*, 46(10), 573-581. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2014.01.006>

Cerano Paredes, J., Villanueva Díaz, J., Valdez Cepeda, R. D., Méndez González, J., & Constante García, V. (2011). Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México TT - Reconstructed droughts in the last 600 years for northeastern Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe2), 235-249.

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Fulé, P. Z., Brown, P. M., Yocom, L. L., Constante-García, V., & Estrada-Ávalos, J. (2009). Interpretación del historial de incendios en bosques mixtos de coníferas (Primera Edición). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

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>

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>

Chuncho-V., G. A., Chuncho M.a, C. G., & Aguirre M., Z. H. (2019). Anatomía y morfología vegetal.

Colaboración para la evidencia ambiental. (2013). Directrices para revisiones sistemáticas y síntesis de las evidencias en gestión medioambiental. Evidencia medioambiental: www.environmentalevidence.org/Documents/Guidelines/Guidelines4.2.pdf

- Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., & Estrada-Ávalos, J. (2009). *Medición y calidad de fechado en anillos de árboles (Primera Edición)*. INIFAP-CENID RASPA.
- Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., & Estrada-Ávalos, J. (2010). *Parámetros para definir el potencial dendrocronológico*. INIFAP CENID RASPA.
- Cook, E., & Kairiūkštis, L. (Eds.). (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental science*. Kluwer Academic Publishers; International Institute for Applied Systems Analysis.
- Correa-Díaz, A., Gómez-Guerrero, A., Villanueva-Díaz, J., Castruita-Esparza, L. U., Martínez-Trinidad, T., & Cervantes-Martínez, R. (2014). Análisis dendroclimático de Ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el centro de México. *Agrociencia*, 48, 537-551.
- Díaz, J. V., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Therrell, M. D. (2000). Estado actual de la dendrocronología en México. *Ciencias forestales en Mexico*, 25(88).
- Douglas, A. E. (1941). Crossdating in Dendrochronology. *Journal of Forestry*, 39, 825-831. <https://doi.org/10.1093/jof/39.10.825>
- Durán-Guerra, O., Quintanar-Isaías, A., Villanueva-Díaz, J., Jaramillo-Pérez, A. T., & Cerano-Paredes, J. (2014). Características anatómicas de la madera de *Bursera lancifolia* (Schltdl.) Engl. Con potencial dendrocronológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 76-89. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i26.291>
- Edvardsson, J., Almevik, G., Lindblad, L., Linderson, H., & Melin, K.-M. (2021). How cultural heritage studies based on dendrochronology can be improved through two-way communication. *Forests*, 12(8), 1047. <https://doi.org/10.3390/f12081047>

- Escrig-Sos, V. J., Lluca Abella, J. A., Granel Villach, L., & Bellver Oliver, M. (2021). Metaanálisis: Una forma básica de entender e interpretar su evidencia. *Revista de Senología y Patología Mamaria*, 34(1), 44-51.
- Evans, M. N., & Schrag, D. P. (2004). A stable isotope-based approach to tropical dendroclimatology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(16), 3295-3305. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.01.006>
- Fau, C. R., & Nabzo, S. (2020). Metaanálisis: Bases conceptuales, análisis e interpretación estadística. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 94(6), 5178. <https://doi.org/10.24875/RMO.M20000134>
- Fernández-Sánchez, H., King, K., Enríquez-Hernández, C. B., Fernández-Sánchez, H., King, K., & Enríquez-Hernández, C. B. (2020). Revisiones sistemáticas exploratorias como metodología para la síntesis del conocimiento científico. *Enfermería universitaria*, 17(1), 87-94. <https://doi.org/10.22201/eneo.23958421e.2020.1.697>
- Fo, M. T., Roig, F. A., & Pollito, P. A. Z. (2009). Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecología en Bolivia*, 44(2), 73-82.
- 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>
- Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0>
- García-Hernández, A. (2013). Las redes de colaboración científica y su efecto en la productividad. Un análisis bibliométrico. *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 27(59), 159-175. [https://doi.org/10.1016/S0187-358X\(13\)72535-8](https://doi.org/10.1016/S0187-358X(13)72535-8)

- García-Perdomo, H. A. (2015). Conceptos fundamentales de las revisiones sistemáticas/metaanálisis. *Urología Colombiana*, 24(1), 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.uroco.2015.03.005>
- Gimenez, A. M., Moglia, J. G., Hernandez, P., & Gerez, R. (2005). *Anatomía de madera (Segunda)*. Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- 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., Molina, M., 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>
- González Elizondo, M. A., González Elizondo, M. D. S., Villanueva Díaz, J., & Cerano Paredes, J. (2017). Evaluación del potencial dendroclimático de *Pinus lumholtzii* B.L. Rob. & Fernald. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42), 28-54. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i42.18>
- Grissino Mayer, H. (2003). A Manual and Tutorial for the Proper Use of an Increment Borer. *Tree-Ring Research*, 59(2), 63-79.
- Huante, P., Rincón, E., & Swetnam, T. W. (1991). Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacan, Mexico. *Tree-Ring Bulletin*, 51, 15-28.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Anatomía de la madera. Terminología (Primera)*.
- La Literatura Gris. (2011). *Formación Universitaria*, 4(6), 1-2. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062011000600001>

- LaMarche, V. C., & Hirschboeck, K. K. (1984). Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions. *Nature*, 307(5947), 121-126. <https://doi.org/10.1038/307121a0>
- Laufer, M. (2007). ¿Qué hacer con la literatura gris? *Interciencia*, 32(1), 5-7.
- Llorente, C. (2012). La historia que nos explican los árboles Dendrocronología: Reconstruyendo la historia. *Biol. on-line*, 1, 1-22.
- López Ayala, J. L., Valdez Hernández, J. I., Terrazas, T., & Valdez Lazalde, R. J. (2006). Growth rings and their periodicity in three tropical species of the State of Colima, México. *Agrociencia*, 40(4), 533-544.
- López-Ayala, J. L., Hernández-Valdez, J. I., Terrazas, T., & Valdez-Lazalde, J. R. (2006). Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de Colima, México. *Agrociencia*, 40(4), 533-544.
- Lund, H., Brunnhuber, K., Juhl, C., Robinson, K., Leenaars, M., Dorch, B. F., Jamtvedt, G., Nortvedt, M. W., Christensen, R., Chalmers, I., Lund, H., Brunnhuber, K., Juhl, C., Robinson, K., Leenaars, M., Dorch, B. F., Jamtvedt, G., Nortvedt, M. W., Christensen, R., & Chalmers, I. (2018). Hacia la investigación basada en la evidencia. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 22(1), 92-100. <https://doi.org/10.14306/renhyd.22.1.572>
- Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, 91(3), 149-155.
- Manzanilla Quiñones, 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(0), 913117. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3117>

- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. A. (2020a). Tejidos vegetales: Meristemas. En Atlas de Histología Vegetal y Animal. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo.
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. A. (2020b). Tejidos vegetales: Vasculares. En Atlas de Histología Vegetal y Animal. Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo.
- Mendivelso, H. A., Camarero, J. J., & Gutiérrez, E. (2016a). Dendrochronology in Neotropical dry forests: Methods, advances and applications. *Ecosistemas*, 25(2), 66-75. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>
- Mendivelso, H. A., Camarero, J. J., & Gutiérrez, E. (2016b). Dendrochronology in Neotropical dry forests: Methods, advances and applications. *Ecosistemas*, 25(2), 66-75. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>
- Merino, E. G. (2009). La dendrocronología: Métodos y aplicaciones. *Arqueología nautica mediterrània*, 6, 309-322.
- Miranda-Avilés, R., Puy-Alquiza, M. J., & Martínez-Reyes, J. (2007). El árbol: Fuente de información en las ciencias de la tierra. *Elementos : Ciencia y cultura*, 14(067), 41-43.
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S., & Villanueva, J. (2018). Revisiones sistemáticas: Definición y nociones básicas. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 11(3), 184-186. <https://doi.org/10.4067/S0719-01072018000300184>
- Nabors, M. W. (2006). Introducción a la estructura de las plantas. En *Introducción a la botánica* (No. 581). Pearson.
- Naylor, T. H. (1971). Dendrochronology in Oaxaca, Mexico: A preliminary study. *Tree-Ring Bulletin*, 31, 25-29.

- Panyushkina, I. (2011). Dendrochronology. En *Encyclopedia of Science & Technology* (11th ed.). McGraw Hill.
- Pérez, M. D., Guerrero, R. C., & Reyes, R. G. (2019). Análisis de las redes de colaboración en la innovación para el desarrollo. *COODES*, 7(1), 21.
- Pompa García, M., González Cásares, M., Acosta Hernández, A. C., Camarero, J. J., & Rodríguez Catón, M. (2017). Drought influence over radial growth of Mexican conifers inhabiting mesic and xeric sites. *Forests*, 8(5), 1-13. <https://doi.org/10.3390/f8050175>
- 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), 12. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632112>
- Roig, F. A., Jimenez-Osornio, J. J., Villanueva-Diaz, J., Luckman, B., Tiessen, H., Medina, A., & Noellemeier, E. J. (2005). Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula. *Dendrochronologia*, 22(3), 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.007>
- Roig-Juñent, F. A., Villanueva-Díaz, J., Jiménez-Osornio, J. J., Hayden, W. J., Barajas-Morales, J., & Luckman, B. H. (2012). Anatomía de maderas en comunidades rurales de Yucatán. INIFAP CENID RASPA.
- 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). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632116>
- Sánchez-Calderón, O. D., Carlón-Allende, T., Mendoza, M. E., & Villanueva-Díaz, J. (2022). Dendroclimatology in Latin America: A review of the state of the art. *Atmosphere*, 13(5), 748. <https://doi.org/10.3390/atmos13050748>

- Schulman, E. (1956). *Dendroclimatic Changes in Semiarid America*. University of Arizona Press.
- Schweingruber, F. H. (1996). *Tree rings and environment dendroecology*. Paul Haupt.
- Solano-López, E., Castellanos-Quintero, S., López-Rodríguez del Rey, M., & Hernández-Fernández, J. (2009). La bibliometría: Una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *MediSur*, 7(4), 59-62.
- Speer, J. (2010). *Fundamentals of Tree Ring Research*.
- Stahle, D. W. (1999). Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. *IAWA Journal*, 20(3), 249-253. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000688>
- Stahle, D. W., Diaz, J. V., Burnette, D. J., Paredes, J. C., Heim, R. R., Fye, F. K., Soto, R. A., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K., & Stahle, D. K. (2011). Major Mesoamerican droughts of the past millennium. *Geophysical Research Letters*, 38(5), 2-5. <https://doi.org/10.1029/2010GL046472>
- 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>
- Stokes, M. A., & Smiley, T. L. (1996). *An Introduction to tree-ring dating*. University of Arizona Press.
- Suzan-Azpiri, H. (1985). Estudios autoecologico-dendrocronologico en *Pinus nelsonii*. En *Memorias primer simposium nacional sobre pinos piñoneros*.
- Torbenson, M. C. A. (2015). Dendrochronology. En *Geomorphological Techniques*. British Society for Geomorphology.

- 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: Vol. Folleto Técnico (Primera edición). INIFAP-CENID RASPA.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Constante-García, V., & Estrada-Avalos, J. (2010). Estandarización y desarrollo de series dendrocronológicas en México (Primera Edición). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Estrada-Ávalos, J., & Constante-García, V. (2008). Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco y reconstrucciones de precipitación y flujo en México (Primera edición). CENID-RASPA, INIFAP.
- 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. En Escenarios de Cambio Climático: Registros del Cuaternario en América Latina (pp. 47-72). UNAM, Instituto de Geofísica, Dirección General de Publicaciones y Fomento
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K., & Sánchez-Cohen, I. (2004). Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. INIFAP-CENID RASPA.
- Villanueva-Díaz, J., Martínez-Sifuentes, A. R., Quiñonez-Barraza, G., Estrada-Ávalos, J., Perez-Evangelista, E. R., del Rocío Reyes-Camarillo, F., & Reyes-Camarillo, R. (2021). Annual radial growth and climatic response of *Quercus crassifolia* bonpl. in northwestern Durango, Mexico. *Trees*, 35(3), 783-798. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02077-5>

- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Therrell, M. D. (2000). Estado actual de la dendrocronología en México. *Revista Ciencias Forestales en México*, 25(88), 5-36.
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Luckman, B. H., Cerano-Paredes, J., Therrell, M. D., Morán-Martínez, R., & Cleaveland, M. K. (2007). Potencial dendrocronológico de *Taxodium mucronatum* Ten. Y acciones para su conservación en México. *Revista Ciencias Forestales en México*, 32(101), 9-37.
- Villasís-Keever, M. Á., Rendón-Macías, M. E., García, H., Miranda-Novales, M. G., Escamilla-Núñez, A., Villasís-Keever, M. Á., Rendón-Macías, M. E., García, H., Miranda-Novales, M. G., & Escamilla-Núñez, A. (2020). La revisión sistemática y el metaanálisis como herramientas de apoyo para la clínica y la investigación. *Revista alergia México*, 67(1), 62-72. <https://doi.org/10.29262/ram.v67i1.733>
- Zúñiga-Sánchez, E., Martínez-Barajas, E., Zavaleta-Mejía, E., & Gamboa-de-Buen, A. (2017). El floema y la ruta simplástica durante la formación de órganos de demanda. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(3), 249-259.

CAPITULO 3. ARTICULO CIENTÍFICO

LA DENDROCRONOLOGÍA EN LOS ÚLTIMOS SETENTA AÑOS EN MÉXICO

DENDROCHRONOLOGY IN LAST SEVENTY YEARS IN MEXICO

Resumen

El estudio de la dendrocronología se ha intensificado en los últimos años debido a su estrecha relación con la resolución de problemas ambientales. Analizar mediante revisión bibliográfica extensa (motores de búsqueda, sitios web y publicaciones de revistas nacionales e internacionales) el desarrollo de estudios de dendrocronología en México. La información obtenida se ordenó en una base de datos y se clasificó en nueve categorías. Se obtuvieron frecuencias en los estudios, así como documentaron las especies y periodos estudiados. Se encontraron 229 documentos publicados en el periodo 1944 a 2021. Para el periodo 2009 a 2021 la dendrocronología en México revela un auge, resaltando la dendroclimatología como la subdisciplina con mayor número de estudios. Se encontraron 429 cronologías diferentes que espacialmente se distribuyen principalmente en la Sierra Madre Occidental. Sobre la extensión temporal reconstruida, de 1801 a 2019 corresponde al periodo mejor representado. Las especies mayormente estudiadas son *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus hartwegii*. La aplicación de esta ciencia ha favorecido principalmente la reconstrucción de la precipitación. Dada su inmensa 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 ciencia en el país.

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

Abstract

Dendrochronology research has intensified in recent years due to its close relationship with the resolution of environmental problems. To analyze with extensive bibliographic review (specialized research engines, websites and national and international journals) the development of dendrochronology in Mexico. With information acquired a database was created and it were classified into nine categories. Frequencies and site of studies were compiled. It were found 229 documents published in the 1944 to 2021 period. For years 2009 - 2021, dendrochronology in Mexico reveals a boom, highlighting dendroclimatology as the subdiscipline with most studies. Also, 429 different chronologies were found and are spatially distributed mainly in the Sierra Madre Occidental. Regarding the reconstructed temporal extension, the period from 1801 to 2019 corresponds to the best represented one. The most studied species are *Pseudotsuga menziesii* and *Pinus hartwegii*. Application of this science has mainly favored the reconstruction of precipitation data. It is concluded that, given its immense diversity, Mexico has a high dendrochronological potential, however, it is essential to extend the physical and intellectual borders and expand the spatial margins of the study of this science.

Keywords: chronologies, climatic reconstruction, dendroclimatology, dendroecology, growth rings.

Introducción

El buen desarrollo de los ecosistemas forestales está determinado principalmente por factores ambientales. Cuando el conjunto de estos factores se asemeja a las condiciones óptimas el crecimiento es mayor. Por el contrario, en condiciones hostiles el crecimiento es pobre (Villanueva-Díaz *et al.*,2011). La naturaleza propia del crecimiento radial de las especies forestales leñosas -en especial las pertenecientes al grupo de las coníferas- favorece el desarrollo de anillos de crecimiento. Los anillos son estructuras anatómicas que intrínsecamente registran la variabilidad e influencia temporal de factores como el clima, incendios, plagas, enfermedades, procesos geomorfológicos, competencia, contaminación atmosférica, manejo antrópico, entre otros (Franco-Ramos & Vázquez-Selem, 2017). De los anteriores, 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 anuales y su relación con las condiciones ambientales características de los sitios en los que se desarrollan (Fritts, 1976). Mediante la aplicación de esta ciencia es posible reconstruir y analizar una parte de la historia ambiental bajo la cual se desarrollaron los árboles (Bradley, 1999).

El estudio de los anillos de crecimiento mediante técnicas dendrocronológicas permite el análisis de diversas variables ambientales y procesos ecológicos a lo largo de cientos e inclusive miles de años (Douglas, 1941). Así, la datación de los anillos de crecimiento de especies sensibles a condiciones ambientales particulares se ha consolidado como una técnica confiable para el análisis histórico de dichas condiciones. Ofrece además la ventaja de un análisis temporal más extenso en comparación con el uso de datos instrumentales (Villanueva-Díaz *et al.*,2002).

Acorde con el uso que se le confiera a las series dendrocronológicas y el campo de aplicación (Amoroso & Suarez, 2015) se reconocen diversas subdisciplinas de esta ciencia. A saber: dendroclimatología, dendroarqueología, dendrocronopirocronología, dendroecología y dendrogeomorfología (Bradley, 1999).

En México el estudio de la dendrocronología comenzó en la década de 1940 con los trabajos pioneros realizados por Schulman (1944). A principios de la década de 1960 se generan nuevas cronologías como parte de la expedición a Casas Grandes en Chihuahua. Una de ellas flotante con extensión de 500 años (Bannister & Scott, 1964). En la década de 1970 a través del “Proyecto Mexicano de Anillos de Árboles” se realizaron múltiples expediciones y se obtiene el desarrollo de diversas cronologías (M. Therrell, 2003). No obstante, estas cronologías han sido escasamente utilizadas (Villanueva-Díaz *et al.*,2011). Naylor (1971) realizó un estudio preliminar en Oaxaca, pero no tuvo éxito con la generación de cronologías.

Para inicio del siglo XXI el creciente interés global por el conocimiento de la variabilidad histórica del clima y de otros factores ambientales influyentes en la dinámica de los bosques (incendios y fenómenos de circulación atmosférica) se reflejó en un incremento en el estudio dendrocronológico en México. Se vio impulsado a su vez por la contribución técnica y económica de organismos internacionales (Villanueva-Díaz *et al.*,2002).

Particularmente en las últimas dos décadas se ha observado un sustancial progreso en México. El uso de múltiples especies forestales con potencial dendrocronológico probado bajo diversos enfoques evidencia la viabilidad del país para el desarrollo de esta ciencia (Reyes-Basilio *et al.*,2020). Gracias al avance, México se ha posicionado como uno de los principales países latinoamericanos en la investigación dendrocronológica (Fo *et al.*,2009, Sánchez-Calderón *et al.* 2022).

Bajo el contexto anterior, el objetivo de este estudio fue analizar la evolución espaciotemporal del estudio de la dendrocronología en México, mediante una

extensiva revisión bibliográfica y el análisis de los diversos productos de carácter científicos, para generar información que de una amplia idea de la aplicación de esta ciencia en el país y consecuentemente diagnosticar necesidades y oportunidades de investigación y que sirva como base para la toma de decisiones que influyen en el continuo desarrollo de esta ciencia.

Materiales y métodos

El estudio consideró publicaciones científicas (artículos científicos) así como literatura gris (libros y capítulos, memorias de congresos y simposios, folletos técnicos y preprints). Éstos últimos son productos con resultados de investigación emitidos por la comunidad científica y que directa e indirectamente se relacionan con el avance de esta ciencia en México (Montes de Oca-Montano, 2018).

La búsqueda y obtención de información se hizo a través de motores de búsqueda públicos: Science Direct, Scopus, Wiley Online Library y Springer. Adicionalmente se consultaron sitios web (Google Academic, Redalyc, SciELO y PubMed). Especial atención se aplicó al contenido 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) e internacionales (Dendrochronologia, Tree-Ring Research, Trees and Forest).

Se utilizaron las siguientes palabras clave en español e inglés: “dendrocronología”, “anillos de crecimiento”, “México”, “dendroclimatología”, “dendroecología”, “crecimiento radial”, “cronologías”, “reconstrucción climática”, “anillos de árboles”, “cicatrices de incendios”, “paleoclimatología” y combinaciones de estas. Como criterios de inclusión se consideraron todas las publicaciones con alguna referencia al tema y análisis de la dendrocronología en México.

Se elaboró una base de datos en el programa Microsoft Excel utilizando macros para semi automatizar el proceso. Los campos de información correspondieron a:

un identificador único compuesto por números consecutivos, título, año de publicación, revista de publicación, autores, institución de procedencia, sitio de estudio (entidad, latitud, longitud y altitud), especie estudiada, tipo de vegetación, variable medida en anillos (ancho de anillo, madera temprana, madera tardía, composición química, cicatrices de incendios, cicatrices de procesos geomórficos u otras), amplitud y periodo de la cronología generada, variable reconstruida y amplitud y periodo de la reconstrucción.

La información fue clasificada de acuerdo con los análisis de las cronologías de anillos ostentados; definiéndose nueve categorías: Dendroclimatología, Dendroecología, Dendroquímica, Dendrogeomorfología, Dendrohidrología, Dendrocronopirología, Dendrovolcanología y otros. Se analizó cada categoría según frecuencias, especies y lugares analizados.

Resultados y discusión

Se obtuvieron 229 documentos, siendo 89% (205) artículos científicos que representaron la mayoría (ver Material adicional 1). Libros o secciones figuraron con 6.6% (15) y memorias de eventos de divulgación científica con 3% (7). Finalmente, los preprints ostentaron el 0.44% (1). De acuerdo con Garza-Almanza (2004) bajo diversos cánones cada uno de estos documentos refleja un valor científico. No obstante, bajo el contexto de la ciencia sustentada en la investigación científica, toman mayor relevancia los artículos científicos, dado que suelen tener la validación de instituciones acreditadas para la divulgación de la ciencia.

Los artículos científicos publicados en materia dendrocronológica son en amplia gama de revistas cuyo enfoque editorial en conjunto abarca diversas esferas de investigación. En total se registraron 83 revistas diferentes, mayoritariamente extranjeras (74.4%). Se resalta que tanto las revistas nacionales como extranjeras fueron indexadas.

Lo anterior refleja en cierta medida la calidad de la producción científica de esta ciencia en México. Los artículos publicados cumplieron con requisitos para posicionar sus resultados en revistas exigentes (Moya-Anegón & Herrán-Páez, 2018). Las revistas con mayor número de publicaciones en la temática son: *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, Madera y Bosques* y *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* que corresponden a revistas nacionales. Más de la mitad (53.66%) de los artículos publicados fueron en revistas extranjeras, principalmente norteamericanas (**Figura 2**).

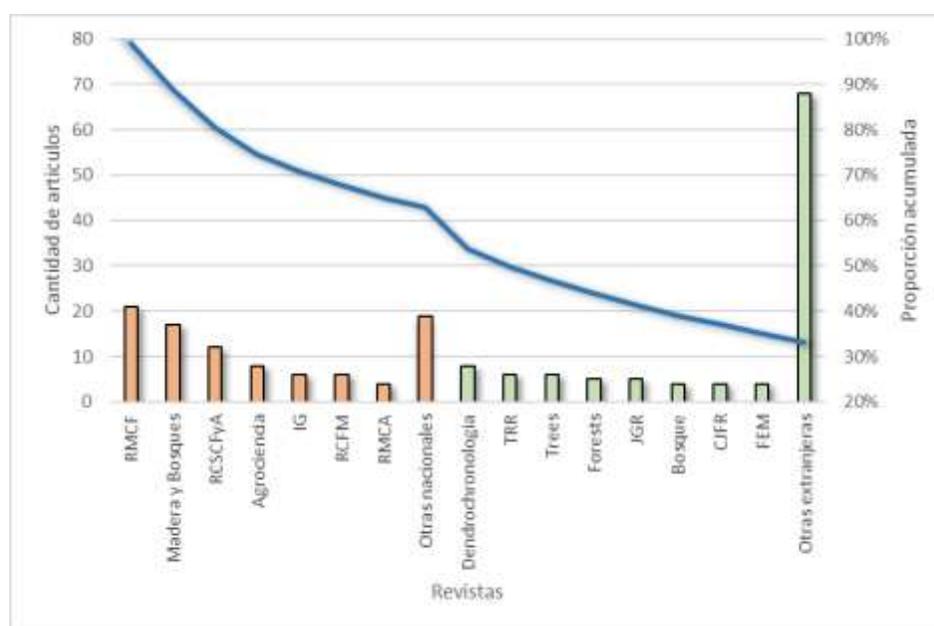


Figura 2. Principales revistas nacionales (naranja) y extranjeras (verde) en las que se publica. (**RMCF**: Revista Mexicana de Ciencias Forestales; **RCSCFyA**: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente; **IG**: Investigaciones Geográficas; **RCFM**: Revista de Ciencias Forestales en 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).

Respecto al año de publicación, los documentos cubren el periodo de 1944 a 2021. En el periodo, se observó publicación científica únicamente en 33 diferentes años. Considerando el periodo de 77 años la producción media indica 2.94 publicaciones por año. Si se considera los años con producción se obtiene una producción media de 6.94 publicaciones por año.

Lo anterior revela una divergencia en el avance temporal del estudio de la dendrocronología en México. Los inicios de esta ciencia en el país se suscitaron en la década de 1940 con los trabajos exploratorios realizados por Schulman (1944), en los cuales se obtuvieron resultados prometedores. No obstante, trabajos posteriores motivaron una sensación de incertidumbre sobre el potencial de México para el desarrollo de esta ciencia. Lo anterior se vio reflejado en la intermitencia con que se suscitó el desarrollo de esta disciplina y en la generación de una cantidad limitada de cronologías durante el siglo XX (Bannister & Scott, 1964; Diaz *et al.*,2000; Naylor, 1971). En el siglo XXI la tendencia de investigación revela cambios importantes.

Se diferencian tres periodos de producción científica de la dendrocronología en México. El primer periodo de 1944 a 1998, revela un limitado desarrollo y baja productividad de la investigación dendrocronológica en el país. Se registraron en los 54 años únicamente 12 productos científicos que representan 13.5%. Diaz *et al.* (2000) indican para este periodo una generación de poco más de 40 cronologías.

Posterior a este periodo, cuatro factores principales encauzan el resurgimiento del estudio de la dendrocronología en México; (1) el creciente interés en el ámbito científico sobre diferentes factores como: elementos climáticos y su variación temporal sugerente a un cambio climático, 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) el establecimiento de un Laboratorio de Dendrocronología en México, (3) el financiamiento nacional e internacional de proyectos de investigación (Villanueva-Díaz *et al.*,2008) y (4) la colaboración y soporte técnico de organismos internacionales (Villanueva-Díaz *et al.*,2011).

El segundo periodo abarca de 1999 a 2008. Aquí se originó 17% (39) de los productos científicos encontrados. Obsérvese mayor productividad que significa mejora sustancial en la investigación de esta ciencia en México. Villanueva-Díaz *et al.*,(2009) señalan a este periodo como un espacio en el que se robustecen los

conocimientos de la aplicación de esta ciencia en el país. Para el tercer periodo de 2009 a 2021 se revela un auge para esta ciencia en el país, reflejado en alta productividad. En el periodo se publicó 67.7% (178) de los productos científicos considerados en este estudio (**Figura 3A**).

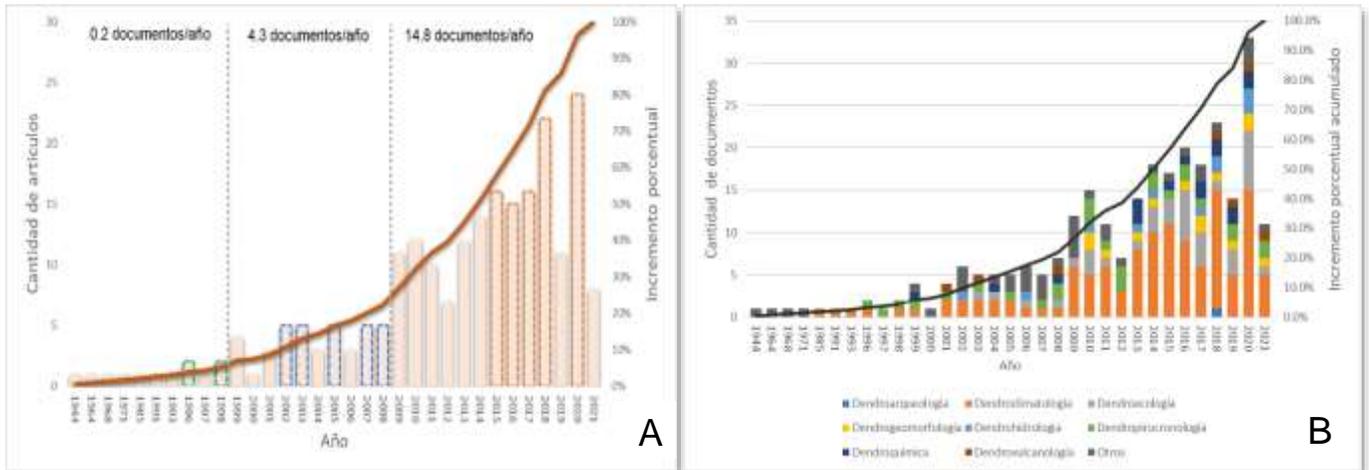


Figura 3. Distribución temporal de la producción científica de la dendrocronología en México. (A) Periodos de producción científica, las barras delineadas en verde, azul y rojo indican años con producción sobresaliente dentro del periodo correspondiente. (B) patrón de producción científica respecto a cada categoría.

El análisis temporal del estudio de la dendrocronología en México permitió distinguir nueve categorías o enfoques de investigación. Los resultados indican dominancia en la búsqueda de correspondencia entre el ancho de anillos de crecimiento y variables climáticas. Sin embargo, otros intereses de investigación han sido expresados mediante estudios que han buscado analizar la dependencia del crecimiento de anillos de crecimiento frente a otras variables ambientales (Grissino-Mayer *et al.*, 2005). Adicionalmente, con el desarrollo de estudios preliminares de potencial dendrocronológico, material de difusión de métodos y estudios de innovación (**Figura 3B**).

Dendroclimatología: La importancia del clima radica en su influencia sobre factores de interés antrópico. Su impacto positivo sobre estos factores implica bienestar social. Los impactos negativos producidos por eventos hidro climáticos

extremos (inundaciones, sequías, heladas y otros) se manifiestan con el decremento del bienestar humano. Por ello a nivel global en las últimas décadas se denota un incrementado en el interés del estudio de la variabilidad histórica del clima. Se busca incrementar el conocimiento sobre disponibilidad histórica del agua, fluctuaciones climáticas de alta y baja frecuencia, causas de la variabilidad y tendencias climáticas futuras (Villanueva-Díaz *et al.*,2015) y a partir de ello contribuir en la resolución y prevención de problemáticas.

En los últimos años, sin embargo, el desarrollo de datos climáticos asimilados procedentes de imágenes satelitales ha sido muy importante para disponer de información climática en particular en aquellas regiones donde no se cuenta con registros climáticos (Martínez *et al.*,2022).

La capacidad intrínseca que exponen algunas especies arbóreas para emitir una respuesta fisiológica frente a la variabilidad climática, expresándolo en el desarrollo versátil de sus anillos de crecimiento, constituye a los individuos de estas especies como auténticas bioestaciones meteorológicas (Cerano-Paredes *et al.*,2016: 2022). Esta capacidad fisiológica les permite registrar las condiciones dominantes del clima, así como sus variaciones interanuales a una escala espacial determinada y con una resolución estacional (Manzanilla-Quiñones *et al.*,2020).

Los métodos dendrocronológicos hacen factible detectar el grado de relación existente entre el ancho de los anillos de crecimiento y variables climáticas. Lo anterior da lugar a una rama de la dendrocronología denominada dendroclimatología. Esta subdisciplina cobra importancia por su potencial para el análisis de la variabilidad climática global influencia de fenómenos atmosféricos de circulación general y sus efectos sobre los recursos naturales (Gómez-Guerrero *et al.*,2013; Cerano-Paredes *et al.*,2011).

Los resultados indican que en México la dendroclimatología domina frente a los otros enfoques. Los estudios de dendroclimatología registran 53% (122) de los productos científicos publicados para México. Las áreas de estudio principales son

el norte y centro del país. Se observan avances en determinar la influencia de variables climáticas sobre el desarrollo de los bosques de estas regiones, posibilitando además la reconstrucción de dichas variables climáticas. Se ha logrado la reconstrucción de precipitación estacional (Cardoza-Martínez *et al.*,2018; Cerano-Paredes *et al.*,2009, 2012, 2016; Chávez-Gándara *et al.*,2017; Constante-García *et al.*,2009; Cortés-Barrera *et al.*,2012; Díaz-Ramírez *et al.*,2016; Irby *et al.*,2013; Manzanilla-Quiñones *et al.*,2018; Villanueva-Díaz *et al.*,2007, 2009; Villanueva-Díaz *et al.*,2008).

Otras variables climáticas también han mostrado relación con el desarrollo de los anillos de crecimiento. Se ha reconstruido con éxito la temperatura (Villanueva-Díaz *et al.*,2020) y la evaporación (Pompa-García *et al.*,2013). Dado que se ha demostrado que fluctuación del ancho de los anillos de crecimiento suele estar relacionada con estas variables y principalmente con la disponibilidad de agua, en algunos estudios ha sido posible deducir la ocurrencia de eventos de sequía (Arreola-Ortiz & Návar-Cháidez, 2010; Cerano-Paredes, Villanueva-Díaz, Valdez-Cepeda, Cornejo-Oviedo, *et al.*,2011; A. R. Martínez-Sifuentes *et al.*,2019).

La influencia que los patrones de circulación atmosférica ejercen sobre la variabilidad climática de México ha generado un interés por el análisis de la correlación entre la incidencia de estos fenómenos y el desarrollo de los anillos de crecimiento (Pompa-García *et al.*,2015). Este tipo de estudios dendroclimáticos han permitido el análisis del fenómeno del Niño Oscilación del Sur ENSO, por sus siglas en inglés (Cerano-Paredes, Villanueva-Díaz, Valdez-Cepeda, Cornejo-Oviedo, *et al.*,2011; Pompa-García *et al.*,2013, 2015; Stahle *et al.*,1998; Stahle & Cleaveland, 1993).

Se ha explorado la búsqueda de una relación entre eventos hostiles y 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 la determinación del potencial dendrocronológico de una gran variedad de especies (A. C. Acosta-Hernández *et al.*,2020).

Dendroecología: Algunos procesos ecológicos pueden quedar registrados en los árboles; la dendroecología es la rama de la dendrocronología especializada en ello (Rojas-García *et al.*,2020). Se ha sido aplicado para identificar la ocurrencia temporal de los procesos naturales que impactan el desarrollo de los anillos de crecimiento. A partir de ello ha sido posible determinar la importancia de estos procesos para el desarrollo de los ecosistemas forestales. La dendroecología se ha utilizado para caracterizar los patrones de crecimiento de los árboles (Correa-Díaz *et al.*,2019; Gómez-Guerrero *et al.*,2013; González-Cásares *et al.*,2015). Algunas variables de crecimiento que se derivan son incremento medio anual, incremento creciente anual, turnos técnicos, índices de sitio y otras variables de interés en la gestión forestal (M. M. Amoroso & Suárez, 2015, Castruita-Esparza *et al.* 2016).

En México la aplicación de esta subdisciplina ha tenido diversas orientaciones; mediante la composición del análisis estructural de los rodales y la dendrocronología se ha logrado determinar la edades del arbolado (Villanueva-Díaz *et al.*,2003, 2010), cantidades de biomasa (Correa-Díaz *et al.*,2019; Correa-Díaz *et al.*,2020; A. R. Martínez-Sifuentes *et al.*,2019), productividad forestal (Arreola-Ortiz & Nívar-Cháidez, 2010; Castruita-Esparza *et al.*,2016; Gómez-Guerrero *et al.*,2015; Reyes-Cortés *et al.*,2020) y capacidad de los bosques para la captura de carbono (García-Bedolla *et al.*,2015; González-Cásares *et al.*,2015; Reyes-Basilio *et al.*,2020).

Otras orientaciones tienen que ver con la evaluación de los efectos de sucesos climáticos extremos sobre el desarrollo general de los recursos naturales (A. C. Acosta-Hernández *et al.*,2020; Pacheco *et al.*,2020; Pompa-García *et al.*,2017; Rodríguez-Ramírez *et al.*,2018), impactos de las plagas sobre el crecimiento radial de los árboles (López-Sánchez *et al.*,2017) y análisis de la anatomía y densidad de la madera (Morgado-González *et al.*,2019; Rodríguez-Ramírez *et al.*,2020; Roig *et al.*,2005).

Dendrocronopirología: El fuego cumple con una función ecológica imprescindible para algunos ecosistemas forestales. Los beneficios han sido reconocidos por la comunidad científica. La descripción y análisis de los regímenes de incendios facilita

el manejo adecuado del fuego en los bosques (Fulé & Covington, 1996). El interés global por comprender la relación entre el fuego y el desarrollo de la vegetación ha ido en aumento en las últimas décadas (Ávila-Flores *et al.*,2018).

La dendrocronopirología brinda herramientas para la datación de los incendios a partir del análisis de las cicatrices que provoca el fuego en los anillos de crecimiento y con ello posibilita la estimación de parámetros descriptivos de los regímenes históricos de incendios (Cerano-Paredes *et al.*,2019). Se facilita así la detección de la perturbación antrópica en la ocurrencia de incendios y la fundamentación de estrategias de manejo del fuego en bosques (Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019).

En México esta subdisciplina es cada vez más frecuente. Sin embargo, los estudios realizados aún son escasos considerando que el país cuenta con una vasta superficie boscosa en la que, la presencia o ausencia de incendios merece ser analizada (Cerano-Paredes *et al.*,2009; Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019).

En la mayoría de los estudios se ha determinado la modificación de los regímenes de incendios, señalando periodos de exclusión principalmente para las últimas décadas y presumiblemente causados por la actividad humana (Cerano-Paredes *et al.*,2021; Fulé & Covington, 1999; Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019; L. Yocom *et al.*,2014; L. L. Yocom *et al.*,2010).

Lo anterior ha sido fuente de preocupación para la comunidad científica dado que la supresión de los incendios constituye un riesgo latente de ocurrencia de incendios severos posteriores. Lo anterior debido a se genera una mayor acumulación de materiales combustibles; además en muchos bosques la presencia de fuego es parte de su ecología (Cerano-Paredes *et al.*,2021).

Como resultado de algunos estudios se ha recomendado el manejo del fuego en las áreas de estudio, enfocados a la inclusión de prácticas como las quemas preinscritas, para reducir los combustibles y el riesgo de incendios severos (Cerano-

Paredes *et al.*,2021; González-Tagle *et al.*,2008; Ponce-Calderón *et al.*,2021; Stephens *et al.*,2003).

Trabajos como el de (Skinner *et al.*,2008) han explorado exitosamente la posibilidad de una relación entre el clima y la ocurrencia de incendios. No obstante, en otros casos (Fulé & Covington, 1999) se ha determinado que dicha relación es pobre. Estos resultados desiguales pueden deberse a las condiciones particulares de los sitios de estudio (ubicación geográfica, topografía, tipo de vegetación, entre otros). Por último, se ha probado el análisis de cicatrices, como el caso de (Stephens *et al.*,2010) quienes analizaron la probabilidad de la formación de cicatrices de incendios. Encontraron que posterior a un incendio, solo una pequeña proporción de los árboles genera cicatrices.

Dendroquímica: Los árboles pueden absorber componentes químicos provenientes del agua, suelo o del aire circundantes. La variación de componentes químicos o contaminación en cualquiera de estos medios puede verse reflejado en una variación del contenido químico de los anillos de crecimiento (Reyes-Camarillo *et al.*,2020).

Con base en el análisis dendrocronológico es posible determinar la variabilidad temporal del contenido químico de los anillos de crecimiento. La dendroquímica es la subdisciplina que con apoyo en métodos químicos facilita este análisis, además 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 esta subdisciplina ha sido pobremente abordada sólo en los últimos años. Sus enfoques han sido básicamente tres: análisis de isotopos estables y fisiología del arbolado (L. Beramendi-Orosco *et al.*,2015; L. E. Beramendi-Orosco *et al.*,2018; Brienen *et al.*,2013; Correa-Díaz *et al.*,2020; Gómez-Guerrero *et al.*,2013; Pacheco *et al.*,2020), impacto de la contaminación ambiental en concentración química de los anillos (Flores *et al.*,2017; Morton-Bermea *et al.*,2016; Watmough &

Hutchinson, 1999) y determinación de la composición de elementos químicos (Sheppard *et al.*,2008).

Dendrogeomorfología: En áreas montañosas que se caracterizan por contener laderas inclinadas son comunes los movimientos masivos de material rocoso y edáfico, favorecidos por la gravedad y factores geológicos, climáticos y antrópicos. Estos, desencadenan daños y remoción de las masas forestales. Cuando este proceso ocurre en ambientes volcánicos, se le denomina lahares (Franco-Ramos *et al.*,2018).

La caída de rocas, deslizamientos y flujos de escombros pueden causar alteraciones en el arbolado, mismas que pueden expresarse como cicatrices, reducción abrupta del crecimiento, crecimiento excéntrico y conductos de resina traumáticos, cada una de ellas puede datarse en correspondencia al anillo de crecimiento en el que haya quedado registrada, suplementado con ello la reconstrucción de procesos geomorfológicos (Stoffel *et al.*,2011).

Con la dendrogeomorfología es posible datar y analizar disturbios en los anillos de crecimiento de árboles afectados por los procesos geomorfológicos. La base de esta subdisciplina es la relación proceso evento-respuesta, donde el proceso corresponde a los fenómenos geomorfológicos y la respuesta a la alteración causada en el arbolado (Franco-Ramos & Vázquez-Selem, 2017).

En montañas de México, sobre todo las ubicadas en la Sierra Transversal se han reconstruido con éxito flujos de escombros, avenidas torrenciales (Franco-Ramos *et al.*,2019; A. Martínez-Sifuentes *et al.*,2020; A. R. Martínez-Sifuentes *et al.*,2020) y lahares (Bollschweiler *et al.*,2010; Franco-Ramos *et al.*,2013, 2014, 2016). Bajo este mismo contexto de estudio, la determinación de la edad de árboles que habitan superficies geomorfológicas, ha coadyubado a la designación de la edad mínima de nuevos relieves (Franco-Ramos *et al.*,2017).

Dendrohidrología. El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de la vida. El abastecimiento de este recurso en gran parte del territorio mexicano se realiza mediante la explotación de aguas subterráneas y cuerpos de agua superficiales. Su disponibilidad depende directamente de los volúmenes que estos contengan; como resultado del calentamiento global y de una mala administración de los recursos naturales, el ciclo del agua se ha visto modificado negativamente lo cual ha traído como consecuencia, graves problemas para cubrir la demanda poblacional de este recurso (Villanueva-Díaz *et al.*,2018).

Lo anterior conlleva a que actualmente México afronte problemáticas para el abastecimiento del agua, que se acrecienta por la sobreexplotación de los mantos acuíferos. El conocimiento de las fluctuaciones hidroclimáticas y sus tendencias fundamenta este manejo más eficiente (Villanueva-Díaz *et al.*,2014).

La dendrohidrología es utilizada como una herramienta fiable para la reconstrucción de caudales de ríos, niveles freáticos, cambios en los niveles de lagos e inundaciones. De esta manera los anillos de crecimiento son utilizados para generar reconstrucciones dendrohidrológicas que permiten deducir sobre la disponibilidad de recursos (Villanueva *et al.*,2017). En México esta subdisciplina fundamentalmente se ha aplicado para reconstrucciones hídricas del volumen de caudales, niveles aforo de cuerpos de agua y escurrimientos (Cerano-Paredes, Villanueva-Díaz, Valdez-Cepeda, Cornejo-Oviedo, *et al.*,2011; M. D. Therrell *et al.*,2002, 2006; Villanueva *et al.*,2017; Villanueva-Díaz *et al.*,2020).

Dendrovolcanología: La emisión de polvos y gases producto de las erupciones volcánicas puede ocasionar alteraciones en las condiciones ambientales regionales. Los impactos pueden ser alteraciones el desarrollo de sus anillos de crecimiento. Cuando los árboles quedan parcial o completamente cubiertos pueden sucumbir o registrar cambios abruptos en su desarrollo, como la supresión del crecimiento de sus anillos (Biondi *et al.*,2003).

A partir del análisis dendrocronológico es posible reconstruir eventos eruptivos e inferir sobre los efectos que estos causan sobre los árboles (Torbenson, 2015). La vinculación entre erupciones volcánicas y anillos de crecimiento suele ser prometedora, no obstante, para estudios dendrovolcanológicos es imprescindible la separación de las señales climáticas de las volcánicas (Biondi, 2001).

En México se ha incursionado en la dendrovolcanología principalmente mediante el análisis de los efectos que los volcanes del Eje Neovolcanico Transversal ejercen sobre el arbolado que cohabita en esta región, permitiendo con ello la reconstrucción de eventos eruptivos (Alcalá-Reygosa *et al.*,2018; Alfaro-Sánchez *et al.*,2020; Sheppard *et al.*,2008) y de flujos piroclásticos (Franco-Ramos *et al.*,2019). 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 realice adicionalmente un análisis dendroquímico (Alfaro-Sánchez *et al.*,2020; Carlón-Allende *et al.*,2020).

Dendroarqueología: En el pasado el uso de madera para la construcción fue imprescindible. Gran parte de esta madera provino de especies que se caracterizan por el desarrollo de anillos de crecimiento, ello ha dado lugar a la factibilidad del uso de la dendrocronología en sitios arqueológicos con presencia de madera antigua, para la datación de edificios históricos y otras aplicaciones arqueológicas (Bernabei & Macchioni, 2012).

A pesar de ser una herramienta muy útil para ampliar la extensión temporal de las cronologías e inferir sobre 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. Complementariamente, en esta investigación se registró una aplicación exitosa, en la que con ayuda del método “Wiggle matching” radiocarbono, se logró datar madera antigua obtenida en dos sitios ubicados en el Valle de Malpaso, Zacatecas (Turkon *et al.*,2018).

Otros: Incluye estudios con enfoque de revisión sistemática y metaanálisis exclusivos para el país (A. Acosta-Hernández *et al.*,2017; Diaz *et al.*,2000). También, revisiones del desarrollo de la dendrocronología en una región más amplia (Bannister & Scott, 1964; Fo *et al.*,2009; Giraldo Jiménez, 2011; Rojas-García *et al.*,2020; Schulman, 1944). También se han identificado sitios aptos para estudios dendrocronológicos (Carlón-Allende *et al.*,2015) y de reconstrucción variables agroalimentarias (M. D. Therrell *et al.*,2006).

La **Figura 4** muestra la distribución espacial y volumen de estudio de las categorías de dendrocronología. La mayoría se ha realizado en la parte centro y norte del país, con mayor incidencia en esta última. Dendroclimatología sobreásale por su volumen de aplicación y por su amplia aplicabilidad espacial.



Figura 4. Distribución espacial de las subdisciplinas de la dendrocronología en México.

Sobre las cronologías se identificaron 429, básicamente en tres provincias fisiográficas: Sierra Madre Occidental (44.76%), Eje Neovolcánico (22.38%) y Sierra

Madre Oriental (19.58%). Se han elaborado cronologías en 28 estados de la República Mexicana. Durango, Chihuahua y Coahuila son los estados con la mayor cantidad de cronologías de árboles, en conjunto estos tres estados contienen poco más de la mitad (51%) de las cronologías desarrolladas en el país.

Respecto a las especies utilizadas para la elaboración de cronologías, se reporta el uso de 53 diferentes. La gran mayoría pertenece al grupo de coníferas (84.9%) y más específicamente al género *Pinus* (60.38%). Únicamente 8 especies registradas latifoliadas, han sido escasamente utilizadas para la elaboración de cronologías en México. Tres especies dominan por su amplio uso: *Pseudotsuga menziesii* (23.78%), *Pinus hartwegii* (10.26%) y *Taxodium mucronatum* (8.86%).

En conjunto, las cronologías abarcan periodos de tiempo que va desde el año 467 hasta el año 2019, que significan una amplitud de 1552 años. La cronología elaborada a partir de anillos de crecimiento de *Taxodium mucronatum* en los Peroles, San Luis Potosí, corresponde a la cronología más extensa (Villanueva-Díaz *et al.*,2007). Debido a que la mayoría de las cronologías encuentran sus límites entre 1801 y 2019, este periodo se concibe como el mejor representado (**Figura 5**). También, en México la precipitación es la variable mayormente asociada a la variabilidad de anillo de crecimiento, por ende, es la variable más reconstruida.

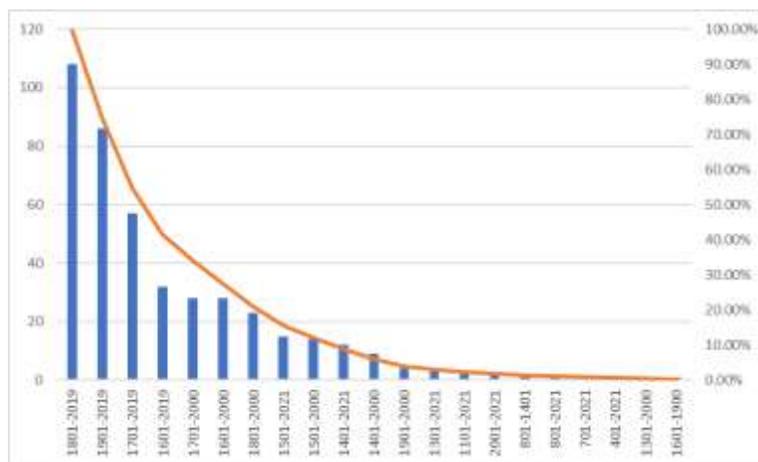


Figura 5. Amplitud (periodo de años) de las cronologías de anillos realizadas en México

Conclusiones

Los estudios dendrocronológicos en México han tenido un considerable crecimiento, sobre todo a partir del año 1999. Aunque joven, la ciencia observa potencial para continuar explorándose en el país. Se han explorado con éxito diversos enfoques, sin embargo, hay dominancia en las variables climáticas como factores de variabilidad del ancho de los anillos de crecimiento. Otros enfoques de investigación como dendroecología, dendrocronopirología, dendrohidrología, dendrogemorfología y dendroquímica significan oportunidad para nuevos estudios. Se observó una preferencia por el uso de coníferas en el norte y centro de país.

Especies latifoliadas con potencial deberán ser estudiadas más a detalle, particularmente de aquellas presentes en ambientes tropicales, donde la estacionalidad climática es menos evidente, lo que hace más difícil los estudios dendrocronológicos. La inmensa diversidad que presentan los ecosistemas forestales de México, aunado al extenso territorio del país, conceden un área de oportunidad para la expansión de las fronteras territoriales y del conocimiento de esta ciencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología la beca otorgada al primer autor para realizar sus estudios de posgrado.

Literatura citada

Acosta-Hernández, A. C., González-Cásares, M., Zúñiga-Vásquez, J. M., Hernández-Díaz, J. C., Goche-Telles, J. R., Prieto-Ruíz, J. Á., & Nájera-Luna, J. A. (2020). How Drought Drives Seasonal Radial Growth in *Pinus strobiformis* from Northern Mexico. En 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., Aumaître, G., Boursès, 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, 13.
<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., & Návar-Cháidez, J. de 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.

Ávila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., & Vargas-Larreta, B. (2018). Dendrocronopirología: Análisis de la evidencia morfológica de incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(21), 136-147. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i21.363>

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>

Beramendi-Orosco, L., Gonzalez-Hernandez, G., Martinez-Jurado, A., Martinez-Reyes, A., Garcia-Samano, A., Villanueva-Diaz, J., Santos-Arevalo, F. J., Gomez-Martinez, I., & Amador-Muñoz, O. (2015). Temporal and spatial variations of atmospheric radiocarbon in the Mexico city metropolitan area. *Radiocarbon*, 57(3), 363-375. https://doi.org/10.2458/azu_rc.57.18360

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. (2001). A 400-year tree-ring chronology from the tropical treeline of north America. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 30(3), 162-166. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-30.3.162>
- 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)
- Bollschweiler, 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>
- Brienen, R. J. W., Hietz, P., Wanek, W., & Gloor, M. (2013). Oxygen isotopes in tree rings record variation in precipitation $\delta^{18}O$ and amount effects in the south of Mexico. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118(4), 1604-1615. <https://doi.org/10.1002/2013JG002304>
- Burns, J. N., Acuna-Soto, R., & Stahle, D. W. (2014). Drought and epidemic Typhus, central Mexico, 1655–1918. *Emerging Infectious Diseases*, 20(3). <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/rmcf.v5i23.345>

- Carlón-Allende, T., Mendoza, M. E., Villanueva-Díaz, J., & Perez-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.
- 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., Fulé, P. Z., Arreola-Ávila, J. G., Sánchez-Cohen, I., & Valdez-Cepeda, R. D. (2009). Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera y Bosques*, 15(2), 27-44. <https://doi.org/10.21829/myb.2009.1521189>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., & Constante-García, V. (2011). El niño oscilación del sur y sus efectos en la precipitación en la parte alta de la cuenca del río Nazas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(Especial), 207-215. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.076>

- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R. D., Constante-García, V., González-Barrios, J. L., & Estrada-Ávalos, J. (2012). Precipitación reconstruida para la parte alta de la cuenca del río Nazas, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(10), 7-23. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i10.525>
- 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>

Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Cornejo-Oviedo, E. H., & Valencia-Manzo, S. (2009). Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. Y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Revista Ciencias Forestales en México*, 34(105), 23.

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(452), 18. <https://doi.org/10.3390/f11040452>

Correa-Díaz, A., Silva, L. C. R., 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>

Cortés-Barrera, E. N., Villanueva-Díaz, J., Nieto-de Pascual Pola, C., Estrada-Ávalos, J., & Guerra-de la Cruz, V. (2012). Reconstrucción de precipitación estacional para el noroeste de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(9), 51-67. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i9.533>

Díaz, J. V., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Therrell, M. D. (2000). Estado actual de la dendrocronología en México. *Ciencias forestales en México*, 25(88).

- 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://doi.org/10.1093/jof/39.10.825>
- Flores, J. A., Solís, C., Huerta, A., Ortiz, M. E., Rodríguez-Ceja, M. G., Villanueva, J., & Chávez, E. (2017). Historic binnacle 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. Z. (2009). Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecología en Bolivia*, 44(2), 73-82.
- 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., Stoffel, M., Vázquez-Selem, L., & Capra, L. (2013). Spatio-temporal reconstruction of lahars on the southern slopes of Colima volcano,

Mexico – A dendrogeomorphic approach. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 267, 30-38.

<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.09.011>

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>

Franco-Ramos, O., Vázquez-Selem, L., Stoffel, M., & Villanueva-Díaz, J. (2018). Potencial dendrogeomorfológico de coníferas en volcanes del centro de México. *Bosque*, 39(2), 191-204. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002018000200191>

Franco-Ramos, O., Vázquez-Selem, L., & Torres-Beltrán, C. (2014). Reconstrucción de lahares intra-eruptivos con base en anillos de crecimiento de árboles en el Valle Axaltzintle, Volcán la Malinche. En *Geomorfología: Experiencias de investigación en México* (Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía, pp. 31-34).

Franco-Ramos, O., Vázquez-Selem, L., Zamorano-Orozco, J. J., & Villanueva-Díaz, J. (2017). Edad, dinámica geomorfológica y tipología de barrancas en el sector norte del volcán Popocatepetl, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69(1), 1-19. <https://doi.org/10.18268/BSGM2017v69n1a1>

- Fulé, P. Z., & Covington, W. W. (1996). Changing fire regimes in Mexican pine forests: Ecological and management Implications. *Journal of Forestry*, 94(10), 33-38. <https://doi.org/10.1093/jof/94.10.33>
- 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. En *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México* (Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C y el Centro Internacional de Vinculación y Enseñanza de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco., p. 6).
- 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, L. 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>
- González-Cásares, M., Pompa-García, M., Meléndez-Soto, A., & Solís-Moreno, R. (2015). Variación espacial y temporal del contenido de carbono en bosques de la sierra madre occidental: Avances preliminares. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(3), 368-372.
- González-Tagle, M. A., Schwendenmann, L., Jiménez-Pérez, J., & Schulz, R. (2008). Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine–oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256(1-2), 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.021>
- 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://doi.org/10.21829/myb.2013.191349>
- 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 Schltl. & Cham.* Y

- Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(41). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i41.27>
- Manzanilla-Quiñones, 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, 15. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3117>
- Manzanilla-Quiñones, 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., Carlón-Allende, T., & Estrada-Ávalos, J. (2020). 243 years of reconstructed streamflow volume and identification of extreme hydroclimatic events in the Conchos River Basin, Chihuahua, Mexico. *Trees*, 34(6), 1347-1361. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02002-w>
- 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. En *Quinto congreso nacional de Riego y Drenaje* (p. 20).
- Martínez-Sifuentes, A., Villanueva-Díaz, J., & Estrada-Ávalos, J. (2020). Runoff reconstruction and climatic influence with tree rings, in the Mayo river basin,

- Sonora, Mexico. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 13(1), 98-106.
<https://doi.org/10.3832/ifor3190-013>
- 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.
- 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.
- 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>
- Moya-Anegón, F. de, & Herrán-Páez, E. (2018). *Principales indicadores cuantitativos de la producción científica mexicana*.
- 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, 11.
<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), 12. <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.

Ciencia e innovación. <http://cienciaeinovacion.com.mx/2020/06/22/la-dendroquimica-como-herramienta-para-la-determinacion-y-analisis-de-metales-pesados/>

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), 18. <https://doi.org/10.3390/f11070737>

Roig, F. A., Jimenez-Osornio, J. J., Villanueva-Diaz, J., Luckman, B., Tiessen, H., Medina, A., & Noellemeyer, E. J. (2005). Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula. *Dendrochronologia*, 22(3), 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.007>

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). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632116>
- Sáenz-Ceja, J. E., & Pérez-Salicrup, D. R. (2019). Dendrochronological reconstruction of fire history in coniferous forests in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Fire Ecology*, 15(18), 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-Vizcaíno, 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>
- Stahle, D. W., & Cleaveland, M. K. (1993). Southern oscillation extremes reconstructed from tree rings of the Sierra Madre Occidental and southern great plains. *Journal of Climate*, 6(1), 129-140. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<0129:SOERFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<0129:SOERFT>2.0.CO;2)
- Stahle, D. W., D'Arrigo, R. D., Krusic, P. J., Cleaveland, M. K., Cook, E. R., Allan, R. J., Cole, J. E., Dunbar, R. B., Therrell, M. D., Gay, D. A., Moore, M. D., Stokes,

- M. A., Burns, B. T., Villanueva-Diaz, J., & Thompson, L. G. (1998). Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(10), 2137-2152. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<2137:EDROTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<2137:EDROTS>2.0.CO;2)
- 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>
- Stephens, S. L., Skinner, C. N., & Gill, S. J. (2003). Dendrochronology-based fire history of Jeffrey pine—Mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Martir, Mexico. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(6), 1090-1101. <https://doi.org/10.1139/x03-031>
- 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*.
- Therrell, M. D., Stahle, D. W., & Cleaveland, M. K. (2002). Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 107(D14), 8. <https://doi.org/10.1029/2001JD000851>
- Therrell, M. D., Stahle, D. W., Villanueva-Diaz, 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. A. (2015). Dendrochronology. En *Geomorphological Techniques*. 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, J., Gómez, A., Cerano, J., Rosales, S., Estrada, J., Castruita, L. U., & Martínez, A. R. (2017). La variabilidad del caudal del río Acaponeta inferida mediante series de anillos de crecimiento en coníferas. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(3), 55-74. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-04>

Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Benavides, J. D. 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/rmcf.v3i14.474>

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: Vol. Folleto Técnico* (Primera edición). 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.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Fulé, P. Z., Cortés-Montaña, C., Vázquez-Selem, L., Yocom, L. L., & Ruiz-Corral, J. A. (2015). Cuatro siglos de variabilidad hidroclimática en el noroeste de Chihuahua, México, reconstruida con anillos de árboles. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 87, 141-153. <https://doi.org/10.14350/rig.44485>
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Gómez-Guerrero, A., Castruita-Esparza, L. U., Stahle, D. W., & Ruiz-Corral, J. A. (2014). Volúmenes reconstruidos en presas del Valle del Yaqui con anillos anuales de coníferas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 1977-1991.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, D. W., Constante-García, V., Vázquez-Selem, L., Estrada-Ávalos, J., & Benavides-Solorio, J. D. D. (2010). Árboles longevos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 7-29.
- 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. En *Escenarios de Cambio Climático: Registros del Cuaternario en América Latina* (pp. 47-72). UNAM, Instituto de Geofísica, Dirección General de Publicaciones y Fomento

- Villanueva-Díaz, J., Hernández-Reyna, A., García-Sánchez, F., Cornejo-Oviedo, E. H., Stahle, D. W., Therrell, M. D., & Cleaveland, M. K. (2003). Análisis estructural de un rodal de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en los peroles, San Luis Potosí, México. *Revista Ciencias Forestales en México*, 28(94), 57-79.
- 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., Luckman, B. H., Cerano-Paredes, J., Therrell, M. D., Morán-Martínez, R., & Cleaveland, M. K. (2007). Potencial dendrocronológico de *Taxodium mucronatum* Ten. Y acciones para su conservación en México. *Revista Ciencias Forestales en México*, 32(101), 9-37.
- 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. En *Memorias de la XIV Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED*

(Universidad Juarez del Estado de Durango, Facultad de agricultura y zootecnia).

Watmough, S. A., & Hutchinson, T. C. (1999). Change in the dendrochemistry of sacred fir close to Mexico City over the past 100 years. *Environmental Pollution*, 104, 79-88.

Yocom, L., Fulé, P., Falk, D., García-Domínguez, C., Cornejo-Oviedo, E. H., Brown, P., Villanueva-Díaz, J., Cerano, J., & Cortés-Montaña, 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>

Yocom, L. L., Fulé, P. Z., Brown, P. M., Cerano, J., Villanueva-Díaz, J., Falk, D. A., & Cornejo-Oviedo, E. (2010). El Niño-southern oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology*, 91(6), 1660-1671. <https://doi.org/10.1890/09-0845.1>

MATERIAL ADICIONAL

Cuadro 1. Clasificación de los estudios de la dendrocronología en México.

<i>Subdisciplina</i>	<i>Referencias</i>
Dendroarqueología	Turkon <i>et al.</i> ,2018
Dendroclimatología	Suzan-Azpiri, 1985*; Huante <i>et al.</i> ,1991; Stahle & Cleaveland, 1993; Villanueva-Díaz & McPherson, 1996; Stahle <i>et al.</i> ,1998; Villanueva-Díaz & McPherson, 1999; Biondi, 2001*; Diaz-Castro <i>et al.</i> ,2001; Diaz-Castro <i>et al.</i> ,2002; Therrell <i>et al.</i> ,2002*; Cleaveland <i>et al.</i> ,2003; Pohl <i>et al.</i> ,2003; García-G <i>et al.</i> ,2004*; Therrell <i>et al.</i> ,2004; González-Elizondo <i>et al.</i> ,2005; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2005; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2006*; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2007b; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2008b; Brien <i>et al.</i> ,2009*; Cerano-Paredes <i>et al.</i> ,2009b; Constante-García <i>et al.</i> ,2009a; Miranda-Avilés <i>et al.</i> ,2009; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2009b; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2009c; Arreola-Ortiz & Návar-Cháidez, 2010*; Cortés-Barrera <i>et al.</i> ,2010; Santillán-Hernández <i>et al.</i> ,2010; Sosa-Nájera <i>et al.</i> ,2010*; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2010c*; Bickford <i>et al.</i> ,2011*; Cerano-Paredes <i>et al.</i> ,2011a; Cerano-Paredes <i>et al.</i> ,2011b; Cerano-Paredes <i>et al.</i> ,2011c; Stahle <i>et al.</i> ,2011; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2011b; Cerano-Paredes <i>et al.</i> ,2012; Cortés-Barrera <i>et al.</i> ,2012; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2012; Brien <i>et al.</i> ,2013*; Cerano-Paredes <i>et al.</i> ,2013a; Cerano-Paredes <i>et al.</i> ,2013b; Irby <i>et al.</i> ,2013; Meko <i>et al.</i> ,2013; Pompa-García & Jurado, 2013; Pompa-García <i>et al.</i> ,2013a; Pompa-García <i>et al.</i> ,2013b; Burns <i>et al.</i> ,2014; Cerano-Paredes <i>et al.</i> ,2014; Correa-Díaz <i>et al.</i> ,2014*; Durán-Guerra <i>et al.</i> ,2014*; Návar-Cháidez & Lizárraga-Mendiola, 2014; Pompa-García <i>et al.</i> ,2014; Rodríguez-Flores <i>et al.</i> ,2014; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2014a*; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2014b; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2014c*; Chacón-de la Cruz & Pompa-García, 2015; Gómez-Guerrero <i>et al.</i> ,2015*; Marlés-Magre <i>et al.</i> ,2015; Pompa-García & Camarero-Martínez, 2015a; Pompa-García & Camarero-Martínez, 2015b; Pompa-García & Domínguez-Calleros, 2015; Pompa-García & Némiga, 2015; Pompa-García <i>et al.</i> ,2015; Vázquez-Selem <i>et al.</i> ,2015; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2015a; Villanueva-Díaz <i>et al.</i> ,2015b; Arreola-Ortiz <i>et al.</i> ,2016*; Carlón-Allende <i>et al.</i> ,2016; Castruita-Esparza

et al.,2016*; Díaz-Ramírez *et al.*,2016; Pineda-Herrera *et al.*,2016*; Pompa-García & Hadad, 2016; Pompa-García & Venegas-González, 2016*; Stahle *et al.*,2016; Villanueva-Díaz *et al.*,2016; Astudillo-Sánchez *et al.*,2017a; Chávez-Gándara *et al.*,2017; González-Cásares *et al.*,2017a; González-Elizondo *et al.*,2017; Pompa-García *et al.*,2017a; Pompa-García *et al.*,2017b*; Cardoza-Martínez *et al.*,2018; Carlón-Allende *et al.*,2018; López-Hernández *et al.*,2018; Manzanilla-Quiñones *et al.*,2018; Mendoza-Villa *et al.*,2018; Núñez-López *et al.*,2018; Ortega-Arroyo *et al.*,2018; Ortiz-Quijano *et al.*,2018; Rodríguez-Ramírez *et al.*,2018a*; Rodríguez-Ramírez *et al.*,2018b; Villanueva-Díaz *et al.*,2018a; Villanueva-Díaz *et al.*,2018b; Villanueva-Díaz *et al.*,2018e; Villanueva-Díaz *et al.*,2018f; Aquino-Ramírez *et al.*,2019; Castruita-Esparza *et al.*,2019*; Correa-Díaz *et al.*,2019*; Gutierrez-Garcia & Ricker, 2019; Martínez-Sifuentes *et al.*,2019; Acosta-Hernández *et al.*,2020; Cerano-Paredes *et al.*,2020a; Correa-Díaz *et al.*,2020a*; González-Cásares *et al.*,2020; Manzanilla-Quiñones *et al.*,2020; Martínez-Sifuentes *et al.*,2020a*; Martínez-Sifuentes *et al.*,2020b*; Osorio-Osorio *et al.*,2020; Reyes-Cortés *et al.*,2020*; Rodríguez-Ramírez & Luna-Vega, 2020*; Rodríguez-Ramírez *et al.*,2020*; Villanueva-Díaz *et al.*,2020a; Villanueva-Díaz *et al.*,2020b*; Villanueva-Díaz *et al.*,2020c; Villanueva-Díaz *et al.*,2020d; Carlón-Allende *et al.*,2021; Cortés-Cortés *et al.*,2021; Núñez-García *et al.*,2021*; Villanueva-Díaz *et al.*,2021a* y Villanueva-Díaz *et al.*,2021b.

Dendroecología

Suzan-Azpiri, 1985*; Villanueva-Díaz *et al.*,2003; García-G *et al.*,2004*; López-Ayala *et al.*,2006*; Sheppard *et al.*,2008*; Brienen *et al.*,2009*; Arreola-Ortiz & Nívar-Cháidez, 2010*; Biondi & Hartsough, 2010; Villanueva-Díaz *et al.*,2010a; Bickford *et al.*,2011*; Gómez-Guerrero *et al.*,2013*; Correa-Díaz *et al.*,2014*; Durán-Guerra *et al.*,2014*; Villanueva-Díaz *et al.*,2014a*; García-Bedolla *et al.*,2015; Gómez-Guerrero *et al.*,2015*; González-Cásares *et al.*,2015; Arreola-Ortiz *et al.*,2016*; Castruita-Esparza *et al.*,2016*; Ortiz-Quijano *et al.*,2016; Pineda-Herrera *et al.*,2016*; Pompa-García & Venegas-González, 2016*; Torbenson *et al.*,2016; Astudillo-Sánchez *et al.*,2017b; González-Cásares *et al.*,2017b*; López-Sánchez *et al.*,2017; Pompa-García *et al.*,2017b*; Rodríguez-Ramírez *et al.*,2018a*; Villanueva-Díaz *et al.*,2018c*; Castruita-Esparza *et al.*,2019*; Correa-Díaz *et*

	al.,2019*; Morgado-González et al.,2019; Correa-Díaz et al.,2020a*; Correa-Díaz et al.,2020b; Pacheco et al.,2020*; Reyes-Cortés et al.,2020*; Rodríguez-Ramírez & Luna-Vega, 2020*; Rodríguez-Ramírez et al.,2020*; Trujillo-Martínez et al.,2020 y Núñez-García et al.,2021*.
Dendrogeomorfología	Bollschweiler et al.,2010; Sosa-Nájera et al.,2010*; Stoffel et al.,2011; Franco-Ramos et al.,2013; Franco-Ramos et al.,2014; Franco-Ramos et al.,2016; Franco-Ramos et al.,2017a; Franco-Ramos et al.,2017b; Franco-Ramos et al.,2018; Franco-Ramos et al.,2019a; Pablo-Pablo et al.,2020; Sánchez-Asunción et al.,2020 y Alcalá-Reygosa et al.,2021*.
Dendrohidrología	Therrell et al.,2002*; Villanueva-Díaz et al.,2006*; Villanueva-Díaz et al.,2010c*; Villanueva-Díaz et al.,2013; Villanueva-Díaz et al.,2014c*; Villanueva-Díaz et al.,2017; Villanueva-Díaz et al.,2018c*; Villanueva-Díaz et al.,2018d; Martínez-Sifuentes et al.,2020a*; Martínez-Sifuentes et al.,2020b* y Villanueva-Díaz et al.,2020b*.
Dendrocronopirología	Fulé & Covington, 1996; Fulé & Covington, 1997; Fulé & Covington, 1998; Fulé & Covington, 1999; Swetnam et al.,2001; Stephens et al.,2003; Fulé et al.,2005; Evett et al.,2007; González-Tagle et al.,2008; Skinner et al.,2008; Cerano-Paredes et al.,2010; Stephens et al.,2010; Yocom et al.,2010; Fulé et al.,2011; Cassell & Alvarado, 2012; Fulé et al.,2012; Yocom & Fulé, 2012; Meunier et al.,2014; Yocom et al.,2014; Cerano-Paredes et al.,2015; Cerano-Paredes et al.,2016; González-Tagle et al.,2016; Molina-Pérez et al.,2017; Cerano-Paredes et al.,2019; Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019; Cerano-Paredes et al.,2021a y Cerano-Paredes et al.,2021b.
Dendroquímica	Biondi & Fessenden, 1999*; Watmough & Hutchinson, 1999; García-G et al.,2004*; Sheppard et al.,2008*; Beramendi-Orosco et al.,2013; Brienens et al.,2013*; Gómez-Guerrero et al.,2013*; Beramendi-Orosco et al.,2015; Morton-Bermea et al.,2016; Flores et al.,2017; González-Cásares et al.,2017b*; Beramendi-Orosco et al.,2018; Correa-Díaz et al.,2018; Castruita-Esparza et al.,2019*; Teran-Hinojosa et al.,2019; Alfaro-Sánchez et al.,2020*; Correa-Díaz et al.,2020a* y Pacheco et al.,2020*.
Dendrovulcanología	Biondi, 2001*; Biondi et al.,2003; Sheppard et al.,2008*; Alcalá-Reygosa et al.,2018; Franco-Ramos et al.,2019b; Alfaro-Sánchez et al.,2020 y Alcalá-Reygosa et al.,2021.
Otros	Schulman, 1944; Bannister & Scott, 1964; Wolfman, 1968; Naylor, 1971; Biondi & Fessenden, 1999*;

Villanueva-Díaz et al.,2000; Acuña-Soto et al.,2002; Biondi, 2002; Villanueva-Díaz et al.,2002; Villanueva-Díaz et al.,2004; Roig et al.,2005; Therrell, 2005; López-Ayala et al.,2006*; Therrell *et al.*,2006; Villanueva-Díaz et al.,2006*; Fulé et al.,2007; Miranda-Avilés et al.,2007; Villanueva-Díaz et al.,2007a; Villanueva-Díaz et al.,2008a; Cerano-Paredes et al.,2009a; Constante-García et al.,2009b; Fo et al.,2009; Seager et al.,2009; Villanueva-Díaz et al.,2009a; Villanueva-Díaz *et al.*,2010b; Giraldo Jiménez, 2011; Villanueva-Díaz et al.,2011a; Stahle et al.,2012; Franco-Ramos, 2014; Carlón-Allende et al.,2015; Pineda-Herrera et al.,2016*; Acosta-Hernández et al.,2017; Franco-Ramos & Vázquez-Selem, 2017; Ávila-Flores et al.,2018; Cerano-Paredes et al.,2020b; Reyes-Basilio et al.,2020; Rojas-García et al.,2020 y Villanueva-Díaz et al.,2021a*.

*Múltiples aplicaciones

Cuadro 2. Material adicional 2. Títulos de los documentos relacionados con el estudio de la dendrocronología en México.

No	Título de documento	Referencia
1	243 years of reconstructed streamflow volume and identification of extreme hydroclimatic events in the Conchos River Basin, Chihuahua, Mexico	Martínez-Sifuentes et al., 2020a
2	A 400-year tree-ring chronology from the tropical treeline of north America	Biondi, 2001
3	A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico	Pohl et al., 2003
4	A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California sur, Mexico	Díaz-Castro et al., 2001
5	An updated review of dendrochronological investigations in Mexico, a megadiverse country with a high potential for tree-ring sciences	Acosta-Hernández et al., 2017
6	Análisis de flujos de escombros desde un enfoque dendrocronológico en Ixtacamaxtitlán, Sierra Norte de Puebla, México	Pablo-Pablo et al., 2020
7	Análisis de sequías y productividad con cronologías de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Rob. & Fern., y su asociación con El Niño en el nordeste de México	Arreola-Ortiz & Nívar-Cháidez, 2010
8	Análisis dendroclimático de Ahuehuete (<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.) en el centro de México	Correa-Díaz et al., 2014
9	Análisis dendroclimático de <i>Pinus pseudostrabus</i> y <i>Pinus devoniana</i> en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán), Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca	Marlés-Magre et al., 2015
10	Análisis espacial del paisaje como base para muestreos dendrocronológicos: El caso de la Reserva de la Biosfera	Carlón-Allende et al., 2015
11	Análisis estructural de un rodal de sabino (<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.) en los peroles, San Luis Potosí, México	Villanueva-Díaz et al., 2003
12	Analysis of basal area increment of <i>Pinus hartwegii</i> Lindl. at different altitudes and aspects on Jocotitlán Mountain, State of Mexico	Núñez-García et al., 2021
13	Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula	Roig et al., 2005
14	Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de Colima, México	López-Ayala et al., 2006
15	Annual radial growth and climatic response of <i>Quercus crassifolia</i> bonpl. in northwestern Durango, Mexico	Villanueva-Díaz et al., 2021a

No	Título de documento	Referencia
16	Aplicaciones de la dendroecología en el manejo forestal: una revisión	Rojas-García et al.,2020
17	Applications of dendrochronology in northwestern Mexico	Turkon et al.,2018
18	Árboles longevos de México	Villanueva-Díaz et al.,2010a
19	Aztec drought and the “curse of one rabbit”	Therrell et al.,2004
20	Basal area increment series of dominant trees of <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco show periodicity according to global climate patterns	Castruita-Esparza et al.,2016
21	Captura de carbono en <i>Pinus cembroides</i> Zucc., medida a partir de anillos de crecimiento	García-Bedolla et al.,2015
22	Características anatómicas de la madera de <i>Bursera lancifolia</i> (Schltdl.) Engl. con potencial dendrocronológico	Durán-Guerra et al.,2014
23	Change in the dendrochemistry of sacred fir close to Mexico City over the past 100 years	Watmough & Hutchinson, 1999
24	Changing fire regimes in Mexican pine forests: ecological and management Implications	Fulé & Covington, 1996
25	Chihuahua (Mexico) winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992	Diaz-Castro et al.,2002
26	Chihuahua southwestern hydroclimatic variability inferred with coniferous growth rings	Villanueva-Díaz et al.,2020a
27	Cinco Siglos de Historia dendrocronológica de los ahuehetes (<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.) del Parque del Contador, San Salvador Atenco, Estado de México	Villanueva-Díaz et al.,2014a
28	Climate and land-use effects on wildfire in northern Mexico, 1650–2010	Meunier et al.,2014
29	Climatic influence on fire regime (1700 to 2008) in the Nazas watershed, Durango, Mexico	Cerano-Paredes et al.,2019
30	Climatic response of <i>Pinus cembroides</i> Zucc. radial growth in Sierra del Cubo, Guanajuato, Mexico	Carlón-Allende et al.,2018
31	Climatic responses of <i>Pinus pseudostrabus</i> and <i>Abies religiosa</i> in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Central Mexico	Carlón-Allende et al.,2016
32	Climatic variability at the treeline of Monte Tlaloc, Mexico: a dendrochronological approach	Astudillo-Sánchez et al.,2017a
33	Comparing modern and past fire regimes to assess changes in prehistoric lightning and anthropogenic ignitions in a Jeffrey pine – mixed conifer forest in the Sierra San Pedro Mártir, Mexico	Evelt et al.,2007

No	Título de documento	Referencia
34	Comportamiento hidroclimático de coníferas en el Cerro Potosí, Nuevo León, México	Villanueva-Díaz et al.,2018a
35	Coping with extreme events: growth and water-use efficiency of trees in western Mexico during the driest and wettest periods of the past one hundred sixty years	Castruita-Esparza et al.,2019
36	Crecimiento radial anual del fresno (<i>Fraxinus udhei</i> (Wenz.) Lingelsh.) en dos parques de la Comarca Lagunera	Villanueva-Díaz et al.,2018b
37	Cuatro siglos de variabilidad hidroclimática en el noroeste de Chihuahua, México, reconstruida con anillos de árboles	Villanueva-Díaz et al.,2015a
38	Dating late Holocene lava flows in Pico de Orizaba (Mexico) by means of in situ-produced cosmogenic ³⁶ Cl, lichenometry and dendrochronology	Alcalá-Reygosa et al.,2018
39	Dendrochronological potential of <i>Fraxinus uhdei</i> and its use as bioindicator of fossil CO ₂ emissions deduced from radiocarbon concentrations in tree rings	Beramendi-Orosco et al.,2013
40	Dendrochronological reconstruction of environmental history of <i>Fagus grandifolia</i> subsp. mexicana in Mexico	Ortiz-Quijano et al.,2018
41	Dendrochronological reconstruction of fire history in coniferous forests in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico	Sáenz-Ceja & Pérez-Salicrup, 2019
42	Dendrochronology in Mexico	Bannister & Scott, 1964
43	Dendrochronology in Mexico, I.	Schulman, 1944
44	Dendrochronology in Mexico.	Wolfman, 1968
45	Dendrochronology in Oaxaca, Mexico: a preliminary study	Naylor, 1971
46	Dendrochronology of <i>Abies religiosa</i> in Michoacan, Mexico	Huante et al.,1991
47	Dendrochronology-based fire history of <i>Jeffrey pine</i> - mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Martir, Mexico	Stephens et al.,2003
48	Dendrocronología de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila	Constante-García et al.,2009a
49	Dendrocronología de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México	Arreola-Ortiz et al.,2016

No	Título de documento	Referencia
50	Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales	Giraldo Jiménez, 2011
51	Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina	Fo et al.,2009
52	Dendrocronología: método de fechamiento para procesos geomorfológicos en México	Franco-Ramos, 2014
53	Dendrocronopirología: análisis de la evidencia morfológica de incendios forestales	Ávila-Flores et al.,2018
54	Dendroecological potential of <i>Juniperus deppeana</i> in northern Mexico	Cerano-Paredes et al.,2020a
55	Dendroecology as a research tool to investigate climate change resilience on <i>Magnolia vovidesii</i> , a threatened Mexican cloud forest tree species of eastern Mexico	Rodríguez-Ramírez & Luna-Vega, 2020
56	Dendrogeomorphological potential of <i>Pinus ponderosa</i> Douglas ex C. Lawson for the reconstruction of flash floods in Los Picos de Davis, Coahuila	Sánchez-Asunción et al.,2020
57	Densidad de la madera de <i>Pinus hartwegii</i> lind. en dos niveles altitudinales y de exposición	Morgado-González et al.,2019
58	Differences in climate–growth relationship indicate diverse drought tolerances among five pine species coexisting in Northwestern Mexico	González-Cásares et al.,2017a
59	Drought and epidemic Typhus, central Mexico, 1655–1918	Burns et al.,2014
60	Drought effects on vessel plasticity of two endemic magnolia species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico	Rodríguez-Ramírez et al.,2018a
61	Drought influence over radial growth of Mexican conifers inhabiting mesic and xeric sites	Pompa-García et al.,2017a
62	Edad, dinámica geomorfológica y tipología de barrancas en el sector norte del volcán Popocatepetl, México	Franco-Ramos et al.,2017a
63	Effects of climate on historical fire regimes (1451–2013) in <i>Pinus hartwegii</i> forests of Cofre de Perote National Park, Veracruz, Mexico	Cerano-Paredes et al.,2021a
64	El árbol: fuente de información en las ciencias de la tierra	Miranda-Avilés et al.,2007
65	El niño oscilación del sur y sus efectos en la precipitación en la parte alta de la cuenca del río Nazas	Cerano-Paredes et al.,2011a

No	Título de documento	Referencia
66	El Niño-southern oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time	Yocom et al.,2010
67	Elementos basicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México	Villanueva-Díaz et al.,2004
68	ENSO index teleconnection with seasonal precipitation in a temperate ecosystem of northern Mexico	Pompa-García & Némiga, 2015
69	Estado actual de la dendrocronología en México	Villanueva-Díaz et al.,2000
70	Estandarización y desarrollo de series dendrocronológicas en México	Villanueva-Díaz et al.,2010b
71	Estudios autoecologico-dendrocronologico en <i>Pinus nelsonii</i>	Suzan-Azpiri, 1985
72	Estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México	Villanueva-Díaz & McPherson, 1999
73	Evaluación del potencial dendroclimático de <i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald	González-Elizondo et al.,2017
74	Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation	Stahle et al.,1998
75	Fine-scale factors influence fire regimes in mixed-conifer forests on three high mountains in Mexico	Yocom et al.,2014
76	Fire history (1896–2013) in an <i>Abies religiosa</i> forest in the Sierra Norte of Puebla, Mexico	Cerano-Paredes et al.,2021b
77	Fire regime changes in La Michilía Biosphere Reserve, Durango, Mexico	Fulé & Covington, 1999
78	Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, Mexico	Fulé et al.,2005
79	Fire regime in a Mexican forest under indigenous resource management	Fulé et al.,2011
80	Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico	Fulé & Covington, 1997
81	Fire-scar formation in Jeffrey pine - mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Martir, Mexico	Stephens et al.,2010
82	Forest fire histories of La Frontera: fire-scar reconstructions of fire regimes in the United States/Mexico borderlands	Swetnam et al.,2001
83	Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine–oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico	González-Tagle et al.,2008
84	From trees to ecosystems: spatiotemporal scaling of climatic impacts on montane landscapes using	Correa-Díaz et al.,2020a

No	Título de documento	Referencia
	dendrochronological, isotopic, and remotely sensed data	
85	Growth decline and divergent tree ring isotopic composition ($\delta(13) C$ and $\delta(18) O$) contradict predictions of CO ₂ stimulation in high altitudinal forests	Gómez-Guerrero et al.,2013
86	Growth sensitivity to drought of co-occurring <i>Pinus</i> spp. along an elevation gradient in northern Mexico	Bickford et al.,2011
87	Growth, wood anatomy and stable isotopes show species-specific couplings in three Mexican conifers inhabiting drought-prone areas	Pacheco et al.,2020
88	High precision radiocarbon concentrations in tree rings from Northeastern Mexico: A new record with annual resolution for dating the recent past	Beramendi-Orosco et al.,2018
89	Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México	Cerano-Paredes et al.,2015
90	Historic binnacle of $14 C/ 12 C$ concentration in Mexico City	Flores et al.,2017
91	Historical fire frequency (1779-2013) in pine-oak forests in the community of Charcos, Mezquital, Durango	Molina-Pérez et al.,2017
92	How Drought Drives Seasonal Radial Growth in <i>Pinus strobiformis</i> from Northern Mexico	Acosta-Hernández et al.,2020
93	Human and climate influences on frequent fire in a high-elevation tropical forest	Yocom & Fulé, 2012
94	Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: Water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera, Mexico	Villanueva-Díaz et al.,2005
95	Impacto de descortezadores en el incremento radial de <i>Pinus teocote</i> Schiede. ex Schtdl. & Cham. y <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	López-Sánchez et al.,2017
96	Impacto de las represas en <i>Taxodium mucronatum</i> Ten. en el río San Pedro-Mezquital, Durango	Villanueva-Díaz et al.,2018c
97	Incendios forestales y clima en el norte de México	Fulé et al.,2007
98	Increase in platinum group elements in Mexico City as revealed from growth rings of <i>Taxodium mucronatum</i> Ten	Morton-Bermea et al.,2016
99	Incremento en diámetro y periodicidad de anillos de crecimiento de dos especies arbóreas en una selva húmeda del norte de Oaxaca, México	Pineda-Herrera et al.,2016
100	Índices de anillos de crecimiento en dos coníferas del Centro de México	Gómez-Guerrero et al.,2015

No	Título de documento	Referencia
101	Influences of climate on fire regimes in montane forests of north-western Mexico	Skinner et al.,2008
102	Influencia climática en el reclutamiento de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl. del ecotono bosque-pastizal alpino en Monte Tláloc, México	Astudillo-Sánchez et al.,2017b
103	Influencia de la evaporación en el crecimiento forestal	Pompa-García et al.,2013a
104	Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México)	Gutierrez-Garcia & Ricker, 2019
105	Interpretación del historial de incendios en bosques mixtos de coníferas	Cerano-Paredes et al.,2009a
106	La dendrocronología en México y sus aplicaciones paleoclimáticas y ecológicas	Villanueva-Díaz et al.,2002
107	La dendrocronología y reconstrucciones paleoclimáticas en el Norte-Centro de México	Villanueva-Díaz et al.,2011a
108	La variabilidad del caudal del río Acaponeta inferida mediante series de anillos de crecimiento en coníferas	Villanueva-Díaz et al.,2017
109	Laser-induced breakdown spectroscopy characterization of tree rings from the Popocatepetl volcano area, Mexico	Teran-Hinojosa et al.,2019
110	Linking remote sensing and dendrochronology to quantify climate-induced shifts in high-elevation forests over space and time	Correa-Díaz et al.,2019
111	Long-term wood micro-density variation in alpine forests at central México and their spatial links with remotely sensed information	Correa-Díaz et al.,2020b
112	Major Mesoamerican droughts of the past millennium	Stahle et al.,2011
113	Measuring temporal wood density variation improves carbon capture estimates in Mexican forests	González-Cásares et al.,2017b
114	Medición y calidad de fechado en anillos de árboles	Constante-García et al.,2009b
115	Megadrought and megadeath in 16th century Mexico	Acuña-Soto et al.,2002
116	Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change	Seager et al.,2009
117	Modelos dendroclimáticos para crecimiento radial forestal	Rodríguez-Flores et al.,2014

No	Título de documento	Referencia
118	Muestreo dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales	Villanueva-Díaz et al.,2009a
119	Multiple dendrochronological signals indicate the eruption of ParíCutin volcano, Michoacán, Mexico	Sheppard et al.,2008
120	New chronological constraints on intense Holocene eruptions and landslide activity at Tacaná volcanic complex (Mexico)	Alcalá-Reygosa et al.,2021
121	Observed and projected impacts of climate on radial growth of three endangered conifers in northern Mexico indicate high vulnerability of drought-sensitive species from mesic habitats	Pompa-García et al.,2017b
122	Oxygen isotopes in tree rings record variation in precipitation $\delta^{18}O$ and amount effects in the south of Mexico	Brienen et al.,2013
123	Perspectivas de los anillos de crecimiento para estimación potencial de carbono en México	Reyes-Basilio et al.,2020
124	Plastic responses of <i>Magnolia schiedeana</i> Schldl., a relict-endangered Mexican cloud forest tree, to climatic events: evidences from leaf venation and wood vessel anatomy	Rodríguez-Ramírez et al.,2020
125	Population structure of <i>Fagus grandifolia</i> subsp. mexicana in the cloud forest of Hidalgo state, Mexico	Ortiz-Quijano et al.,2016
126	Potencial del uso del Fresno (<i>Fraxinus udhei</i>) en estudios dendrocronológicos	Miranda-Avilés et al.,2009
127	Potencial dendroclimático de la madera temprana y tardía de <i>Pinus cooperi</i> Blanco	Pompa-García & Camarero-Martínez, 2015a
128	Potencial dendroclimático de <i>Pinus pinceana</i> Gordon en la Sierra Madre Oriental	Santillán-Hernández et al.,2010
129	Potencial dendrocronológico de <i>Juniperus monticola</i> Martínez en el monte Tláloc, México	Villanueva-Díaz et al.,2016
130	Potencial dendrocronológico de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco y reconstrucciones de precipitación y flujo en México	Villanueva-Díaz et al.,2008a
131	Potencial dendrocronológico de <i>Taxodium mucronatum</i> Ten. y acciones para su conservación en México	Villanueva-Díaz et al.,2007a
132	Potencial dendrogeomorfológico de coníferas en volcanes del centro de México	Franco-Ramos et al.,2018
133	Precipitación reconstruida para la parte alta de la cuenca del río Nazas, Durango	Cerano-Paredes et al.,2012

No	Título de documento	Referencia
134	Precipitación y flujo histórico de la cuenca Nazas-Aguanaval e impacto en la agricultura	Villanueva-Díaz et al.,2006
135	Precipitación y gasto reconstruido en la cuenca baja del río Nazas	Villanueva-Díaz et al.,2010c
136	Radial growth in <i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham. and its relationship with growing space and climatic factors	Reyes-Cortés et al.,2020
137	Radial growth of pine species in stands subject to selection cutting in Santa María Lachixío, Oaxaca, Mexico	Trujillo-Martínez et al.,2020
138	Radiocarbon analysis of <i>Pinus lagunae</i> tree rings: implications for tropical dendrochronology	Biondi & Fessenden, 1999
139	Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México	Cerano-Paredes et al.,2009b
140	Reconstrucción de algunas sequías a través de anillos de crecimiento para el norte de México	Ortega-Arroyo et al.,2018
141	Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la reserva Cerro el Mohinora, Chihuahua	Cerano-Paredes et al.,2010
142	Reconstrucción de la precipitación anual para la región oriental del estado de Tlaxcala	Cardoza-Martínez et al.,2018
143	Reconstrucción de la precipitación estacional con anillos de crecimiento para la región hidrológica Presidio-San Pedro	Díaz-Ramírez et al.,2016
144	Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	Villanueva-Díaz et al.,2009b
145	Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera con base en anillos de crecimiento de árboles para la región de San Dimas, Durango, México	Chávez-Gándara et al.,2017
146	Reconstrucción de la precipitación y caudal medio del río Piaxtla mediante anillos de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	Villanueva-Díaz et al.,2020b
147	Reconstrucción de la variabilidad de sequías de largo plazo en territorio mexicano de la cuenca del río Bravo	Núñez-López et al.,2018
148	Reconstrucción de lahares intra-eruptivos con base en anillos de crecimiento de árboles en el Valle Axaltzintle, Volcán la Malinche	Franco-Ramos et al.,2014
149	Reconstrucción de los niveles del lago de Chapala con series dendrocronológicas de <i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	Villanueva-Díaz et al.,2018d

No	Título de documento	Referencia
150	Reconstrucción de precipitación estacional de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (mirb.) Franco en Sierra la Madera, Cuatrociénegas, Coahuila	Villanueva-Díaz et al.,2008b
151	Reconstrucción de precipitación estacional para el noroeste de Guanajuato	Cortés-Barrera et al.,2012
152	Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán	Cerano-Paredes et al.,2014
153	Reconstrucción de precipitación y temperatura con anillos de crecimiento anual del ciprés <i>Taxodium mucronatum</i> (Taxodiaceae) en Coahuila, México	Villanueva-Díaz et al.,2020c
154	Reconstrucción de sequías y asociación climática en la cuenca del Río Conchos, Chihuahua	Martínez-Sifuentes et al.,2019
155	Reconstrucción de temperatura y precipitación en la cuenca del lago de Cuitzeo, México	Manzanilla-Quiñones et al.,2018
156	Reconstrucción del historial de incendios y estructura forestal en bosques mixtos de pino-encino en la Sierra Madre Oriental	González-Tagle et al.,2016
157	Reconstrucción dendrocronológica de patrones de precipitación de largo plazo en el Parque Nacional de Basaseachi, Chihuahua, México	Irby et al.,2013
158	Reconstrucción dendrohidrológica de escurrimientos en la subregión hidrológica Coahuayana, estado de Jalisco	Villanueva-Díaz et al.,2021b
159	Reconstrucción histórica de la precipitación en la Reserva de la Biosfera El Cielo, México, mediante anillos de crecimiento en <i>Taxodium mucronatum</i> (Cupressaceae)	Osorio-Osorio et al.,2020
160	Reconstructing evaporation from pine tree rings in northern Mexico	Pompa-García & Camarero-Martínez, 2015b
161	Reconstruction of debris-flow activity in a temperate mountain forest catchment of central Mexico	Franco-Ramos et al.,2019a
162	Reconstruction of fire history in mexican tropical pines using tree rings	Cassell & Alvarado, 2012
163	Reconstruction of historical precipitation (1877-2014) for the southwest of the Sierra Gorda Biosphere Reserve, Querétaro, Mexico	Mendoza-Villa et al.,2018
164	Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New Mexico, USDA and Sonora, Mexico	Villanueva-Díaz & McPherson, 1996
165	Reconstruction of severe droughts in "Pico de Tancítaro" national park, Michoacán	Cerano-Paredes et al.,2013a

No	Título de documento	Referencia
166	Reconstruction of winter-spring precipitation with annual rings of <i>Pinus douglasiana</i> in the Sierra de Manantlán Biosphere Reserve, Jalisco	Cerano-Paredes et al.,2013b
167	Red dendrocronológica de pino triste (<i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald) en la Sierra Madre Occidental para reconstrucción de lluvia estacional	Villanueva-Díaz et al.,2018e
168	Red dendrocronológica del Pino de Altura (<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.) para estudios dendroclimáticos en México	Vázquez-Selem et al.,2015
169	Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de <i>Pinus hartwegii</i> al norte del estado de Puebla, México	Cerano-Paredes et al.,2016
170	Registro de sequías históricas en el occidente de México con base en el análisis elemental de sedimentos lacustres: El caso del lago de Santa María del Oro	Sosa-Nájera et al.,2010
171	Relationship between climate variability and radial growth of <i>Pinus montezumae</i> Lamb. in Coyuca de Catalán, Guerrero	Cortés-Cortés et al.,2021
172	Response of tree radial growth to evaporation, as indicated by earlywood and latewood	Chacón-de la Cruz & Pompa-García, 2015
173	Responses of growth to climate and drought in two sympatric Mexican pine species	González-Cásares et al.,2020
174	Respuesta climática de <i>Abies guatemalensis</i> Rehder en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México	Aquino-Ramírez et al.,2019
175	Respuesta climática de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede Ex Schetol en el bosque La Primavera, Jalisco	Villanueva-Díaz et al.,2018f
176	Respuesta climática del ciprés (<i>Hesperocyparis guadalupensis</i>) en Isla Guadalupe, Baja California, México	Villanueva-Díaz et al.,2015b
177	Respuesta de madera temprana y tardía a la sequía en una conífera mexicana bajo dos condiciones ecológicas	Pompa-García & Domínguez-Calleros, 2015
178	Respuesta del crecimiento de <i>Pinus oocarpa</i> a variables climáticas en Chiapas, México	López-Hernández et al.,2018
179	Respuesta fisiológica de <i>Taxodium mucronatum</i> Ten. a los incrementos atmosféricos de CO ₂ y temperatura del último siglo	Correa-Díaz et al.,2018
180	Respuesta hidrológica del sabino en bosques de galería del río San Pedro Mezquital, Durango	Villanueva-Díaz et al.,2013
181	Runoff reconstruction and climatic influence with tree rings, in the Mayo river basin, Sonora, Mexico	Martínez-Sifuentes et al.,2020b

No	Título de documento	Referencia
182	Seasonal precipitation reconstruction and teleconnections with ENSO based on tree ring analysis of <i>Pinus cooperi</i>	Pompa-García & Jurado, 2013
183	Sensibilidad climática de tres versiones dendrocronológicas para una conífera mexicana	Pompa-García et al.,2014
184	Sensibilidad climática en anchuras de anillos de crecimiento de <i>Pinus hartwegii</i> : una especie alpina mexicana con potencial dendroclimático	Manzanilla-Quiñones et al.,2020
185	Sensitivity of pines in Mexico to temperature varies with age	Pompa-García & Hadad, 2016
186	Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México	Cerano-Paredes et al.,2011b
187	Sierra San Pedro Mártir, Baja California, cool-season precipitation reconstructed from earlywood width of <i>Abies concolor</i> tree rings	Meko et al.,2013
188	Southern oscillation extremes reconstructed from tree rings of the Sierra Madre Occidental and southern great plains.	Stahle & Cleaveland, 1993
189	Spatial patterns of Mexican pine-oak forests under different recent fire regimes	Fulé & Covington, 1998
190	Spatio-temporal reconstruction of lahars on the southern slopes of Colima volcano, Mexico – A dendrogeomorphic approach	Franco-Ramos et al.,2013
191	Temporal and spatial variations of atmospheric radiocarbon in the Mexico city metropolitan area	Beramendi-Orosco et al.,2015
192	Temporal variation of wood density and carbon in two elevational sites of <i>Pinus cooperi</i> in relation to climate response in northern Mexico	Pompa-García & Venegas-González, 2016
193	Testing a pyroclimatic hypothesis on the Mexico–United States border	Fulé et al.,2012
194	The climatic response of baldcypress (<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.) in San Luis Potosi, Mexico	Villanueva-Díaz et al.,2020d
195	The Mexican Drought Atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras	Stahle et al.,2016
196	The potential of tree rings for the study of forest succession in southern Mexico	Brienen et al.,2009
197	The relationship between earlywood and latewood ring-growth across north America	Torbenson et al.,2016
198	Trabajo de campo dendrocronológico para estudios de geografía física. Experiencias en los volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl, 2006-2017	Franco-Ramos & Vázquez-Selem, 2017

No	Título de documento	Referencia
199	Tree growth and among populations of <i>Pinus greggii</i> Engelm. at two contrasting sites in central México	García-G et al.,2004
200	Tree growth response to ENSO in Durango, Mexico	Pompa-García et al.,2015
201	Tree growth response to the 1913 eruption of Volcán de Fuego de Colima, Mexico	Biondi et al.,2003
202	Tree rings and 'El Año del Hambre' in Mexico	Therrell, 2005
203	Tree rings as indicators of climatic variation in the Trans-Mexican Volcanic Belt, central Mexico	Carlón-Allende et al.,2021
204	Treeline dendroclimatology in the North American tropics	Biondi, 2002
205	Tree-ring analysis of ancient baldcypress trees and subfossil wood	Stahle et al.,2012
206	Tree-ring based reconstruction of rockfalls at Cofre de Perote volcano, Mexico	Franco-Ramos et al.,2017b
207	Tree-ring growth and hydro-climatic variability in temperate dendrochronologies of northern Mexico	Návar-Cháidez & Lizárraga-Mendiola, 2014
208	Tree-ring reconstructed maize yield in central Mexico: 1474–2001	Therrell et al.,2006
209	Tree-ring reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico	Cleaveland et al.,2003
210	Tree-ring reconstruction of past lahar activity at Popocatépetl volcano, Mexico	Bollschweiler et al.,2010
211	Tree-ring research of Mexican beech (<i>Fagus grandifolia</i> subsp. mexicana) a relict tree endemic to eastern Mexico	Rodríguez-Ramírez et al.,2018b
212	Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: A 1681–2001 rain reconstruction	González-Elizondo et al.,2005
213	Tree-rings based analysis of the 2001 pyroclastic flow and post-eruptive tree colonization on Popocatépetl volcano, Mexico	Franco-Ramos et al.,2019b
214	Using automated point dendrometers to analyze tropical treeline stem growth at Nevado de Colima, Mexico	Biondi & Hartsough, 2010
215	Using tree-ring analysis to evaluate intra-eruptive lahar activity in the Nexpayantla Gorge, Popocatépetl volcano (central Mexico)	Franco-Ramos et al.,2016
216	Using tree-rings to reconstruct fire history Information from forested areas	Cerano-Paredes et al.,2020b

No	Título de documento	Referencia
217	Utilización de <i>Taxodium mucronatum</i> Ten. para determinar la variación estacional de la precipitación en Guanajuato	Cortés-Barrera et al.,2010
218	Variabilidad hidroclimática histórica de la sierra de Zapalinamé y disponibilidad de recursos hídricos para Saltillo, Coahuila	Villanueva-Díaz et al.,2009c
219	Variabilidad hidroclimática histórica del norte de México inferida con anillos de crecimiento de Douglas-fir	Villanueva-Díaz et al.,2011b
220	Variabilidad hidroclimática reconstruida con anillos de árboles para la cuenca alta del Río Mezquital, Durango.	Villanueva-Díaz et al.,2014b
221	Variabilidad hidroclimática reconstruida con anillos de árboles para la cuenca Lerma Chapala en Guanajuato, México	Villanueva-Díaz et al.,2012
222	Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila	Cerano-Paredes et al.,2011c
223	Variación espacial y temporal del contenido de carbono en bosques de la sierra madre occidental: avances preliminares	González-Cásares et al.,2015
224	Variation in radial growth of <i>Pinus cooperi</i> in response to climatic signals across an elevational gradient	Pompa-García et al.,2013b
225	Volcanic activity signals in tree-rings at the treeline of the Popocatepetl, Mexico	Alfaro-Sánchez et al.,2020
226	Volúmenes reconstruidos en presas del Valle del Yaqui con anillos anuales de coníferas	Villanueva-Díaz et al.,2014c
227	Warm season tree growth and precipitation over Mexico	Therrell et al.,2002
228	Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico	Villanueva-Díaz et al.,2007b
229	Dendrogeomorphic dating of rockfalls on low-latitude, high-elevation slopes: Rodadero, Iztaccíhuatl volcano, Mexico.	Stoffel et al.,2011

CAPITULO 4. ESTUDIO DE LA DENDROCRONOLOGÍA EN MÉXICO

En la Figura 6 se muestra la distribución espacial de las cronologías realizadas en México, las cuales, como ya se mencionó en el capítulo anterior, se distribuyen principalmente en tres provincias fisiográficas, abarcando primordialmente las sierras templadas y cubriendo mayoritariamente el territorio de tres estados de la república (Figura 7).

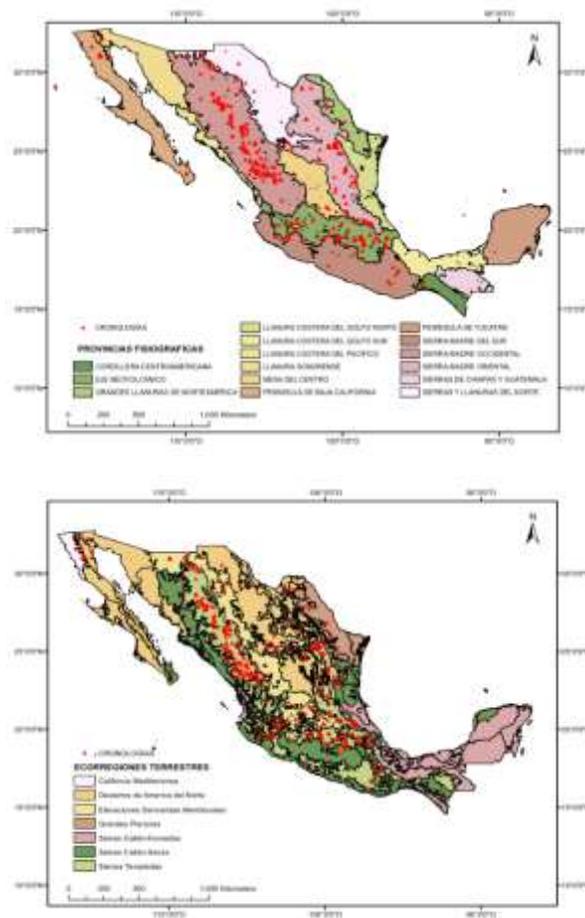


Figura 6. Distribución espacial de cronologías realizadas en México.

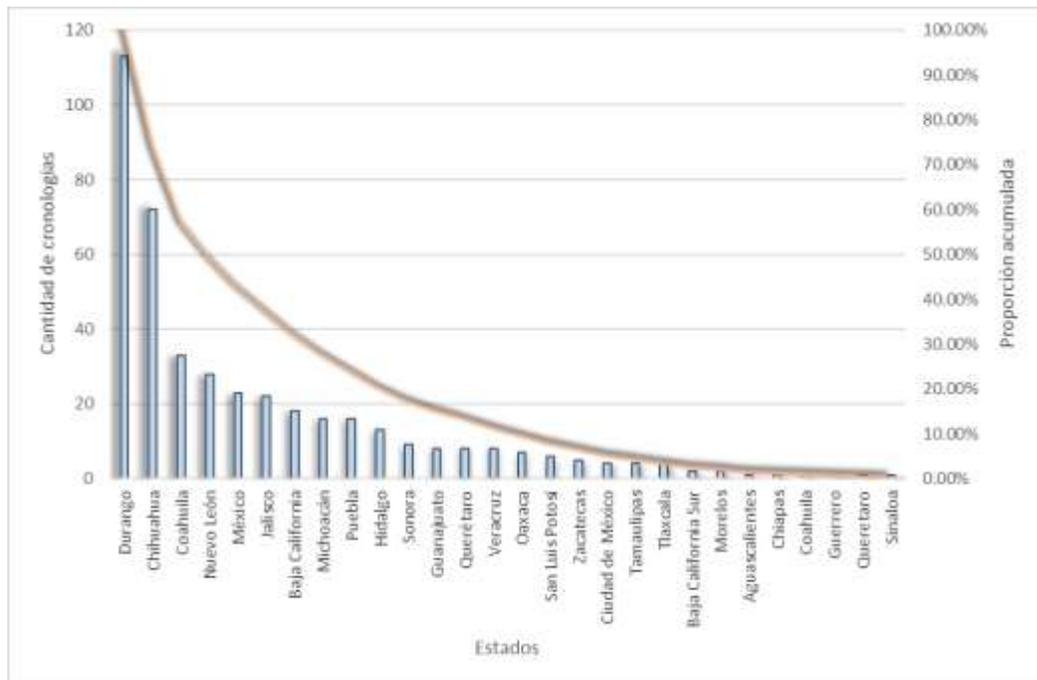


Figura 7. Producción de cronologías por estado

Los estudios de anillos de crecimiento en México se han enfocado primordialmente a la selección de tres especies arbóreas: *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii* y *Taxodium mucronatum*, las cuales han sido incluidas en una considerable cantidad de estudios dendrocronológicos, permitiendo con ello la amplia comprobación de su potencial dendrocronológico, sin embargo, adicionalmente se ha realizado la exploración del potencial de 50 especies arbóreas más, principalmente coníferas. Las especies de hoja ancha han sido poco utilizadas (Figura 8).

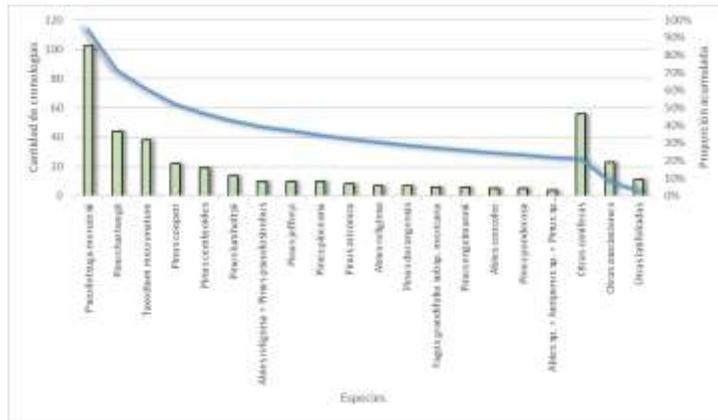


Figura 8. Especies arbóreas utilizadas en estudio dendrocronológicos en México

Las cronologías comprenden un periodo de tiempo que va desde el año 467 hasta el año 2019, que significan una amplitud de 1552 años. De 1801 a 2019 es el periodo mejor representado (Figura 9). Se identificaron 27 cronologías con extensión de tiempo mayor a 500 años (Cuadro 3).

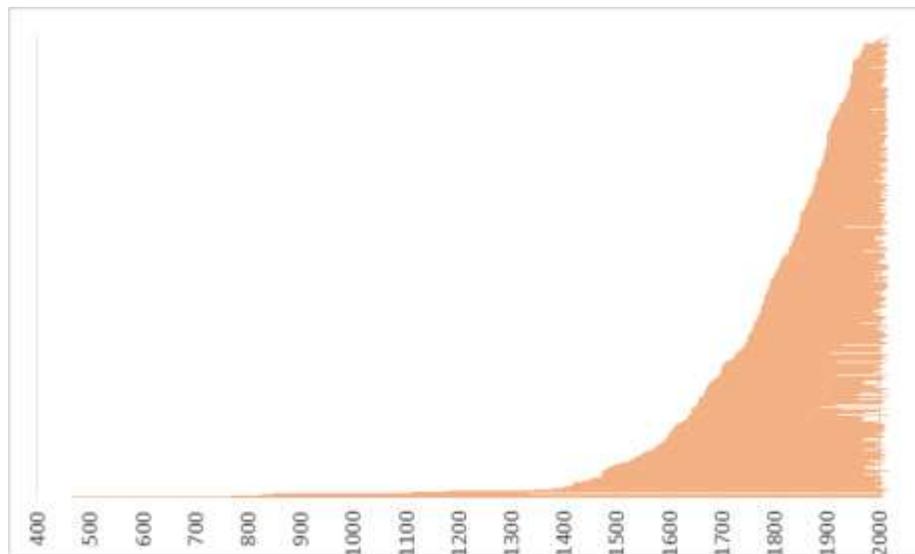


Figura 9. Extensión temporal de las cronologías

Cuadro 3. Cronologías más extensas desarrolladas México.

Especie	Extensión cronología	Periodo	Referencia (Cuadro 2. Material adicional 2)
<i>Juniperus monticola</i>	834	1178-2012	Alcalá-Reygosa et al., 2018
<i>Pinus hartwegii</i>	589	1420-2009	Villanueva-Díaz et al., 2018a
<i>Pinus jeffreyi</i>	522	1449-1971	Villanueva-Díaz et al., 2000
	543	1450-1993	Villanueva-Díaz et al., 2000
	662	1343-2005	Stephens et al., 2010
<i>Pinus lambertiana</i>	584	1409-1993	Villanueva-Díaz et al., 2000
<i>Pinus ponderosa</i>	527	1474-2001	Therrell et al., 2004
<i>Pseudotsuga mensiezii</i>	530	1472-2002	Villanueva-Díaz et al., 2014c
	570	1436-2006	Villanueva-Díaz et al., 2008a
	587	1418-2005	Villanueva-Díaz et al., 2008a
	500	1493-1993	Cleaveland et al., 2003
	512	1481-1993	Villanueva-Díaz et al., 2000
	527	1474-2001	Therrell et al., 2006
	531	1472-2002	Villanueva-Díaz et al., 2009b
	552	1450-2002	Villanueva-Díaz et al., 2005
	606	1396-2002	Villanueva-Díaz et al., 2007b
	607	1386-1993	Cleaveland et al., 2003
<i>Sin información</i>	899	1113-2011	Villanueva-Díaz et al., 2014b
<i>Taxodium mucronatum</i>	504	1500-2004	Villanueva-Díaz et al., 2006
	521	1474-1995	Villanueva-Díaz et al., 2007a
	544	1474-2017	Osorio-Osorio et al., 2020
	547	1462-2008	Villanueva-Díaz et al., 2018d
	585	1420-2004	Villanueva-Díaz et al., 2010c
	635	1381-2016	Villanueva-Díaz et al., 2020d
	1179	825-2004	Villanueva-Díaz et al., 2007a
	1238	771-2008	Stahle et al., 2011

Especie	Extensión cronología	Periodo	Referencia (Cuadro 2. Material adicional 2)
	1539	465-2004	Villanueva-Díaz et al., 2007a

Los estudios dendrocronológicos realizados en México señalan como principal factor de influencia en el desarrollo de los anillos de crecimiento a la precipitación, especialmente en los ecosistemas forestales localizados en el norte y centro del país (Cerano Paredes et al., 2011), por ende, es la variable mayormente reconstruida (Figura 10).

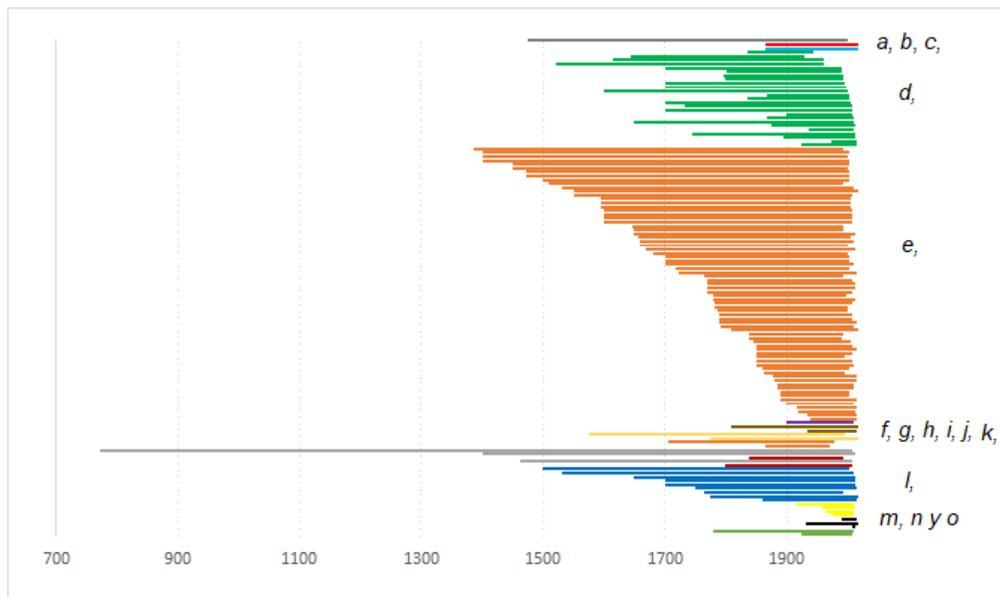


Figura 10. Reconstrucción de variables a partir de análisis de anillos de crecimiento.

(a) Rendimiento de maíz, (b) índice de área foliar (LAI), (c) índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), (d) régimen de incendios, (e) precipitación, (f) evaporación, (g) temperatura (media, máxima promedio), (h) índice sequías SPEI, (i) índice de oscilación sur (SOI), (j) índice de gravedad de la sequía de Palmer (PDSI), (k) volúmenes de agua recuperados en cuerpos de agua, (l) flujo hidrológicos (caudal medio, flujo de arroyos y flujo de escorrentía), (m) lahares, (n) flujo de escombros y avenidas torrenciales y (o) desprendimiento y caída de rocas.

Finalmente, a partir del análisis de los elementos bibliográficos de tema y autoría de los productos científicos (compuestos por nombre, dirección y afiliación institucional) se identificaron las redes de colaboración para esta ciencia. En total se identificaron 393 autores, los cuales se encuentran asociados a 124 instituciones.

En primera instancia se identificó la colaboración entre autores, como se puede apreciar en la Figura 11, los investigadores José Villanueva Díaz y Julián Cerano Paredes son los autores con mayor número de colaboraciones realizadas. Por otro lado, las dos instituciones nacionales con más colaboraciones son: el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

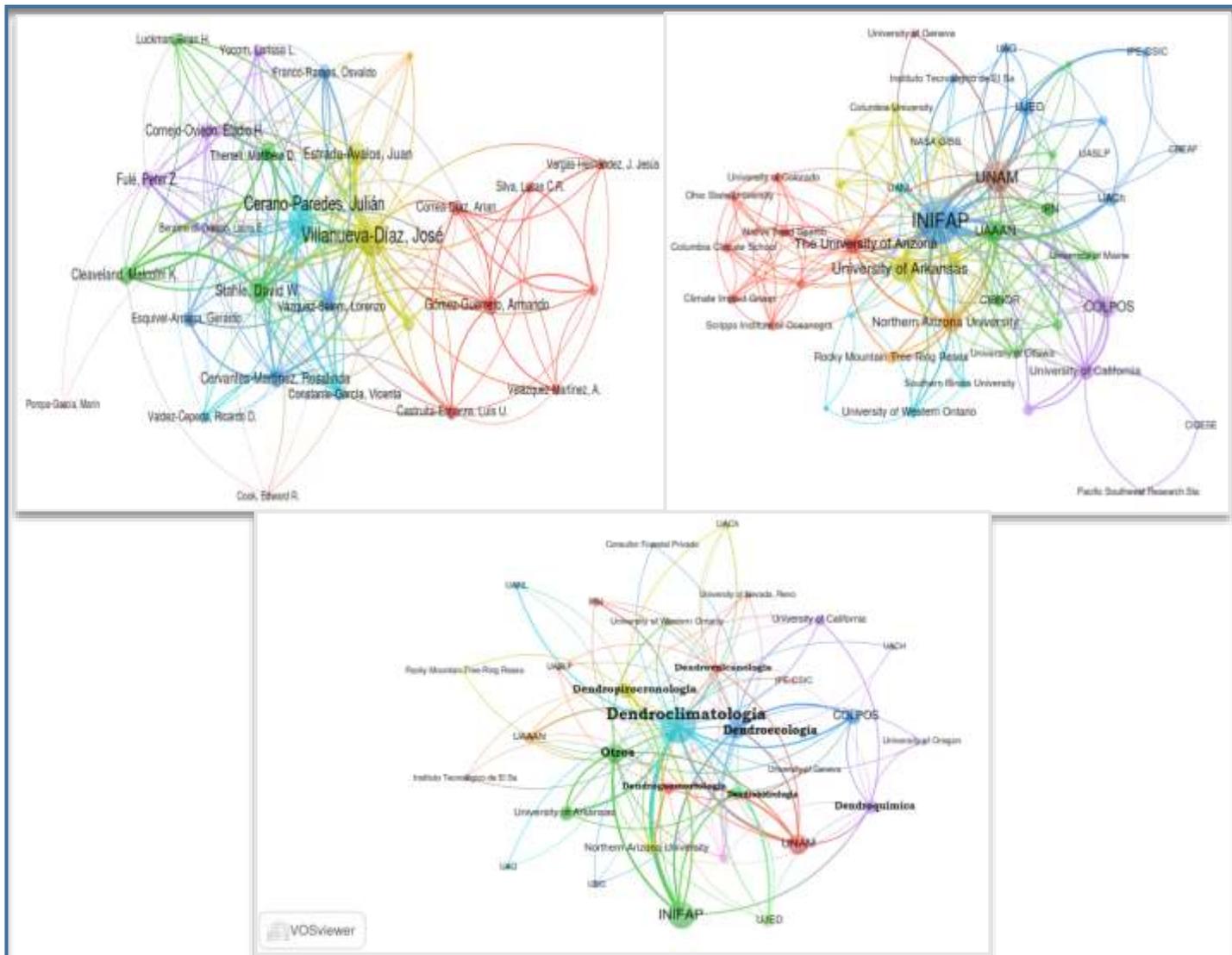


Figura 11. Redes de colaboración

Literatura citada

Cerano Paredes, J., Villanueva Díaz, J., Valdez Cepeda, R. D., Méndez González, J., & Constante García, V. (2011). Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México TT - Reconstructed droughts in the last 600 years for northeastern Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe2), 235-249.

CONCLUSIONES

Los estudios dendrocronológicos en México han tenido un considerable crecimiento, sobre todo a partir del año 1999. Aunque joven, la ciencia observa potencial para continuar explorándose en el país. Se han explorado con éxito diversos enfoques, sin embargo, hay dominancia en las variables climáticas como factores de variabilidad del ancho de los anillos de crecimiento. Otros enfoques de investigación como dendroecología, dendrocronopirología, dendrohidrología, dendrogemorfología y dendroquímica significan oportunidad para nuevos estudios. Se observó una preferencia por el uso de coníferas en el norte y centro de país.

Especies latifoliadas con potencial deberán ser estudiadas más a detalle, particularmente de aquellas presentes en ambientes tropicales, donde la estacionalidad climática es menos evidente, lo que hace más difícil los estudios dendrocronológicos. La inmensa diversidad que presentan los ecosistemas forestales de México, aunado al extenso territorio del país, conceden un área de oportunidad para la expansión de las fronteras territoriales y del conocimiento de esta ciencia.