



Dendrochronological research in Mexico: A bibliometric analysis

La investigación dendrocronológica en México: un análisis bibliométrico

Teodoro Carlón-Allende¹; Karla A. De La Peña-Guillén²;
José Villanueva-Díaz³; José L. Macías-Vázquez⁴

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán -SECIHTI. Antigua Carretera a Pátzcuaro núm. 8701, col. Exhacienda de San José de La Huerta. C. P. 58190. Morelia, Michoacán, México.

²University of Ostrava, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology. Chittussiho 10, 710 00 Ostrava, Czech Republic.

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

⁴Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán. Antigua Carretera a Pátzcuaro núm. 8701, col. Exhacienda de San José de La Huerta. C. P. 58190. Morelia, Michoacán, México.

*Corresponding author: tcarl@igeofisica.unam.mx; tel.: +52 443 322 2777 ext. 42681.

Abstract

Introduction. The study of tree-rings has achieved great relevance due to its increasing application to address sciences such as Climatology, Ecology, Geomorphology, among others.

Objective. To carry out a bibliometric analysis of the dendrochronological studies developed in Mexico, providing an overview of research trends and identifying areas of opportunity for future development of this science.

Materials and methods. Articles published between 2000 and 2023 were searched in Web of Science, Scopus, Redalyc, and Scielo. The data was analyzed using VOSviewer software.

Results and discussion. A total of 229 articles were found, involving 76 tree species in 25 states; Sinaloa, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Aguascalientes, Nayarit, and Guerrero lack dendrochronological research. *Pinus hartwegii*, *Pseudotsuga menziesii*, and *Abies religiosa* are the most explored species. Over the past 13 years, publications have increased exponentially ($R^2 = 0.837$); the majority focus on dendroclimatology (52%), while dendrovolcanology, dendroarchaeology, and dendrohydrology have been minimally explored. Mexican journals published only 26 % of the articles, and the main collaboration networks include the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, the Universidad Nacional Autónoma de México and the Universidad Juárez del Estado de Durango.

Conclusions. Few studies were identified on tropical and broadleaf species, despite their dendrochronological potential, and there are seven states where no research has been conducted on this topic. The information generated provides opportunities for developing studies on growth rate analysis, hydroclimatic reconstructions, and ecological research for species conservation.

Resumen

Introducción. El estudio de los anillos de crecimiento de los árboles ha alcanzado gran relevancia, debido a su creciente aplicación para abordar ciencias como climatología, ecología, hidrología, vulcanología y geomorfología.

Objetivo. Realizar un análisis bibliométrico de los estudios sobre dendrocronología desarrollados en México, para proporcionar una visión general de las tendencias de investigación y áreas de oportunidad de esta ciencia.

Materiales y métodos. Se hizo una búsqueda de artículos en Web of Science, Scopus, Redalyc y Scielo, publicados durante el período 2000-2023. La información se analizó con el programa VOSviewer.

Resultados y discusión. Se encontraron 229 artículos que involucraron 76 especies arbóreas en 25 estados; Sinaloa, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Aguascalientes, Nayarit y Guerrero no cuentan con investigación dendrocronológica. Las especies más exploradas son *Pinus hartwegii*, *Pseudotsuga menziesii* y *Abies religiosa*. En los últimos 13 años, las publicaciones incrementaron exponencialmente ($R^2 = 0.837$); la mayoría tienen un enfoque dendroclimático (52 %), mientras que la dendrovolcanología, dendroarqueología y dendrohidrología han sido poco exploradas. Las revistas mexicanas publicaron solo 26 % de los artículos y las principales redes de colaboración están integradas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Juárez del Estado de Durango.

Conclusiones. Se identificaron pocos estudios con especies tropicales y latifoliadas, a pesar de tener potencial dendrocronológico, y siete estados donde no se ha desarrollado investigación al respecto. La información generada ofrece áreas de oportunidad para el desarrollo de trabajos en análisis de tasas de crecimiento, reconstrucciones hidroclimáticas y estudios ecológicos para la conservación de especies.

Keywords: Tree-rings; chronology; dendroclimatology; dendrogeomorphology; dendroecology.

Palabras clave: anillos de crecimiento; cronología; dendroclimatología; dendrogeomorfología; dendroecología.

Please cite this article as follows (APA 7): Carlón-Allende, T., De La Peña-Guillén, K. A., Villanueva-Díaz, J., Macías-Vázquez, J. L. (2024). Dendrochronological research in Mexico: A bibliometric analysis. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 31, e24037. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.09.037>



Introduction

Dendrochronology is the science that dates the exact year of formation of tree rings, in order to identify and quantify historical events that have occurred in the last centuries or millennia (Fritts, 1976). This is possible because trees are long-term bioindicators (Carlón-Allende et al., 2021; Pawlik et al., 2023). Therefore, dendrochronology is considered a science with great scope in the research of natural and anthropic phenomena such as climate reconstructions (Cook et al., 2016; Morales et al., 2020; Stahle et al., 2016), geomorphological events (Bovi et al., 2022; Tichavský, 2023), fire frequency regimes (Cerano-Paredes et al., 2021; Margolis et al., 2022), volcanic eruptions (Seiler et al., 2017), and reconstructions of the interaction between anthropogenic changes and the environment through dendroarchaeological techniques (Shindo & Ważny 2023). Despite its significant contributions, dendrochronology is a relatively young science; its origins trace back to the late 19th and early 20th centuries (Douglass, 1914), but it wasn't until 1937 that the first tree ring laboratory was founded. In 1970, dendrochronology was established as a relevant science, primarily due to its contributions in climate studies and the understanding of forest dynamics on a temporal scale of hundreds and in some cases, thousands of years (Fritts, 1976). Understanding historical events of both natural and anthropogenic origin requires data with extensive spatial coverage; however, many parts of the world lack pre-instrumental data. Consequently, the longevity of tree species with well-defined tree rings and wide spatial-temporal coverage has significantly contributed to the understanding of interannual and multiyear climate variation, as well as the atmospheric circulation phenomena that modulate them (Babst et al., 2017; Zhao et al., 2019).

In Mexico, the first publication on dendrochronology was the study conducted by Schulman (1944), who developed a tree-ring chronology to determine the variation of precipitation, temperature, and streamflow. Two decades later, other chronologies were developed for northern Mexico (Scott, 1966). Subsequently, Schulman generated 20 tree-ring chronologies; however, many of these have not been used under any specific approach (Villanueva-Díaz et al., 2003). Another dendrochronological study was conducted by Naylor (1971), who preliminarily evaluated the dendrochronological potential of *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. (currently *Pinus strobiformis*), *P. rudis* Endl., and *P. pseudostrobus* Lindl. Additionally, Huante et al. (1991) conducted exploratory dendrochronological research in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve and related tree ring growth to precipitation and temperature; they also identified that spring precipitation and winter temperature influence the development of tree rings.

Introducción

La dendrocronología es la ciencia mediante la cual se data el año exacto de formación de los anillos de crecimiento, para la identificación y cuantificación de eventos históricos ocurridos en los últimos siglos o milenios (Fritts, 1976); esto es posible debido a que los árboles son bioindicadores de largo plazo (Carlón-Allende et al., 2021; Pawlik et al., 2023). Por lo tanto, la dendrocronología es una ciencia de gran alcance en la investigación de fenómenos naturales y antrópicos como reconstrucciones climáticas (Cook et al., 2016; Morales et al., 2020; Stahle et al., 2016), eventos geomorfológicos (Bovi et al., 2022; Tichavský, 2023), regímenes de frecuencia de incendios (Cerano-Paredes et al., 2021; Margolis et al., 2022), erupciones volcánicas (Seiler et al., 2017) y reconstrucciones de la interacción entre los cambios antropogénicos y el medio ambiente mediante técnicas dendroarqueológicas (Shindo & Ważny 2023). A pesar de los grandes aportes, la dendrocronología es una ciencia joven; sus inicios datan de finales del siglo XIX y principios del siglo XX (Douglass, 1914), pero no fue hasta 1937 que se fundó el primer laboratorio de investigación sobre anillos de crecimiento de los árboles. En 1970, la dendrocronología se consagró como una ciencia relevante, debido a sus aportes, principalmente en el tema de clima y en la comprensión de la dinámica forestal a escala temporal de cientos y en ocasiones de miles de años (Fritts, 1976). La comprensión de los eventos históricos de origen natural y antrópico requieren datos con amplia cobertura espacial; sin embargo, en muchas partes del mundo se carece de datos preinstrumentales. Por lo tanto, la longevidad de especies arbóreas con anillos de crecimiento bien definidos y de amplia cobertura espacio-temporal ha contribuido notablemente a la comprensión de la variación interanual y multianual del clima y los fenómenos de circulación atmosférica que los modulan (Babst et al., 2017; Zhao et al., 2019).

En México, la primera publicación sobre dendrocronología corresponde al estudio realizado por Schulman (1944), quien desarrolló una cronología de anillos de crecimiento de árboles para determinar la variación de la precipitación, temperatura y escurrimiento de ríos. Dos décadas después se desarrollaron otras cronologías para el norte de México (Scott, 1966). Posteriormente, Schulman generó 20 cronologías de anillos de crecimiento de árboles; sin embargo, muchas de estas no se han utilizado bajo ningún enfoque (Villanueva-Díaz et al., 2003). Otra investigación dendrocronológica fue la desarrollada por Naylor (1971), quien evaluó preliminarmente el potencial dendrocronológico de *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. (actualmente *Pinus strobiformis*), *P. rudis* Endl. y *P. pseudostrobus* Lindl. Asimismo, Huante et al. (1991) realizaron investigación dendrocronológica exploratoria en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca y relacionaron el crecimiento de los anillos con la precipitación y temperatura; además, identificaron que la

Since 2000, dendrochronological research in Mexico has made substantial contributions to reconstructing precipitation and identifying climatic variables that influence forest growth (Acosta-Hernández et al., 2017); dendrochemical analysis to understand environmental changes caused by natural and anthropogenic sources (Beramendi-Orosco et al., 2018; Sheppard et al., 2008); dendrogeomorphological analysis to comprehend the dynamics of debris flows (De la Peña et al., 2024; Franco-Ramos et al., 2019), the assessment of lahar events (Figuroa-García et al., 2021), the reconstruction of floods (Sánchez-Asunción et al., 2020), and erosion processes (Franco-Ramos et al., 2023); the impact of droughts and wildfires on forest growth (González-Tagle et al., 2023; Margolis et al., 2022); the effect of volcanic eruptions on forest growth (Carlón-Allende et al., 2020, 2022; Sheppard et al., 2008) and studies on the impact of global warming on radial growth and species recruitment at the treeline (Astudillo-Sánchez et al., 2017). However, despite all these contributions, there are still gaps in knowledge that have not been sufficiently addressed to support species conservation plans or sustainable management of ecosystems with high biodiversity. An example of these gaps includes the identification of the dendrochronological potential of species in tropical ecosystems or temperate broadleaf forests (Villanueva et al., 2021).

The objective of this study was to analyze the current state of dendrochronological research conducted in Mexico from 2000 to 2023 through a bibliometric analysis. This analysis highlights the contribution of studies to the understanding of natural phenomena (ecological, environmental, and Earth sciences). It facilitates the identification of the most studied species, the geographical distribution of the research, fields of application, collaboration networks among institutions and authors, and the evolution of dendrochronological research. The information generated has not been reported in other reviews; one of these was developed in 2003 (Villanueva et al., 2003) and another in 2017 (Acosta et al., 2017), but they only reported 24 % of the articles identified in the present review.

Materials and Methods

Compilation of Publications

This study consisted of a search for scientific articles focused on dendrochronological research in Mexico from 2000 to 2023. The search was conducted in Scopus, Web of Science, Redalyc, and Scielo. The search included keywords in both Spanish and English, such as “dendrochronology”, “tree rings” and “Mexico” used to retrieve titles, abstracts, and keywords of publications. In addition, these terms were combined with the words “dendroclimatology”, “dendropyrology”, “dendrochemistry”, “dendrovulcanology”,

precipitación de primavera y la temperatura de invierno influyen en el desarrollo de los anillos de crecimiento.

A partir del año 2000, la investigación dendrocronológica en México ha generado aportes sustanciales en la reconstrucción de precipitación e identificación de variables climáticas que influyen en el crecimiento de los bosques (Acosta-Hernández et al., 2017); análisis dendroquímico para comprender los cambios ambientales provocados por fuentes naturales y antrópicas (Beramendi-Orosco et al., 2018; Sheppard et al., 2008); análisis dendrogeomorfológico para comprender la dinámica de flujos de detritos (De la Peña et al., 2024; Franco-Ramos et al., 2019), evaluación de eventos de lahares (Figuroa-García et al., 2021), reconstrucción de inundaciones (Sánchez-Asunción et al., 2020) y procesos de erosión (Franco-Ramos et al., 2023); impacto de sequías e incendios en el crecimiento de los bosques (González-Tagle et al., 2023; Margolis et al., 2022); impacto de las erupciones volcánicas en el crecimiento de los bosques (Carlón-Allende et al., 2020, 2022; Sheppard et al., 2008) y estudios del impacto de calentamiento global en el incremento radial y reclutamiento de especies en el límite arbóreo (Astudillo-Sánchez et al., 2017). No obstante, a pesar de todos estos aportes, aún existen vacíos de conocimiento que no han sido suficientemente abordados para el sustento de planes de conservación de especies o manejo sustentable de ecosistemas con alta biodiversidad. Un ejemplo de estos vacíos incluye la identificación del potencial dendrocronológico de especies en ecosistemas tropicales o bosques templados de especies latifoliadas (Villanueva et al., 2021).

El objetivo de este estudio fue analizar el estado actual de la investigación dendrocronológica desarrollada en México en el periodo 2000-2023, mediante un análisis bibliométrico, donde se destaca la contribución de los estudios para la comprensión de fenómenos naturales (ecológicos, ambientales y en ciencias de la Tierra). Esto facilita la identificación de las especies más estudiadas, la distribución geográfica de los estudios, los campos de aplicación y las redes de colaboración entre instituciones y autores, así como la evolución de la investigación dendrocronológica. La información generada no ha sido reportada en otras revisiones; una de estas se desarrolló en 2003 (Villanueva et al., 2003) y otra en 2017 (Acosta et al., 2017), pero solo reportaron 24 % de los artículos identificados en la presente revisión.

Materiales y métodos

Recopilación de publicaciones

Este estudio consistió en la búsqueda de artículos científicos enfocados en la investigación dendrocronológica en México durante el período 2000-2023. La búsqueda se hizo en Scopus, Web of Science, Redalyc y Scielo e incluyó las palabras clave en español

“dendrogeomorphology”, “dendroarchaeology”, “dendroecology”, and “dendrohydrology” to identify all dendrochronological subfield. The databases and keywords used for article searching could have underestimated some available information; however, the data reported represent the state of dendrochronological publications currently available in Mexico.

Data Analysis

The articles found in Scopus were used as a reference, and duplicates from other databases were removed. This bibliometric review excluded review articles, articles in non-indexed journals, technical reports, theses, and conference proceedings. A total of 229 articles were identified and classified according to the following parameters: year of publication, influential authors, publishing journals, study area (state and GPS coordinates), tree species, subfield of study (dendroclimatology, dendrochemistry, dendrogeomorphology, etc.), influential institutions, and co-occurrence analysis of keywords used by the authors. The analysis of co-occurrence was useful for understanding the relationship between words and groups and by topic and meaning. A total of 25 keywords with a frequency of ≥ 5 were selected from a total of 535. Collaboration networks were analyzed using VOSviewer version 1.6.20 (van Eck & Waltman, 2023) to identify the leading authors, institutions, and even countries involved in dendrochronological research in Mexico. Additionally, co-occurrence analysis was conducted based on the VOS clustering algorithm to determine relationships between keywords (Kirby, 2023). VOSviewer is a robust tool that uses clustering algorithms based on the strength of connections between elements to build networks (Effendi et al., 2021). This analysis provided insights into the most frequently addressed topics in publications, the research fields developed, and potential research gaps to be explored in future dendrochronological studies.

Results and Discussion

Trends in Dendrochronological Research

A total of 229 articles (Appendix 1) related to dendrochronological research in Mexico were identified for the 2000–2023 period. Figure 1 shows that fewer than 10 publications were identified before 2000, most of the authors were researchers from the United States of America (USA). Between 2000 and 2023, the number of publications exhibited an exponential trend ($R^2 = 0.837$), with an average of 9.5 articles per year. The trend became significant from 2013 to 2023, because 83 % of the total was published in this period (12.6 articles per year) with 21 articles in the years 2022 and 2023, and 17 and 20 articles in 2018 and 2020, respectively (Figure 1). In contrast, prior

en inglés: ‘dendrocronología’, ‘anillos de crecimiento de árboles’ y ‘México’ para la recuperación de títulos, resúmenes y palabras clave de las publicaciones. Además, estos términos se combinaron con las palabras ‘dendroclimatología’, ‘dendropirocronología’, ‘dendroquímica’, ‘dendrovulcanología’, ‘dendrogeomorfología’, ‘dendroarqueología’, ‘dendroecología’ y ‘dendrohidrología’ con el fin de identificar todos los subcampos dendrocronológicos. Las bases de datos y palabras clave utilizadas para la búsqueda de artículos podría haber subestimado alguna información disponible; no obstante, los datos reportados representan el estado de las publicaciones dendrocronológicas disponibles actualmente en México.

Análisis de datos

Los artículos encontrados en Scopus se utilizaron como referencia y se eliminaron los duplicados en las otras bases de datos. Esta revisión bibliométrica no consideró los artículos de revisión, artículos en revistas no indexadas, informes o reportes técnicos, tesis ni memorias de congresos. En el análisis se identificaron 229 artículos y se clasificaron acorde con los parámetros siguientes: año de publicación, autores influyentes, revistas de publicación, área de estudio (entidad y coordenadas GPS), especies arbóreas, subcampo de estudio (dendroclimatología, dendroquímica, dendrogeomorfología, etc.), instituciones influyentes y análisis de coocurrencia de palabras clave utilizadas por los autores. Este último fue útil para comprender la relación entre palabras y grupos, así como el tema y significado de cada palabra. Se seleccionaron 25 palabras clave con una frecuencia ≥ 5 de un total de 535. Las redes de colaboración se analizaron mediante el programa VOSviewer versión 1.6.20 (van Eck & Waltman, 2023), para la identificación de los principales autores, instituciones e incluso países que han desarrollado investigación dendrocronológica en México. Asimismo, con base en el algoritmo de agrupación VOS, se hizo el análisis de coocurrencia para determinar la relación entre palabras claves (Kirby, 2023). VOSviewer es una herramienta robusta que utiliza algoritmos de agrupaciones con base en la fortaleza de las conexiones entre elementos para construir redes (Effendi et al., 2021). Este análisis permitió la comprensión de los temas más abordados en las publicaciones, los campos de investigación desarrollados y las posibles brechas de investigación para abordar en trabajos dendrocronológicos futuros.

Resultados y discusión

Tendencia de la investigación dendrocronológica

Se encontraron 229 artículos (Anexo 1) relacionados con la investigación dendrocronológica en México para el período 2000-2023. La Figura 1 indica que antes del

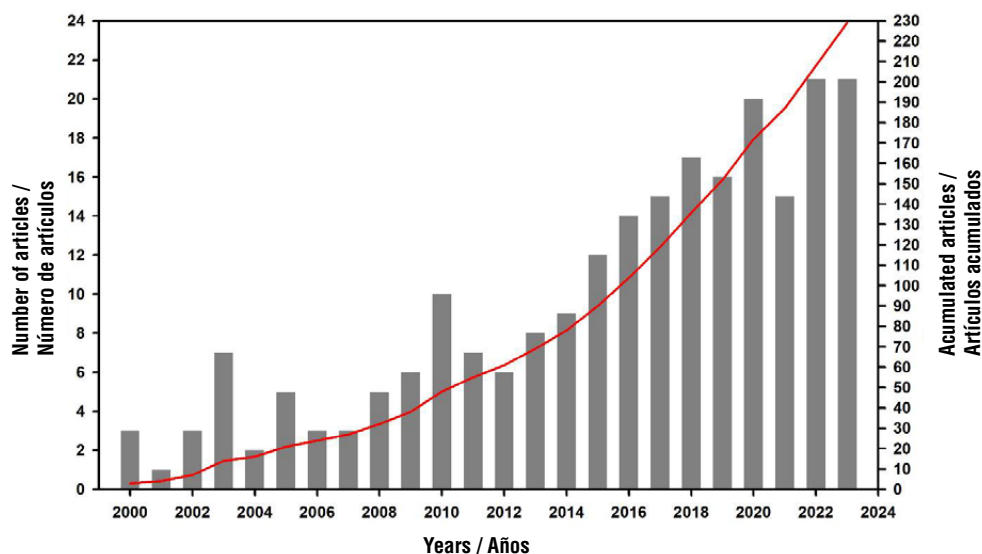


Figure 1. Dendrochronological research articles developed in Mexico, published (dark bars) and accumulated (red line) by year. Period 2000-2023.

Figura 1. Artículos de investigación dendrocronológica desarrollada en México, publicados (barras en color obscuro) y acumulados (línea roja) por año en el período 2000-2023.

to 2010 (2000–2010), an average of four articles were published annually, with 2001 having the lowest output (one article, Figure 1).

In addition to research articles published in Journal Citation Reports, there are a considerable number of publications in Mexican journals that are not indexed, as well as research essays, bachelor theses (approximately 130), dissertations (20), technical reports (20), review articles (4) and electronic reports. Despite the volume of these dendrochronological publications, this study only included indexed articles, specifically from Scopus and Web of Science, because these databases are regarded as key sources for bibliometric analyses (Pranckuté, 2021).

The increase in studies is driven by the growing interest in dendrochronological research. As a result, research and educational institutions in Mexico are offering both traditional and intensive courses in dendrochronology, with applications across various scientific fields. These institutions include the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) and Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT). Additionally, the expanding collaboration and interaction with researchers from foreign educational institutions, such as the University of Arizona, Northern Arizona University, the University of Arkansas, the University of California, and Ithaca University, have enriched the scope of dendrochronological research and contributed

año 2000 se identificaron menos de 10 publicaciones; la mayoría de los autores fueron investigadores de Estados Unidos de América (EUA). Entre 2000 y 2023, el número de publicaciones tuvo una tendencia exponencial ($R^2 = 0.837$) con un promedio de 9.5 artículos por año. La tendencia fue significativa del 2013 al 2023, ya que en este período se publicó 83 % del total (12.6 artículos por año) con 21 artículos en los años 2022 y 2023, y 17 y 20 artículos en 2018 y 2020, respectivamente (Figura 1). En contraste, previo al 2010 (2000-2010), se publicaban en promedio cuatro artículos por año, siendo 2001 el año con menor producción (un artículo, Figura 1).

Además de los artículos de investigación en Journal Citation Reports, existe un número considerable de publicaciones en revistas mexicanas que no están indexadas, así como ensayos de investigación, tesis de licenciatura (130 aproximadamente), disertaciones (20), informes técnicos (20), artículos de revisión (4) e informes electrónicos. A pesar de la cantidad de estas publicaciones dendrocronológicas, en este estudio solo se incluyeron artículos indexados, *v. g.*, Scopus y Web of Science, dado que estas bases de datos se consideran fuentes clave en los análisis bibliométricos (Pranckuté, 2021).

El incremento de estudios se deriva del creciente interés por la investigación dendrocronológica; por ello, instituciones de investigación y educativas en México están ofreciendo cursos tradicionales e intensivos en dendrocronología con aplicaciones en diversos campos científicos. Entre estas se encuentran el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Juárez del

to the training of undergraduate and graduate students. This has also increased the participation of scientists in dendrochronology. This training extends beyond dendroclimatology to several subfields, including dendrogeomorphology, dendrochemistry, and dendrovolcanology.

Distribution of Dendrochronological Publications

The bibliometric analysis produced a map showing the distribution of publications by federal entity, representing the sites where dendrochronological studies were conducted, and samples were collected. Sometimes, samples were collected from multiple sites, species, and even countries (Stahle et al., 2016).

In Mexico, dendrochronological studies have been carried out in 25 states. Figure 2 indicates that Durango has the highest number of publications (44), followed by Puebla (33), Chihuahua (22), and Estado de México (22). Most of these studies have been conducted in the Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, and the Trans-Mexican Volcanic Belt – physiographic provinces characterized by temperate coniferous forests (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021). However, some studies have been conducted in tropical ecosystems, such as Yucatán (Figure 2), where 52 species were explored to assess their dendrochronological potential (Roig et al., 2005). This information is essential for analyzing biomass production, ecological aspects, and the influence of human-induced environmental changes. In contrast, states such as Sinaloa, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Aguascalientes, Nayarit, and Guerrero have no published studies (Figure 2), despite the existence of some dendrochronological series. This highlights the urgent need to conduct research with local species in these regions.

Tree Species Studied in Dendrochronological Research

Dendrochronological publications in Mexico have analyzed a total of 76 tree species. Figure 3 shows that the most extensively studied species are *Pinus hartwegii* Lindl. (47 publications), *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (33 publications), *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (26 publications), *Taxodium mucronatum* Ten. (18 publications), *Pinus cembroides* Zucc. (15 publications), and *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. (15 publications). The remaining species have been studied in fewer than 13 publications. In addition, seven studies did not specify the species analyzed, and 30 species were each studied in only one publication (Figure 3). Of the 229 studies conducted in Mexico, 160 (70 % of the articles) focused on just five species, predominantly conifers. This highlights the need to

Estado de Durango (UJED), Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT). También la creciente colaboración e interacción con investigadores de instituciones educativas extranjeras, incluyendo la Universidad de Arizona, Universidad del Norte de Arizona, Universidad de Arkansas, Universidad de California y Universidad de Ithaca, ha enriquecido el alcance de la investigación de la dendrocronología y la formación de estudiantes de pregrado y posgrado; asimismo, ha incrementado la participación de científicos en dendrocronología. Esta formación se extiende a varios subcampos mas allá de la dendroclimatología, como es el caso de la dendrogeomorfología, dendroquímica y dendrovulcanología.

Distribución de publicaciones dendrocronológicas

A partir del análisis bibliométrico se derivó un mapa con la distribución de publicaciones por entidad federativa; es decir, sitios donde se desarrolló el estudio y se colectaron muestras dendrocronológicas. En algunas publicaciones se colectaron muestras en más de un sitio e incluso comprenden más de una especie y países (Stahle et al., 2016).

En México, se han realizado estudios dendrocronológicos en 25 estados. En la Figura 2 se aprecia que Durango es el que tiene el mayor número de publicaciones (44), seguido por Puebla (33), Chihuahua (22) y el Estado de México (22). Estos estudios, en su mayoría, se han desarrollado en la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Cinturón Volcánico Transmexicano, provincias fisiográficas que se caracterizan por la presencia de bosques templados de coníferas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021). No obstante, algunos estudios se desarrollaron en ecosistemas tropicales como en el caso de Yucatán (Figura 2), donde se exploraron 52 especies para identificar su potencial dendrocronológico (Roig et al., 2005). Esta información es importante para analizar la producción de biomasa, aspectos ecológicos y analizar la influencia de los cambios inducidos por el hombre en el ambiente. En contraste, Sinaloa, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Aguascalientes, Nayarit y Guerrero son estados en los que no se han generado publicaciones (Figura 2), aun cuando se cuenta con algunas series dendrocronológicas, lo que indica la urgencia de desarrollar investigación con especies locales.

Especies estudiadas en investigaciones dendrocronológicas

Las publicaciones sobre dendroclimatología en México han involucrado el análisis de 76 especies arbóreas. La Figura 3 indica que las especies más exploradas son: *Pinus hartwegii* Lindl. (47 publicaciones), *Pseudotsuga*

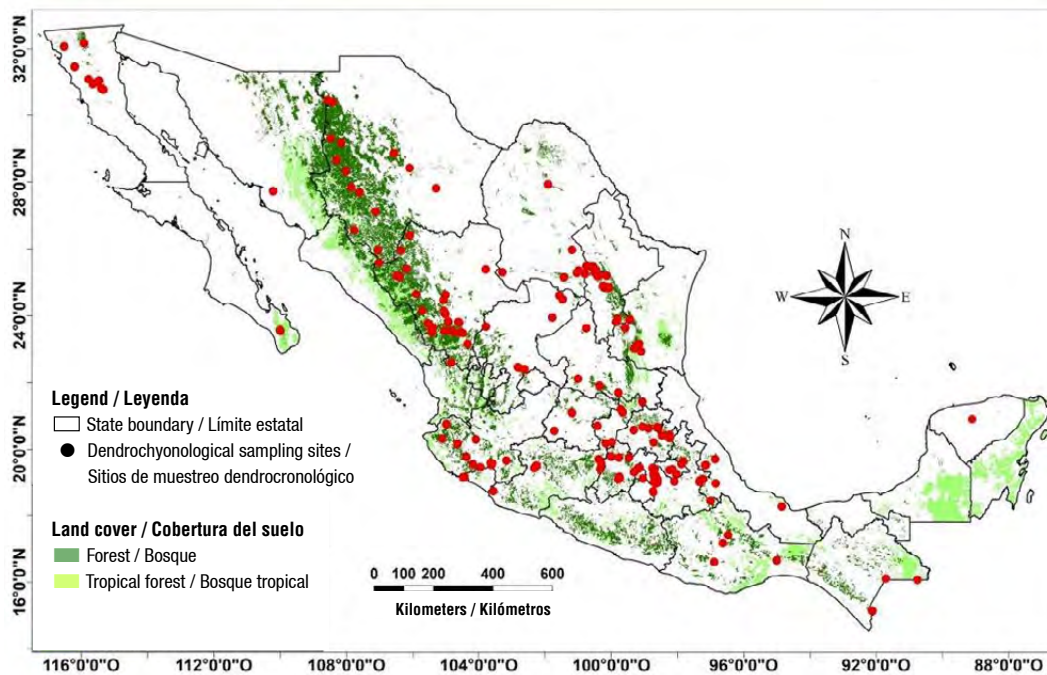


Figure 2. Distribution of sampling sites for dendrochronological research publications in Mexico.

Figura 2. Distribución de los sitios de muestreo para la publicación de investigaciones dendrocronológicas en México.

include other coniferous and broadleaf species found in both temperate and tropical environments (Marcelo-Peña et al., 2020; Quesada-Román et al., 2022; Roig et al., 2005).

Dendrochronological studies in Mexico have analyzed various species, often integrating data from multiple species to strengthen the common climatic signal in reconstructions. This approach enhances the robustness of climatic interpretations, particularly in studies addressing broad spatiotemporal scales, such as the North American and Mexican Drought Atlas (Cook et al., 2016; Stahle et al., 2016). Some studies have explored the dendrochronological potential of species like *Pinus hartwegii*, *Pinus leiophylla*, *Pinus ayacahuite*, *Abies religiosa*, and *Juniperus monticola* Martínez. These studies have investigated the impact and frequency of disturbances, such as debris flows, lahars, and pollution (De la Peña et al., 2024; Franco Ramos et al., 2018; Villanueva-Díaz et al., 2016).

Collaborations between authors and institutions

The collaboration network analysis, using the VOS clustering algorithm from the VOSviewer 1.6.20 software, highlighted the interactions between authors and institutions and their influence in the field of research. From this analysis, only the top 25 authors (Figure 4) and 20 institutions (Figure 5) publishing articles focused on dendrochronology were selected. Figure 4 shows that the authors' network consists of five groups, represented by J. Villanueva-

menziesii (Mirb.) Franco (33 publicaciones), *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. y Cham. (26 publicaciones), *Taxodium mucronatum* Ten. (18 publicaciones), *Pinus cembroides* Zucc. (15 publicaciones) y *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. (15 publicaciones). El resto de las especies han sido estudiadas en menos de 13 publicaciones. Por otra parte, siete publicaciones no especifican la especie estudiada, mientras que 30 especies se utilizaron cada una en una sola publicación (Figura 3). De las 229 investigaciones realizadas en México, 160 (70 % de los artículos) involucraron cinco especies (en su mayoría coníferas); esto demuestra la necesidad de incluir otras coníferas o latifoliadas distribuidas tanto en ambientes templados como en tropicales (Marcelo-Peña et al., 2020; Quesada-Román et al., 2022; Roig et al., 2005).

En varias publicaciones, los autores desarrollaron series dendrocronológicas integradas con más de una especie, corroborando su respuesta climática común, situación que robustece la señal climática en dichas reconstrucciones. Algunas de las publicaciones abordan escalas espacio-temporales amplias al integrar información de varias especies, como es el caso del Atlas de Sequías de Norteamérica y México (Cook et al., 2016; Stahle et al., 2016). Otros estudios han explorado el potencial dendrocronológico de *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. ayacahuite*, *A. religiosa* y *Juniperus monticola* Martínez para analizar el impacto y frecuencia de disturbios como flujos de detritos, lahares y contaminación (De la Peña et al., 2024; Franco Ramos et al., 2018; Villanueva-Díaz et al., 2016).

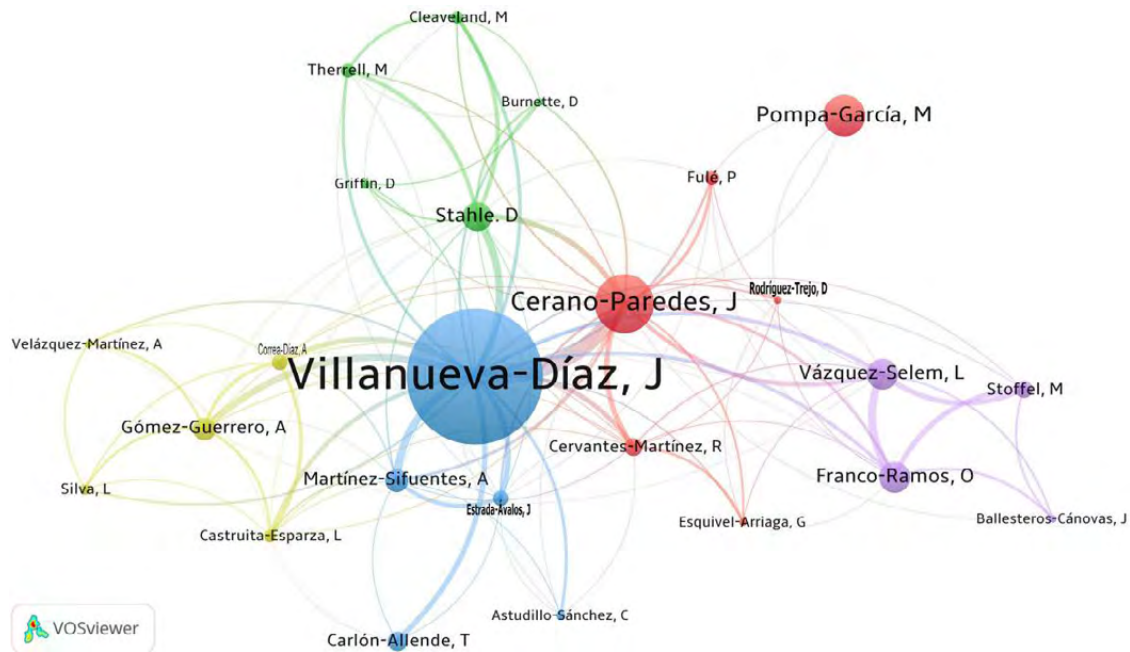


Figure 4. Visualization map of collaboration networks among the top 25 authors based on the number of publications. The size of the nodes (circles) and the thickness of the lines are proportional to the number of publications by the authors and the collaborations among them.

Figura 4. Mapa de visualización de redes de colaboración entre 25 autores principales de acuerdo con el número de publicaciones. El tamaño de los nodos (círculos) y el grosor de las líneas es proporcional al número de publicaciones de los autores y colaboraciones entre autores.

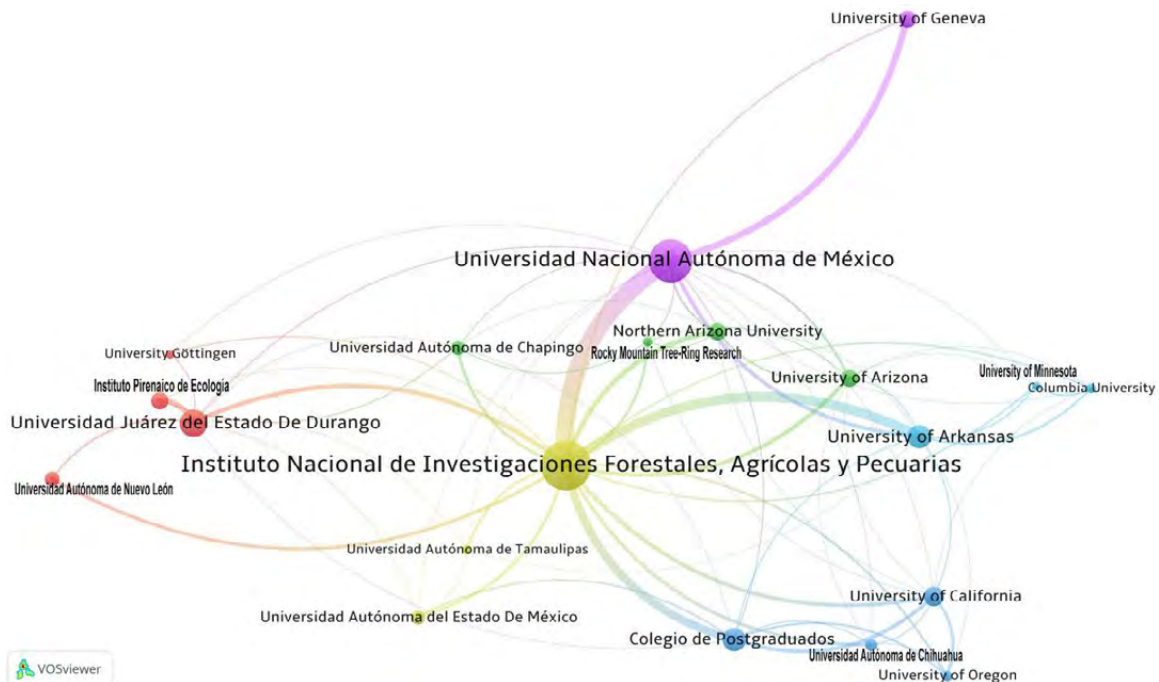


Figure 5. Visualization map of collaboration networks between institutions according to the number of publications. The map shows the size of the nodes; the connection between these represents the network of collaboration between institutions. The thickness of the lines is proportional to the number of publications and collaborations accumulated.

Figura 5. Mapa de visualización de redes de colaboración entre instituciones según el número de publicaciones. El mapa muestra el tamaño de los nodos; la conexión entre estos representa la red de colaboración entre instituciones. El grosor de las líneas es proporcional al número de publicaciones y colaboraciones acumuladas.

precipitation. In contrast, in southern Mexico, they are more sensitive to seasonal rainfall from April to June. This information agrees with studies by Cleaveland et al. (2003) and Díaz et al. (2001).

The collaboration network analysis among the top 20 institutions highlights the degree of communication and collaboration between them, grouped into five groups (yellow, green, red, blue, and purple), as shown in Figure 5. These groups are represented by INIFAP, UNAM, UJED, the University of Arkansas, Colegio de Postgraduados, and the University of California. INIFAP shows strong connections, maintaining significant scientific collaboration with other groups, including two groups of foreign institutions (Figure 5). INIFAP has contributed to 104 articles, while UNAM has contributed to 75 articles; these two institutions have been the most prominent contributors to the development of dendrochronological research in Mexico and maintain strong scientific collaborations. On the other hand, group 3 (Figure 5, red) appears isolated from the other groups, indicating minimal connections between them. Institutions in southern Mexico are not among the top 20, partly because dendrochronological studies in tropical environments are scarce (Figure 2) (Roig et al., 2005). This contrasts with the dendrochronological research conducted in tropical ecosystems (Quesada-Román et al., 2022; Tomazello Fo et al., 2009).

Keyword Analysis

The keyword analysis is presented in Figure 6, which shows groups differentiated by colors (green, purple, blue, yellow, and red). A shorter distance between nodes indicates a stronger relationship between keywords. For example, there is a close association between the terms “dendrochronology” with “El Niño-Southern Oscillation (ENSO)”, “climate” and “climate variation”. The most frequent keywords are represented in larger nodes (circles), for example; “dendrochronology”, “ENSO”, “tree rings” and “drought”. Group 1 (red) is made up of seven keywords; “climate change”, “dendroclimatology”, “dendroecology”, “drought stress”, “early wood”, “tree rings” and “late wood”. Group 2 (green) is made up of five words; “dendrochronology”, “climate”, “fire history”, “fire regime” and “Pacific Decadal Oscillation”. Group 3 (blue) is made up of five words; “ENSO”, “drought”, “climate reconstruction”, “precipitation reconstruction”, and “tree-ring chronology”. Groups 4 and 5 are made up of four words each. It is important to note, that in four of the five groups, the climatic phenomena are highlighted (example; drought, stress, climate change, climate variability, climate reconstruction, precipitation, temperature), while, in the remaining group, the use and analysis of tree rings to evaluate geomorphological

norte de México (Figura 2). Este resultado concuerda con otro estudio de esta índole realizado por Acosta-Hernández et al. (2017). No obstante, es importante destacar la influencia de investigadores extranjeros (Figura 4, grupo 4, color verde), quienes enfatizan la importancia de los estudios dendroclimáticos para analizar la variabilidad histórica de la precipitación en México y suroeste de EUA, saber cómo esta es afectada por los modos circulatorios atmosféricos a gran escala y conocer la función de respuesta de las especies. Por ejemplo, Therrell et al. (2002) encontraron que los anillos de crecimiento de los árboles del norte de México son más sensibles a la precipitación estacional de invierno a principios de verano, mientras que en el sur, son más sensibles a la precipitación estacional de abril a junio; tal información coincide con los estudios de Cleaveland et al. (2003) y Díaz et al. (2001).

El análisis de redes de colaboración entre 20 de las principales instituciones refleja el grado de comunicación y colaboración entre ellas, las cuales se integran en cinco grupos (color amarillo, verde, rojo, azul y morado) mostrados en la Figura 5. Estos grupos están representados por el INIFAP, UNAM, UJED, Universidad de Arkansas, Colegio de Postgraduados y Universidad de California. El INIFAP muestra fuertes conexiones, por tanto, mantiene importante colaboración científica con otros grupos e incluso con dos grupos de instituciones extranjeras (Figura 5). El INIFAP ha participado en 104 artículos y la UNAM en 75 artículos; estas dos instituciones son las que más han contribuido al desarrollo de la investigación dendrocronológica en México y mantienen fuerte colaboración científica. Por otro lado, el grupo 3 (Figura 5, color rojo) se muestra apartado de los demás grupos, lo que indica que tiene poca conexión entre ellos. Las instituciones del sur de México no figuran entre las 20 principales; esto se debe en parte a que los estudios dendrocronológicos en ambientes tropicales son escasos (Figura 2) (Roig et al., 2005), situación que contrasta con la investigación dendrocronológica realizada por países con ecosistemas tropicales (Quesada-Román et al., 2022; Tomazello Fo et al., 2009).

Análisis de palabras clave

El análisis de las palabras clave se muestra en la Figura 6, donde se observan grupos diferenciados por colores (verde, morado, azul, amarillo y rojo). Una menor distancia entre nodos implica mayor relación entre las palabras clave; por ejemplo, existe una relación estrecha entre las palabras ‘dendrocronología’ con ‘El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)’, ‘clima’ y ‘variación climática’. Las palabras clave más frecuentes están representadas en nodos (círculos) más grandes, por ejemplo: ‘dendrocronología’, ‘ENOS’, ‘anillos de árboles’ y ‘sequía’. El grupo 1 (rojo) está integrado por siete palabras clave: ‘cambio climático’, ‘dendroclimatology’, ‘dendroecología’, ‘estrés por

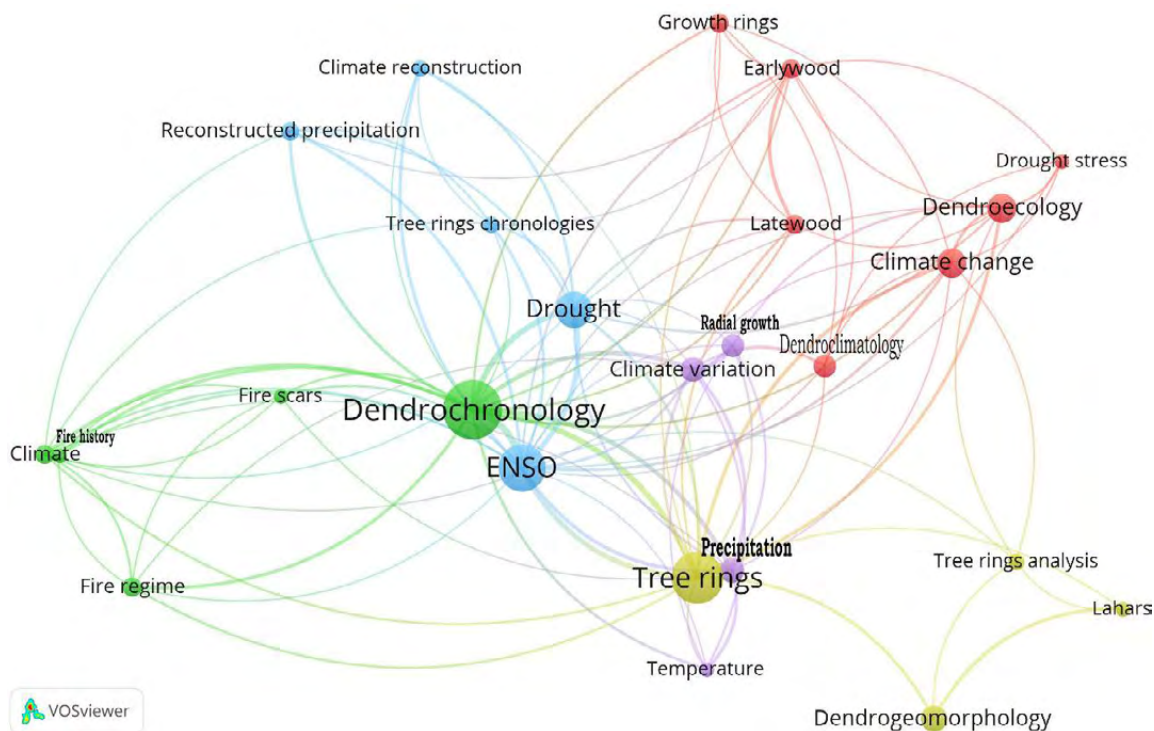


Figure 6. Visualization map of co-occurrence of the 25 main keywords used by the authors. The colors represent different groups and the lines are the connection between keywords.

Figura 6. Mapa de visualización de coocurrencia de las 25 palabras clave usadas principalmente por los autores. Los colores representan agrupación diferente y las líneas la conexión entre palabras clave.

processes are highlighted. We also identified that the keywords and their frequencies have changed over time, the keywords “dendrochronology”, “ENSO”, “tree rings”, “drought” and “dendroecology” are the five most frequent keywords during 2000–2023 (Figure 6), which demonstrates concern for climate issues, the evaluation of droughts and their effects of global circulation phenomena on tree rings. This coincides with other studies where it has been reported that dendroclimatic studies have been the most addressed in Mexico (Acosta-Hernández et al., 2017; Sánchez-Calderón et al., 2022). In recent years (2016–2023), the keyword ‘dendrogeomorphology’ has gained prominence, indicating the growing relevance of studies under this approach despite its recent implementation in Mexico. The first study of this type was published 15 years ago, identifying and describing alterations in tree growth rings caused by lahar events (Bollschweiler et al., 2010). However, it was not until 2016 that dendrogeomorphological studies increased (Figure 8), focusing on evaluating and analyzing various types of mass movement processes (Figuroa-García et al., 2021; Franco-Ramos et al., 2019). Regarding less-cited keywords, it seems that some applications of dendrochronology in Mexico—such as dendrovolcanology, dendroarchaeology, and dendrochemistry—have been underexplored (Cui et al., 2022).

sequía’, ‘madera temprana’, ‘anillos de crecimiento’ y ‘madera tardía’. El grupo 2 (verde) está integrado por cinco palabras: ‘dendrocronología’, ‘clima’, ‘historia de incendios’, ‘régimen de incendios’ y ‘Oscilación Decadal del Pacífico’. El grupo 3 (azul) está integrado por cinco palabras: ‘ENOS’, ‘sequía’, ‘reconstrucción climática’, ‘reconstrucción de la precipitación’ y ‘cronología de anillos de árboles’. Los grupos 4 y 5 están integrados por cuatro palabras clave. Es importante mencionar que en cuatro de los cinco grupos resaltan los fenómenos climáticos (v. g., sequía, estrés, cambio climático, variabilidad climática, reconstrucción climática, precipitación y temperatura); mientras que, en el grupo restante, resalta el uso y análisis de los anillos de los árboles para evaluar procesos geomorfológicos. También se identificó que las palabras clave y sus frecuencias han cambiado con el tiempo; las palabras clave ‘dendrocronología’, ‘ENOS’, ‘anillos de árboles’, ‘sequía’ y ‘dendroecología’ fueron las más frecuentes durante 2000–2023 (Figura 6), lo que demuestra preocupación por los temas climáticos, la evaluación de las sequías y efectos de fenómenos de circulación global en los anillos de crecimiento de árboles. Esto coincide con otros estudios donde se ha reportado que los estudios dendroclimáticos han sido los más abordados en México (Acosta-Hernández et al., 2017; Sánchez-Calderón et al., 2022). Asimismo, se identificó que la palabra clave dendrogeomorfología ha sido frecuente en los últimos años (2016 a 2023), lo cual indica que los

Subfields Studied in Dendrochronology

The publications were classified according to the studied subfields of dendrochronology. Figures 7 and 8 show the nine main subfields/thematic groups. Most of the studies have been developed with a dendroclimatic approach (119 publications, 52 %); in this aspect, the first article was published by Díaz et al. (2001), who reconstructed the precipitation from September to July in Baja California Sur for the period 1862-1996. The years 2022 and 2023 had the highest number of publications on this topic (10 publications per year), followed by 2018 and 2015 (nine publications per year). These focused mainly on precipitation reconstructions, drought identification, influence of climatic variables on forest growth, and response function analysis (Carlón-Allende et al., 2021; Villanueva-Díaz et al., 2007), as well as the development of the Drought Atlas for Mexico, which was based on a network of 252 tree-ring chronologies (Stahle et al., 2016). Dendroecological studies have also had significant contribution (29 publications, 13 %; Figures 7 and 8), mainly from 2016, where the implications of climate change on the ecological functions of trees, spatio-temporal identification of past forest disturbances (Pompa-García et al., 2023) and the dynamics of the long-term trend of forests (Correa et al., 2021) are addressed. Another subfield with

estudios bajo este enfoque han ganado relevancia a pesar de su reciente implementación en México. El primer estudio de este tipo fue publicado hace 15 años, donde se identificaron y describieron alteraciones en los anillos de crecimiento de los árboles inducidas por eventos de lahar (Bollschweiler et al., 2010), pero fue hasta 2016 que los estudios dendrogeomorfológicos incrementaron (Figura 8) y se enfocaron en la evaluación y análisis de varios tipos de procesos de remoción en masa (Figuroa-García et al., 2021; Franco-Ramos et al., 2019). Respecto a las palabras clave poco citadas, podría ser que, en México, algunas de las aplicaciones de la dendrochronología como la dendrovulcanología, la dendroarqueología y la dendroquímica han sido poco exploradas (Cui et al., 2022).

Subcampos estudiados de la dendrochronología

Las publicaciones se clasificaron de acuerdo con los subcampos estudiados de la dendrochronología. Las Figuras 7 y 8 muestran los nueve subcampos/grupos temáticos principales. La mayoría de los estudios se han desarrollado con un enfoque dendroclimático (119 publicaciones, 52 %); en este aspecto, el primer artículo fue publicado por Díaz et al. (2001), quienes reconstruyeron la precipitación de septiembre a julio en Baja California Sur para el período 1862-1996. Los años 2022 y 2023 tuvieron el mayor número de publicaciones en este tema (10 publicaciones por año), seguidos por

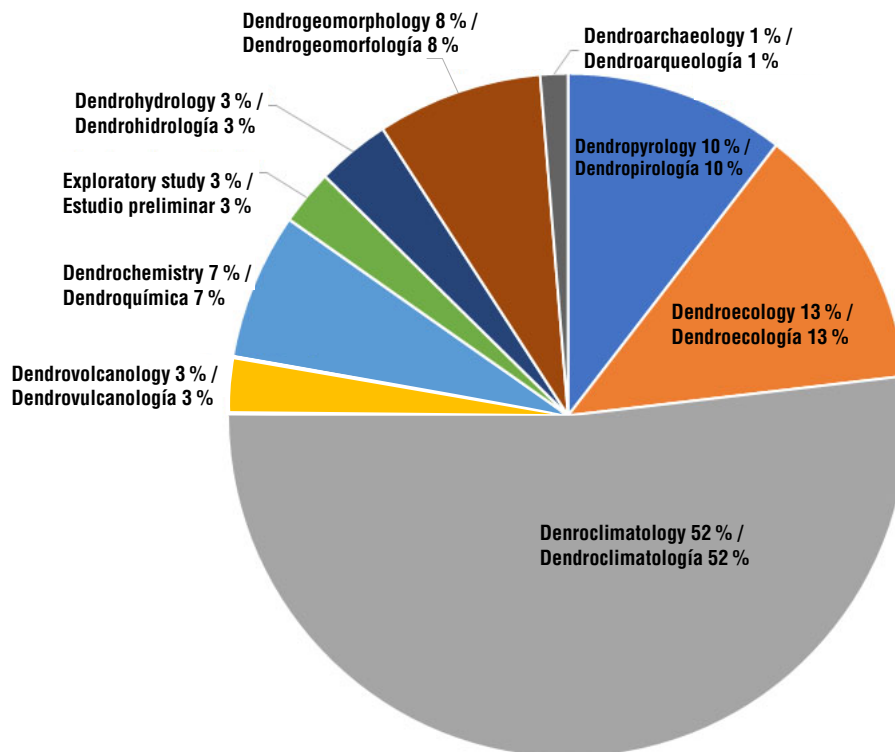


Figure 7. Proportion of publications by dendrochronological subfield in Mexico from 2000-2023.

Figura 7. Proporción de publicaciones por subcampo dendrocronológico en México en el período 2000-2023.

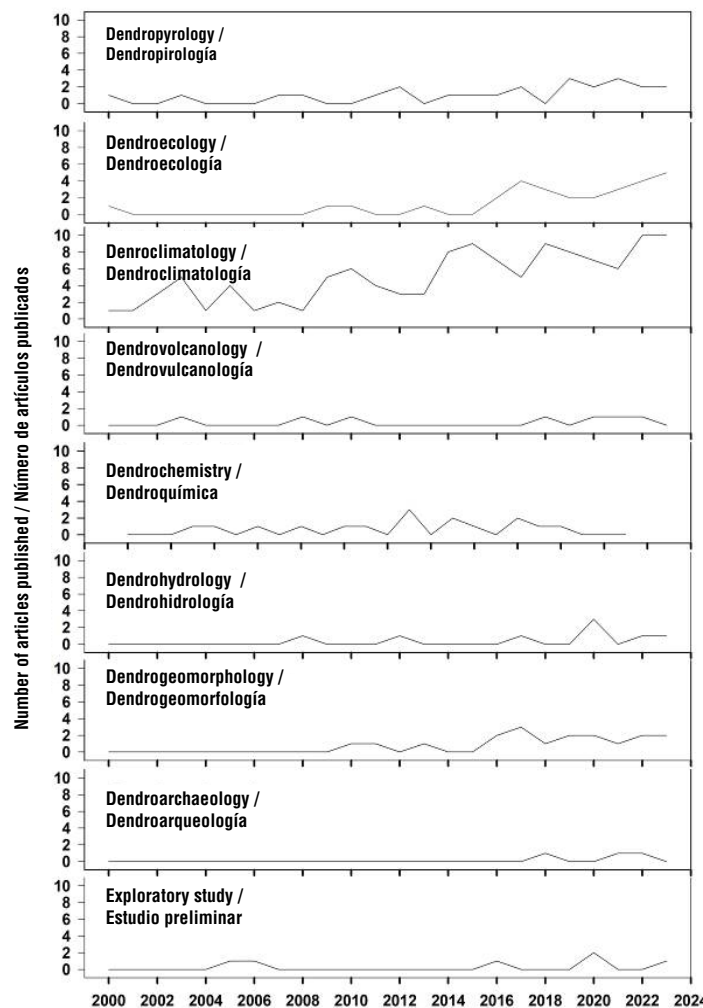


Figure 8. Number of studies in the subfields of dendrochronology by year of publication.

Figura 8. Número de estudios en los subcampos de la dendrocronología por año de publicación.

relevant development in Mexico is dendropirology with 24 publications representing 10 % of the total (Figures 7 and 8), in which spatio-temporal reconstruction of fire regimes and frequency (Zúñiga-Vásquez et al., 2023) and climatic influence on fire occurrence (Yocom et al., 2014) have been performed, being this development more constant from 2019 (Figure 8).

Regarding studies with a dendrogeomorphological approach, 18 publications (8 %) have been published, particularly since 2016 (Figure 8). These studies have focused on the evaluation of mass removal processes such as lahars, debris flows, soil erosion and rotational movements (Figuerola-García et al., 2021; Franco-Ramos et al., 2023; Šilhán et al., 2024; Stoffel et al., 2011). Some studies were also conducted in less explored fields such as dendrochemistry (16 publications), dendrohydrology (eight publications), dendrovulcanology (six publications), dendroarchaeology (three publications) and exploratory studies (six publications, Figures 7 and 8). These subfields of dendrochronology could

2018 y 2015 (nueve publicaciones por año). Estas se enfocaron principalmente en las reconstrucciones de precipitación, identificación de sequía, influencia de variables climáticas en el crecimiento de los bosques y análisis de función de respuesta (Carlón-Allende et al., 2021; Villanueva-Díaz et al., 2007), así como el desarrollo del Atlas de Sequía para México, el cual se fundamentó en una red de 252 cronologías de anillos de árboles (Stahle et al., 2016). Los estudios dendroecológicos también han tenido gran contribución (29 publicaciones, 13 %; Figuras 7 y 8) principalmente a partir del 2016, donde se abordan las implicaciones del cambio climático en las funciones ecológicas de los árboles, identificación espacio-temporal de perturbaciones forestales pasadas (Pompa-García et al., 2023) y la dinámica de la tendencia a largo plazo de los bosques (Correa et al., 2021). Otro subcampo con desarrollo relevante en México es la dendropirología con 24 publicaciones que representan 10 % del total (Figuras 7 y 8), en los cuales se ha realizado reconstrucción espacio-temporal de regímenes y frecuencia de incendios (Zúñiga-Vásquez et al., 2023) y la influencia climática en

be considered windows of opportunity to assess the natural and anthropogenic impact of land use changes in recent centuries. In addition, there is a lack of exploratory studies that represent an extensive field for identifying the dendrochronological potential of little studied genera such as *Quercus* or broadleaf species from tropical environments.

Most influential journals in dendrochronology research in Mexico

Figure 9 shows the 103 national and international journals, where the 229 articles studying dendrochronology in Mexico were published. According to Table 1, 30 % of the articles are concentrated in six journals: 7 % were published in the journal *Forests* (15 articles), 6 % in *Madera y Bosques* (14 articles), 5 % in *Trees-Structure and Function* (11 articles), 4 % in *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (10 articles), 4 % in *Dendrochronologia* (nine articles) and 4 % in *Tree-Ring Research* (nine articles), which shows that foreign journals are preferred by researchers. Of the total number of articles, 53 % were published in 20 journals (Table 1), while 47 % were published in the rest (83 journals, Figure 9).

Mexican journals published 26 % (57 articles) of dendrochronological research, with notable contributions from *Madera y Bosques* (14 articles), *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (10 articles), *Investigaciones Geográficas* (seven articles) and *Agrociencia* (five articles). These have been preferred by researchers for more than a decade, as reported by Acosta-Hernández et al. (2017) eight years ago in a review study. Most articles published in leading journals (Table 1) have a dendroclimatic focus (Carlón Allende et al., 2018; Herrera-Soto et al., 2018; Villanueva-Díaz et al., 2020).

Conclusions

This research highlights the trends in dendrochronology in Mexico during the period 2000–2023. Dendrochronological research has increased since 2010, with educational institutions from the central-northern region of the country standing out in publishing articles. Few studies involving tropical and broadleaf species were identified, despite their dendrochronological potential, and there are seven states where no research has been conducted on this topic. Finally, there are subfields within dendrochronology – such as dendrogeomorphology, dendrochemistry, and dendrovolcanology – that, while not having a large number of publications, have grown in recent years. The information generated underscores the importance of dendrochronology in Mexico and identifies opportunities for the development of future research in this field.

la ocurrencia de incendios (Yocom et al., 2014), siendo este desarrollo más constante a partir del 2019 (Figura 8).

Por lo que respecta a estudios con enfoque dendrogeomorfológico se tienen 18 publicaciones (8 %), particularmente a partir del 2016 (Figura 8). Estos estudios se han centrado en la evaluación de procesos de remoción en masa como lahares, flujos de detritos, evaluación de erosión de suelos y movimientos rotacionales (Figueroa-García et al., 2021; Franco-Ramos et al., 2023; Šilhán et al., 2024; Stoffel et al., 2011). También se realizaron algunos estudios en campos menos explorados como dendroquímica (16 publicaciones), dendrohidrología (ocho publicaciones), dendrovulcanología (seis publicaciones), dendroarqueología (tres publicaciones) y estudios exploratorios (seis publicaciones, Figuras 7 y 8). Estos subcampos de la dendrochronología podrían considerarse ventanas de oportunidad para evaluar el impacto natural y antrópico de los cambios de uso del suelo en los últimos siglos. Además, destaca la falta de estudios exploratorios que representan un campo extenso para la identificación del potencial dendrocronológico de géneros poco estudiados como *Quercus* o especies latifoliadas de ambientes tropicales.

Revistas más influyentes en investigación dendrocronológica en México

La Figura 9 muestra las 103 revistas, nacionales e internacionales, donde se publicaron los 229 artículos de estudio de la dendrochronología en México. De acuerdo con el Cuadro 1, 30 % de los artículos se concentran en seis revistas: 7 % se publicó en la revista *Forests* (15 artículos), 6 % en *Madera y Bosques* (14 artículos), 5 % en *Trees-Structure and Function* (11 artículos), 4 % en *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (10 artículos), 4 % en *Dendrochronologia* (nueve artículos) y 4 % en *Tree-Ring Research* (nueve artículos), lo que demuestra que las revistas extranjeras son las preferidas por los investigadores. Del total de artículos, 53 % fueron publicados en 20 revistas (Cuadro 1), mientras que 47 % fueron publicados en el resto (83 revistas, Figura 9).

Las revistas mexicanas publicaron 26 % (57 artículos) de la investigación dendrocronológica, entre las cuales destacan *Madera y Bosques* (14 artículos), *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* (10 artículos), *Investigaciones Geográficas* (siete artículos) y *Agrociencia* (cinco artículos). Estas han sido las preferidas por los investigadores desde hace más de una década, como lo reportaron Acosta-Hernández et al. (2017) hace ocho años en un estudio de revisión. La mayoría de los artículos publicados en las principales revistas (Cuadro 1) tienen enfoque dendroclimático (Carlón Allende et al., 2018; Herrera-Soto et al., 2018; Villanueva-Díaz et al., 2020).

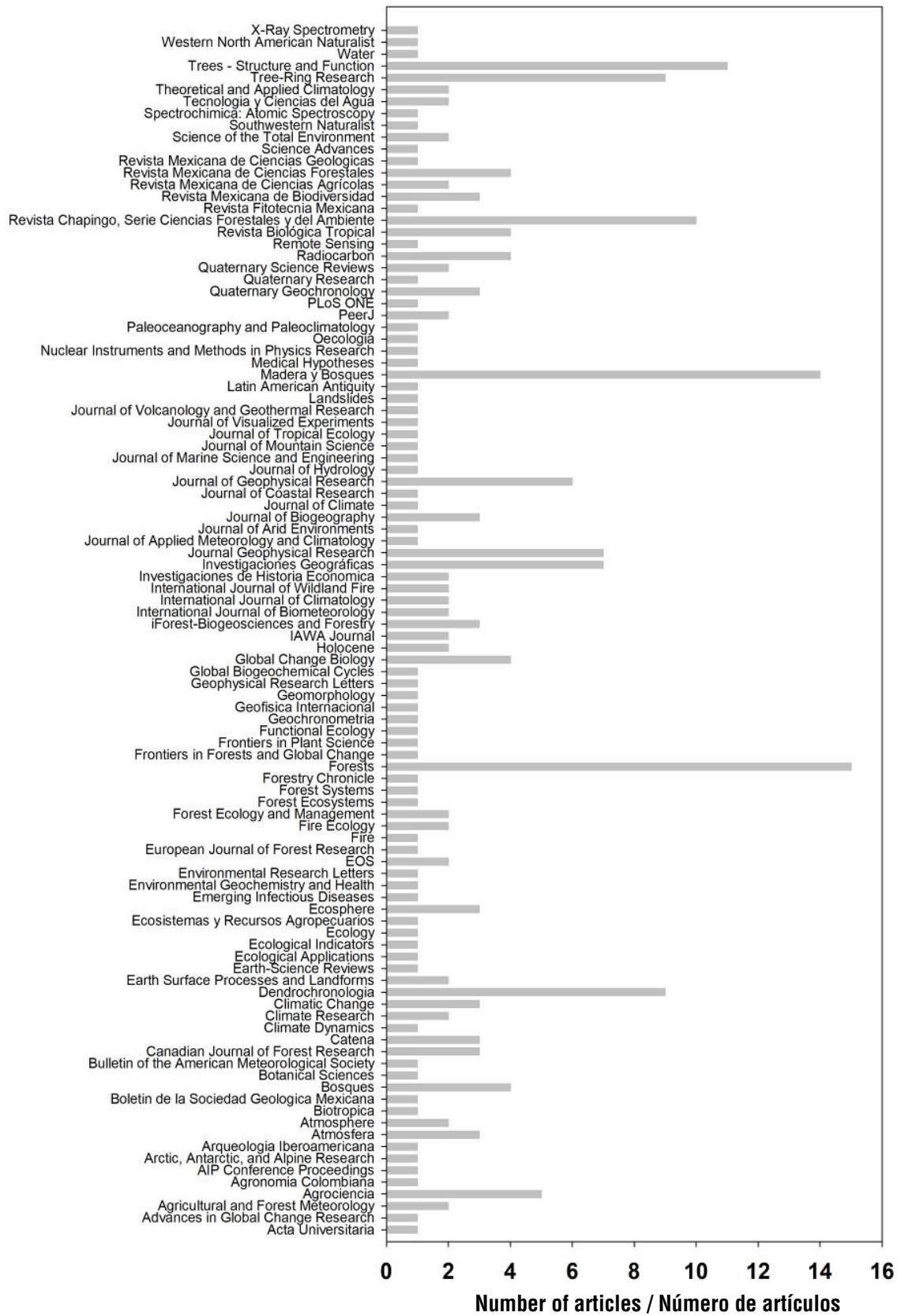


Figure 9. Number of articles on dendrochronology in Mexico, grouped according to the journal of publication in the period 2000-2023.

Figura 9. Número de artículos sobre dendrocronología en México, agrupados de acuerdo con la revista donde fueron publicados en el período 2000-2023.

Table 1. Twenty national and international journals with the highest number of publications on dendrochronology in Mexico. These journals published 53 % of the studies in 2000-2023.

Cuadro 1. Veinte revistas nacionales e internacionales con mayor número de publicaciones sobre dendrocronología en México. Estas revistas publicaron 53 % de los estudios en período 2000-2023.

Number /Número	Journal /Revista	Articles published /Artículos publicados
1	Forests	15
2	Madera y Bosques	14
3	Trees - Structure and Function	11
4	Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente	10
5	Dendrochronologia	9
6	Tree-Ring Research	9
7	Investigaciones Geográficas	7
8	Journal of Geophysical Research	7
9	Agrociencia	5
10	Revista Mexicana de Ciencias Forestales	4
11	Bosques	4
12	Radiocarbon	4
13	Revista de Biología Tropical	4
14	Atmósfera	3
15	Canadian Journal of Forest Research	3
16	CATENA	3
17	Climatic Change	3
18	Global Change Biology	3
19	iForest-Biogeosciences and Forestry	3
20	Journal of Biogeography	3

Acknowledgments

The authors thank the Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) for support to J. L. Macías through project IN112720 and funding support from the Instituto de Geofísica to T. Carlón. Also thanks to Wendy Paola Galindo and Alberto González for analyzing the data on the locations of dendrochronological studies, and to Paula Turkon for her support in reviewing the English version of the manuscript.

Conflict of interest

The authors hereby state there are no known financial conflicts of interest or personal relationships that could have influenced the research presented in this manuscript.

Conclusiones

Esta investigación muestra las tendencias de la dendrocronología en el período 2000-2023 en México. La investigación dendrocronológica incrementó a partir de 2010 y las instituciones educativas de la zona centro-norte del país son las más destacadas en la publicación de artículos. Se identificaron pocos estudios con especies tropicales y latifoliadas, a pesar de tener potencial dendrocronológico, y siete estados donde no se ha desarrollado investigación al respecto. Finalmente, existen subcampos de la dendrocronología (dendrogeomorfología, dendroquímica y dendrovulcanología) que, a pesar de no contar con gran número de publicaciones, han incrementado en los últimos años. La información generada destaca la importancia de la dendrocronología en México y ofrece áreas de oportunidad para el desarrollo de futuros trabajos en esta ciencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por el apoyo a J. L. Macías mediante el proyecto IN112720 y el apoyo financiero del Instituto de Geofísica a T. Carlón. A Wendy Paola Galindo y Alberto González por

End of English version

Referencias / Referencias

- Acosta-Hernández, A. C., Pompa-García, M., & Camarero, J. 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>
- Astudillo-Sánchez, C. C., Villanueva-Díaz, J., Endara-Agramont, A. R., Nava-Bernal, G. E., & Gómez-Albores, M. (2017). Influencia climática en el reclutamiento de *Pinus hartwegii* Lindl. del ecotono bosque-pastizal alpino en Monte Tláloc, México. *Agrociencia*, 51(1), 105–118. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30249773001>
- Babst, F., Poulter, B., Bodesheim, P., Mahecha, M. D., & Frank, D. C. (2017). Improved tree-ring archives will support earth-system science. *Science Advances*, 1(5), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0008>
- Beramendi-Orosco, L., González-Hernández, G., Martínez-Reyes, A., Morton-Bermea, O., Santos-Arévalo, F. J., Gómez-Martínez, I., & Villanueva-Díaz, J. (2018). Changes in CO₂ emission sources in Mexico city metropolitan area deduced from radiocarbon concentrations in tree rings. *Radiocarbon*, 60(1), 21–34. <https://doi.org/10.1017/RDC.2017.100>
- Bollschweiler, M., & Stoffel, M. (2010). Tree rings and debris flows: Recent developments, future directions. *Progress in Physical Geography*, 34(5), 625–645. <https://doi.org/10.1177/0309133310370283>
- Bovi, R. C., Romanelli, J. P., Caneppele, B. F., & Cooper, M. (2022). Global trends in dendrogeomorphology: A bibliometric assessment of research outputs. *CATENA*, 210, 105921. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105921>
- Carlón-Allende, T., Macías, J. L., Mendoza, M. E., & Villanueva-Díaz, J. (2022). Influence of volcanic ash deposits on the radial growth of trees in Central Mexico: the case of Parícutin volcano. *European Journal of Forest Research*, 8701. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01463-7>
- Carlón-Allende, T., Macías, J. L., Mendoza, M. E., & Villanueva Díaz, J. (2020). Evidence of volcanic activity in the growth rings of trees at the Tacaná volcano, Mexico–Guatemala border. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(1), 65–72. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0214>
- Carlón Allende, T., Mendoza, M. E., Villanueva Díaz, J., & Li, Y. (2018). Climatic response of *Pinus cembroides* Zucc. radial growth in Sierra del Cubo, Guanajuato, Mexico. *Trees - Structure and Function*, 32(5), 1387–1399. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1720-1>
- Carlón-Allende, T., Villanueva Díaz, J., Soto Castro, G., Mendoza, M. E., & Macías, J. L. (2021). Tree rings as indicators of climatic variation in the Trans-Mexican Volcanic Belt, central Mexico. *Ecological Indicators*, 120, 106920. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106920>
- Cerano-Paredes, J., Iniguez, J. M., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Franco-Ramos, O., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2021). Effects of climate on historical fire regimes (1451-2013) in *Pinus hartwegii* forests of Cofre de Perote National Park, Veracruz, Mexico. *Dendrochronologia*, 65, 125784. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125784>
- el análisis de los datos de la ubicación de los estudios dendrocronológicos, y a Paula Turkon por su apoyo en la revisión de la versión en inglés del manuscrito.
- ### Conflicto de intereses
- Los autores declaramos que no tenemos conflictos de intereses económicos ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en la investigación presentada en este artículo.
- ### Fin de la versión en español
- ////////////////////////////////////
- Cleaveland, M. K., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Villanueva-Díaz, J., & Burns, B. T. (2003). Tree-ring reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico. *Climatic Change*, 59, 369–388. <https://doi.org/10.1023/A:1024835630188>
- Cook, B. I., Cook, E. R., Smerdon, J. E., Seager, R., Williams, A. P., Coats, S., Stahle, D. W., & Díaz, J. V. (2016). North American megadroughts in the common era: Reconstructions and simulations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(3), 411–432. <https://doi.org/10.1002/wcc.394>
- Correa-Díaz, A., Romero-Sánchez, M. E., & Villanueva-Díaz, J. (2021). The greening effect characterized by the Normalized Difference Vegetation Index was not coupled with phenological trends and tree growth rates in eight protected mountains of central Mexico. *Forest Ecology and Management*, 496, 119402. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119402>
- Cui, Y., Ouyang, S., Zhao, Y., Tie, L., Shao, C., & Duan, H. (2022). Plant responses to high temperature and drought: A bibliometrics analysis. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1052660>
- De la Peña, K. A., Mendoza, M., Carlón-Allende, T., Macías, J. L., Villanueva-Díaz, J. (2024). Dendrogeomorphological analysis of a debris flow in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, central Mexico. *Natural Hazards*, 121, 1575–1598. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06873-x>
- Díaz, S., Touchan, R., Swetnam, T., & Cleaveland, M. (2001). A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Climatology*, 21(8), 1007–1019. <https://doi.org/10.1002/joc.664>
- Douglass, A. E. (1914). A method of estimating rainfall by the growth of trees. *Bulletin of the American Geographical Society*, 46(5). <https://doi.org/10.2307/201814>
- Effendi, D. N., Irwandani, Anggraini, W., Jatmiko, A., Rahmayanti, H., Ichsan, I. Z., & Rahman, M. M. (2021). Bibliometric analysis of scientific literacy using VOS viewer: Analysis of science education. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012096. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012096>
- Figueroa-García, J. E., Franco-Ramos, O., Bodoque, J. M., Ballesteros-Cánovas, J. A., & Vázquez-Selem, L. (2021). Long-term lahar reconstruction in Jamapa Gorge, Pico de Orizaba (Mexico) based on botanical evidence and numerical modelling. *Landslides*, 18(10), 3381–3392. <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01716-3>

- Franco-Ramos, O., Ballesteros-Cánovas, J. A., Terrazas, T., Vázquez-Selem, L., Figueroa-García, J. E., & Stoffel, M. (2023). Combining exposed tree roots and UAV imagery to quantify land denudation in central Mexico. *Science of the Total Environment*, 880, 163265. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163265>
- 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(1), 2096–2109. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5496-6>
- Franco Ramos, O., Vázquez Selem, L., Stoffel, M., & Villanueva Díaz, J. (2018). Potencial dendrogeomorfológico de coníferas en volcanes del centro de México. *Bosque (Valdivia)*, 39(2), 191–204. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002018000200191>
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press Inc.
- González-Tagle, M. A., Cerano-Paredes, J., Himmelsbach, W., Alanís-Rodríguez, E., & Colazo-Ayala, Á. A. (2023). Fire records based on dendrochronological techniques for a coniferous forest in the southeastern region of Jalisco, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 29(1), 35–50. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.03.018>
- Herrera-Soto, G., González-Cásares, M., Pompa-García, M., Camarero, J. J., & Solís-Moreno, R. (2018). Growth of *Pinus cembroides* Zucc. in response to hydroclimatic variability in four sites forming the species latitudinal and longitudinal distribution limits. *Forests*, 9(440). <https://doi.org/10.3390/f9070440>
- Huante, P., Rincón, E., & Swetnam, T. (1991). Dendrochronology of *Abies Religiosa* in Michoacan, Mexico. *Tree Ring Bulletin*, 51, 15–28.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000* (pp. 20–21). Author.
- Kirby, A. (2023). *Exploratory bibliometrics: Using VOSviewer as a preliminary research tool*. *Publications*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.3390/publications11010010>
- Marcelo-Peña, J. L., Roig, F. A., Goodwin, Z. A., & Tomazello-Filho, M. (2020). Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia*, 62, 125728. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125728>
- Margolis, E. Q., Guiterman, C. H., Chavardès, R. D., Coop, J. D., Copes-Gerbitz, K., Dawe, D. A., Falk, D. A., Johnston, J. D., Larson, E., Li, H., Marschall, J. M., Naficy, C. E., Naito, A. T., Parisien, M.-A., Parks, S. A., Portier, J., Poulos, H. M., Robertson, K. M., Speer, J. H., ... Weisberg, P. J. (2022). The North American tree-ring fire-scar network. *Ecosphere*, 13(7), 1–36. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4159>
- Morales, M. S., Cook, E. R., Barichivich, J., Christie, D. A., Villalba, R., LeQuesne, C., Srur, A. M., Eugenia Ferrero, M., González-Reyes, Á., Couvreur, F., Matkovsky, V., Aravena, J. C., Lara, A., Mundo, I. A., Rojas, F., Prieto, M. R., Smerdon, J. E., Bianchi, L. O., Masiokas, M. H., ... Boninsegna, J. A. (2020). Six hundred years of South American tree rings reveal an increase in severe hydroclimatic events since mid-20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(29), 16816–16823. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002411117>
- Naylor, T. (1971). Dendrochronology in Oaxaca, Mexico: A preliminary study. *Tree Ring Bulletin*, 31, 25–29.
- Pawlik, Ł., Buma, B., Wistuba, M., Malik, I., & Ślęzak, A. (2023). Trees as bioindicators of hillslope degradation by debris flows and dangerous rockfalls along the Lefthand Canyon, Colorado Front Range. *Land Degradation and Development*, 34(6), 1869–1884. <https://doi.org/10.1002/ldr.4575>
- Pompa-García, M., Altman, J., Paéz-Meráz, D. S., & Martínez Rivas, J. A. (2023). Spatiotemporal variability in disturbance frequency and severity across Mexico: Evidence from conifer tree rings. *Forests*, 14(5), 1–21. <https://doi.org/10.3390/f14050900>
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: the titans of bibliographic information in today's academic world. *Publications*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/publications9010012>
- Quesada-Román, A., Ballesteros-Cánovas, J. A., St. George, S., & Stoffel, M. (2022). Tropical and subtropical dendrochronology: Approaches, applications, and prospects. *Ecological Indicators*, 144, 109506. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109506>
- Roig, F. A., Osornio, J. J. J., Diaz, J. V., 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>
- Sánchez-Asunción, W., Cerano-Paredes, J., Franco-Ramos, O., Cornejo-Oviedo, E., Villanueva-Díaz, J., Flores-López, C., & Garza-Martínez, M. (2020). Dendrogeomorphological potential of *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson for the reconstruction of flash floods in Los Picos de Davis, Coahuila. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(3), 451–467. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.02.006>
- 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). <https://doi.org/10.3390/atmos13050748>
- Schulman, E. (1944). Dendrochronology in Mexico, I. *Tree-Ring Bulletin*, 10(3), 18–24. <https://doi.org/10.1215/00182168-48.2.349>
- Scott, S. D. (1966). Dendrochronology in Mexico. *Hispanic American Historical Review*, 48(2), 349–349. <https://doi.org/10.1215/00182168-48.2.349>
- Seiler, R., Houlié, N., & Cherubini, P. (2017). Tree-ring width reveals the preparation of the 1974 Mt. Etna eruption. *Scientific Reports*, 7, 44019. <https://doi.org/10.1038/srep44019>
- Sheppard, P. R., Ort, M. H., Anderson, K. C., Clynne, M. A., & May, E. M. (2009). Multiple dendrochronological responses to the eruption of Cinder Cone, Lassen Volcanic National Park, California. *Dendrochronologia*, 27(3), 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.09.001>
- 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>
- Shindo, L., & Ważny, T. (2023). Dendroarchaeology for the reconstruction of human-environment interactions: Current research. *Quaternary International*, 659, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2023.05.003>
- Šilhán, K., De la Peña Guillén, K. A., Carlón Allende, T., Tsou, C. Y., & Zhang, Y. (2024). Tree-ring eccentricity-based dating of

- landslide movements: Defining a new effective approach. *CATENA*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107576>
- Stahle, D., Cook, E., Burnette, D., Villanueva, J., Cerano, J., Burns, J., Griffin, D., Cook, B., Acuña, R., Torbenson, M., Sjezner, P., & Howard, I. (2016). The Mexican Drought Atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras. *Quaternary Science Reviews*, 149, 34–60. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.06.018>
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Vázquez-Selem, L., Franco-Ramos, O., & Palacios, D. (2011). Dendrogeomorphic dating of rockfalls on low-latitude, high-elevation slopes: Rodadero, Iztaccihuatl volcano, Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(9), 1209–1217. <https://doi.org/10.1002/esp.2146>
- Therrell, M. D., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Villanueva-Díaz, J. (2002). Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D14), ACL 6-1. <https://doi.org/10.1029/2001JD000851>
- Tichavský, R. (2023). Understanding hydrometeorological triggers of natural hazards through dendrogeomorphology: Methods, limitations, and challenges. *Earth-Science Reviews*, 244, 104546. <https://doi.org/10.1016/j.EARSCIREV.2023.104546>
- Tomazello Fo, M., Roig Juárez, F., & Zevallos Pollito, P. (2009). Dendrocronología y dendroecología tropical: marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Revista del Instituto de Ecología*, 44(2), 73–82.
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2023). {VOSviewer} manual. Leiden: Univeriteit Leiden. <https://www.vosviewer.com/>
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Therrell, M. D. (2003). Estado actual de la dendrocronología en México. *Revista Ciencia Forestal en México*, 25(88), 5–36. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/921>
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Luckman, B. H., Cerano-Paredes, J., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K., & Cornejo-Oviedo, E. (2007). Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climatic Change*, 83, 117–131. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9144-0>
- Villanueva-Díaz, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Beramendi-Orosco, L., Estrada-Ávalos, J., Martínez-Sifuentes, A. R., Astudillo-Sánchez, C. C., Cervantes-Martínez, R., & Cerano-Paredes, J. (2020). The climatic response of baldcypress (*Taxodium mucronatum* Ten.) in San Luis Potosi, Mexico. *Trees - Structure and Function*, 34(2), 623–635. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01944-0>
- Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Gómez-Guerrero, A., Cerano-Paredes, J., Aguirre-González, N. A., & Franco-Ramos, O. (2016). Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez en el monte Tláloc, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 39(2), 175–185. <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.2.175-185>
- Villanueva-Díaz, J., Martínez-Sifuentes, A. R., Quiñonez-Barraza, G., Estrada-Avalos, J. F. Del R. Reyes-Camarillo. (2021). Annual radial growth and climatic response of *Quercus crassifolia* Bonpl. in northwestern Durango, Mexico. *Trees*, 35, 783–798. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02077-5>
- Yocom, L. L., Fulé, P. Z., Falk, D. A., García-Domínguez, C., Cornejo-Oviedo, E., Brown, P. M., Villanueva-Díaz, J., Cerano, J., & Montaña, C. 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), 959–968. <https://doi.org/10.1071/WF13214>
- Zhao, S., Pederson, N., D'Orangeville, L., HilleRisLambers, J., Boose, E., Penone, C., Bauer, B., Jiang, Y., & Manzanedo, R. D. (2019). The International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) revisited: Data availability and global ecological representativity. *Journal of Biogeography*, 46(2), 355–368. <https://doi.org/10.1111/jbi.13488>
- Zúñiga-Vásquez, J. M., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., & Quiñonez-Barraza, G. (2023). Impact of fire history on the structure of a temperate forest in Northern Mexico. *Fire*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/fire6010019>