Respuesta dendroclimatológica de *Pinus pseudostrobus* en la Sierra Juárez, Oaxaca

Ana María Vásquez-González, Marco A. González-Tagle*****, Wibke Himmelsbach, Eduardo Alanís-Rodríguez, Javier Jiménez-Pérez

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional 85, Km. 145, C.P. 67700. Linares, Nuevo León.

Artículo recibido el 5 de septiembre de 2025 y aceptado el 24 de octubre de 2025

Dendroclimatic response of Pinus pseudostrobus in the Sierra Juarez, Oaxaca

Abstract

The climate has evolved naturally, and currently various tests reveal a new climate change. Using instrumental data and proxy sources to understand the behavior of the climate is one of the most reliable indirect sources. Considering the above, the potential dendrochronological response of *Pinus pseudostrobus* was determined by associating the width of the growth rings (early wood "RWI", late wood "EWI" and total ring "LWI") with precipitation in the region. The growth series were prepared based on standard techniques. A total of 43 samples (88%) were dated, in which the ring width (RWI, EWI and LWI) was determined in the COFECHA program (Holmes, 1983). Noise elimination was performed in the ARSTAN program to obtain the standardized chronology, which was later associated with precipitation, determining the relationship with the different ring widths of the species. The period of significant association with the total ring, earlywood and latewood was in the period January-March ($p<0.01$) with r= 0.58; r=0.42; r=0.37. The correlation revealed results that demonstrate that precipitation is a variable with influence on the development of the total ring of Pinus pseudostrobus in the region, which gives guidelines for the development of chronologies in the south of the country towards other species or sites, highlighting the importance of understanding the associations and thereby improving the integral management of ecosystems.

Key words: chronology; climatic variability; growth rings; dendrochronology; precipitation.

Resumen

El clima ha evolucionado de manera natural, en la actualidad diversas pruebas revelan un nuevo cambio climático. Utilizar datos instrumentales y fuentes proxy para conocer el comportamiento del clima, es una de las fuentes indirectas más confiables. Considerando lo anterior, se determinó el potencial de respuesta dendrocronológica de *Pinus pseudostrobus* al asociar la anchura de los anillos de crecimiento (madera temprana "RWI", madera tardía "EWI" y anillo total "LWI"), con la precipitación en la región. Las series de crecimiento se prepararon con base en técnicas estándar. Se fecharon un total de 43 muestras, en el que se determinó el ancho de los anillos (RWI, EWI y LWI), en el programa COFECHA (Holmes, 1983). La eliminación del ruido se realizó en el programa ARSTAN para obtener la cronología estandarizada, posteriormente se asoció a la precipitación determinando la relación con los diferentes anchos de anillo de la especie.

El periodo de asociación significativa con el anillo total, madera temprana y madera tardía fue en periodo enero-marzo ($p<0.01$), con r= 0.58; r=0.42; r=0.37.

La correlación reveló resultados que demuestran que la precipitación es una variable con influencia en el desarrollo del anillo total de *Pinus pseudostrobus* en la región, lo cual da pauta para el desarrollo de

*Autor de correspondencia
Email: marco.gonzaleztg@uanl.edu.mx
ISSN 2594-0384 (Electrónica)

cronologías en el sur del país hacia otras especies o sitios, resaltando la importancia de comprender las asociaciones y con ello mejorar el manejo integral de los ecosistemas.

Palabras clave: cronología; variabilidad climática; anillos de crecimiento; dendrocronología; precipitación; *Pinus pseudostrobus*.

Introducción

El clima ha evolucionado de manera natural, en la actualidad diversas pruebas revelan un nuevo cambio climático (Skoufias *et al*., 2011). Teniendo con ello la evidencia y preocupación por la pérdida de la biodiversidad (Balmford *et al*., 2005), que afecta un 36% de los bosques de pino y encino (Trejo *et al*., 2007), y la disminución en *Pinus pseudostrobus* con un 0.65% (Arriaga y Gómez, 2005). Utilizar datos instrumentales y fuentes proxy para conocer el comportamiento de la precipitación, es una de las fuentes indirectas más confiables, debido a que pueden generar reconstrucciones paleoclimáticas que superan los 10 000 años (Bradley, 1999; Cerano-Paredes *et al*., 2011; Ortega-Arroyo *et al*., 2018).

En México, particularmente en el estado de Oaxaca los datos climatológicos presentan cortas extensiones (menores a 70 años), mostrando problemas en la calidad y ausencia de datos en años consecutivos (IMTA, 2000). Para entender el comportamiento de la variabilidad climática en el norte y centro de México se han generado series dendrocronológicas de los últimos 500 años, con más de 170 series fechadas (Villanueva *et al*., 2011).

Oaxaca se localiza dentro de la zona neotropical de bosques secos (Ceballos y García, 1995), donde el crecimiento de los árboles en dichas regiones se presenta casi continuo, lo que genera dificultad en distinguir los crecimientos anuales (Marlès *et al*., 2015). Uno de los primeros estudios dendrocronológicos fue desarrollado en Ixtlán de Juárez con la especie *Abies guatemalensis* logrando obtener potencial en el registro del crecimiento de sus anillos (Aquino-Ramírez *et al*., 2019).

Pino ocote (*Pinus pseudostrobus* Lindl), se considera una especie con una amplia flexibilidad morfológica y fisiológicamente; además de una alta distribución que responde a las fluctuaciones ambientales (Márquez y Mendizábal, 2004; Espinosa *et al*., 2009). A pesar de ello, en el país existen escasas investigaciones dendrocronológicas que consideran a la especie para modelar las fluctuaciones hidroclimáticas (Constante *et al*., 2009; Marlès *et al*., 2015; González, 2019). Por esta razón, es necesario desarrollar estudios y analizar la influencia de las condiciones específicas del clima para generar series dendrocronológicas. Permitiendo con ello conocer la variabilidad climática del pasado, más allá de la disponibilidad de datos climáticos instrumentales.

Materiales y métodos

Área de estudio

Las muestras se obtuvieron en bosques templados con rodales mezclados a altitudes de 1700 a 2500 msnm en el municipio de Santa María Jaltianguis, Oaxaca (Figura 1) en las coordenadas 17°23'05.78650" N - 96°30'17.85816" W.

Trabajo de campo

La recolecta de los núcleos o virutas de Pinus pseudostrobus se realizó utilizando un muestreo selectivo. Se extrajeron un total de 48 dichos especímenes se encontraban libres de enfermedades y plagas, daños mecánicos y con poco disturbio por aprovechamientos forestales. De tal manera que se obtuvieron dos muestras o virutas con apoyo de taladros de Pressler a una altitud de 0.40m sobre el suelo, evitando la tensión y comprensión en la madera (Speer, 2010).

Las muestras se montaron y pulieron con diferentes grados de lija (220 a 1500), para lograr una mejor visibilidad de los anillos de crecimiento siguiendo los métodos estándares determinados por Fritts (1991).

Análisis de laboratorio

El crecimiento de los anillos anuales de cada uno de los núcleos se midió a través de un sistema de medición Velmex de precisión 0.001 mm, donde se consideró la longitud de madera temprana (EWI), madera tardía (LWI), y anillo total (RWI) (Villanueva et al., 2018; Grissino, 2001). Adicionalmente se realizó el control de calidad con el programa COFECHA que consta en conocer la correlación más alta entre series de crecimiento, al correlacionar en subperíodos de 50 años y traslapes de 25 años (Holmes, 1983).

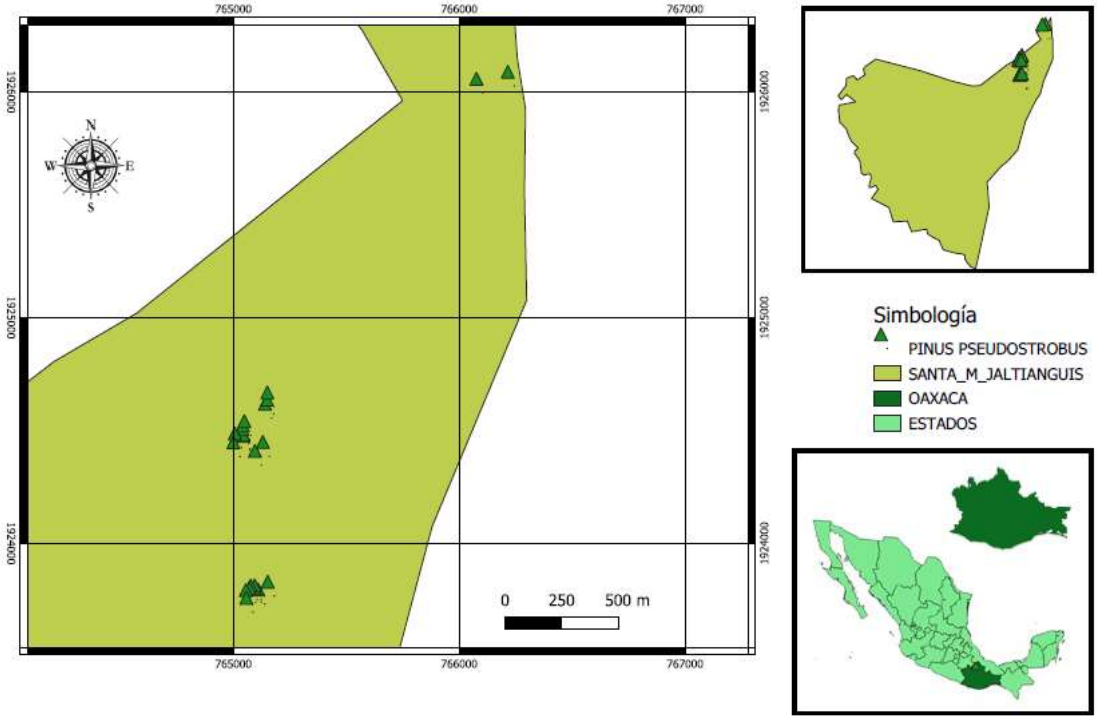


Figura 1. Área de muestreo de *Pinus pseudostrobus* en el municipio de Santa María Jaltianguis, Oaxaca.

Desarrollo de la cronología

Consecutivamente se generó la cronología promedio estandarizada tomando en cuenta los criterios descritos por Fritts, (1976), donde se llevó a cabo la remoción del ruido mediante el programa ARSTAN (Cook, 1987). La cronología de cada elemento analizado (EWI, LWI y RWI), incluyó las versiones estándar (Std), y residual (Rsd), convenientemente se procedió a determinar la relación con las variables ambientales.

Análisis estadístico

La asociación climática de Pinus pseudostrobus fue determinada con una correlación de Pearson entre las cronologías estandarizadas de EWI, LWI y RWI. La variable considerada fue la precipitación promedio (mm), en cuestión de una mejor precisión se realizaron correlaciones mensuales y acumuladas promedio.

Obtención de datos climáticos

Los datos de precipitación promedio (mm), utilizados en la asociación con el índice de ancho anillo se obtuvieron a través procesos de regresión múltiple en el software Eric III (IMTA, 2013; Aquino-Ramírez *et al*., 2019). Los registros de las tres estaciones se promediaron para la construcción de una base local donde se logró abarcar un periodo de 1955 a 2002, utilizada en el análisis de correlación con el índice de ancho de anillo (Tabla 1).

Resultados y discusión

Se lograron fechar 43 muestras (88%), de un total de 48 muestras, el resto no se logró datar debido a que presentaron problemas de crecimiento. Los valores de sensibilidad media (0.42), autocorrelación de primer orden (0.26), desviación

Tabla 1. Estaciones climáticas analizadas en el estudio

Estación	Latitud N	Longitud W	Altitud (m)	Periodo (años)	% Datos
Ixtlán de Juárez	17.3	-96.4	2312	1955-2002	96.5
San Juan Atepec	17.4	-96.5	1975	1970-2002	100
Guelatao	17.3	-96.6	1496	1976-2000	93.6

estándar (0.22), y la relación señal-ruido (17.42), indican la viabilidad de la especie para las reconstrucciones paleoclimática del sitio. Otras investigaciones (Marlés *et al.*, 2015; Luna-Robles, 2020) concuerdan que la especie presenta buena correlación para las reconstrucciones.

Las cronologías generadas de madera temprana, madera tardía y anillo total se extendieron por un periodo de 1910 a 2018 (108 años). La cronología residual de anillo total demostró una correlación entre series de 0.59 ($p<0.01$), encontrándose dentro de los valores obtenidos en otras investigaciones en el país para la especie (Marlès *et al.*, 2015; Constante *et al*., 2009; González, 2019). Los valores encontrados en esta investigación se encuentran dentro del rango reportado por Constante, 2010. Aquino-Ramírez *et al*., 2019 en un estudio cercano al área de investigación determinó para *Abies guatemalensis* una correlación de 0.57. De esta manera se han reportado valores de 0.43 con la especie *Fagus grandifoli* subsp. *Mexicana* en el estado de Hidalgo. La cronología presentó confiabilidad superando el umbral a partir de 1942 (Figura 2), con valor de EPS (0.96) con más de 10 radios (Wigley *et al*., 1984).

Función de respuesta

Precipitación

La etapa con correlación positiva significativa entre la cronología de anillo total residual y los datos climáticos de la precipitación mensual ($p<0.01$), fue en marzo y abril. En lo que corresponde a la cronología de madera temprana de enero a abril y la cronología de madera tardía en enero y febrero, lo que determina que el desarrollo de la especie responde durante invierno-primavera (Figura 3).

A su vez Villanueva-Díaz *et al*., (2018) y Chávez-Gándara *et al*., (2017) demostraron que la precipitación de invierno primavera impacta en el crecimiento de las coníferas del norte de México, debido a la infiltración y retención de los suelos por la baja intensidad de las lluvias lo cual se aprovecha al inicio de los periodos de crecimiento (primavera).

La precipitación acumulada presenta asociación en los diferentes anchos de anillos en el periodo enero-abril lo que ha sido determinado en otros estudios por la misma especie (González, 2019). Asi mismo otros estudios dendroclimáticos realizados para *Quercus sideroxyla* (Ortega-Arroyo *et al*., 2021) en Durango mencionan que la precipitación de enero a junio fue la de mayor influencia en el incremento de los anillos de la especie.

La asociación de los índices de ancho de anillo con la precipitación acumulada en los meses de mayor relación significativa con el anillo total fue en el periodo enero-marzo, madera temprana en enero-abril, y madera tardía enero-marzo ($p<0.01$), con r= 0.56; r=0.42; r=0.37 (Figura 4). La especie presenta potencial para reconstruir la precipitación en las estaciones de invierno-primavera con un coeficiente de correlación mayor con el anillo total, semejante a lo documentado en el norte y centro de México (Luna-Robles, 2020), demostrando la asociación de la precipitación con el crecimiento de los anillos, catalogando a la especie con potencial dendroclimático.

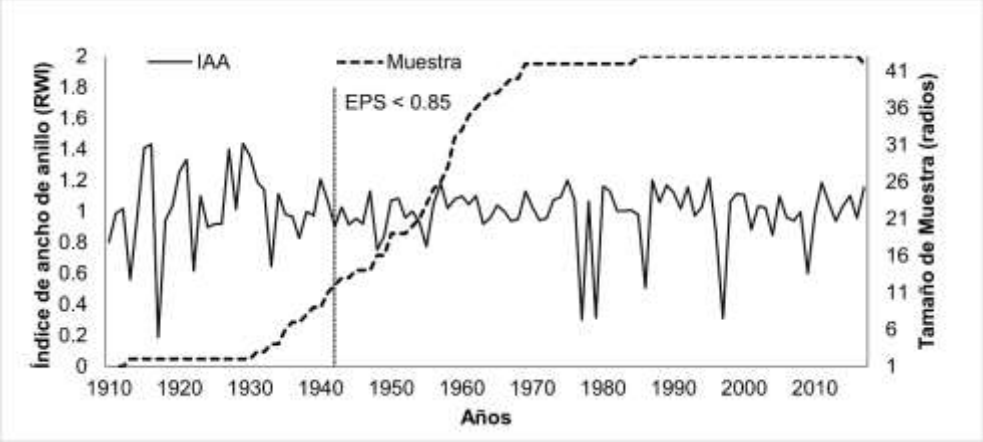


Figura 2. Cronología residual de índice de ancho de anillo total para *Pinus pseudostrobus* Lindl.

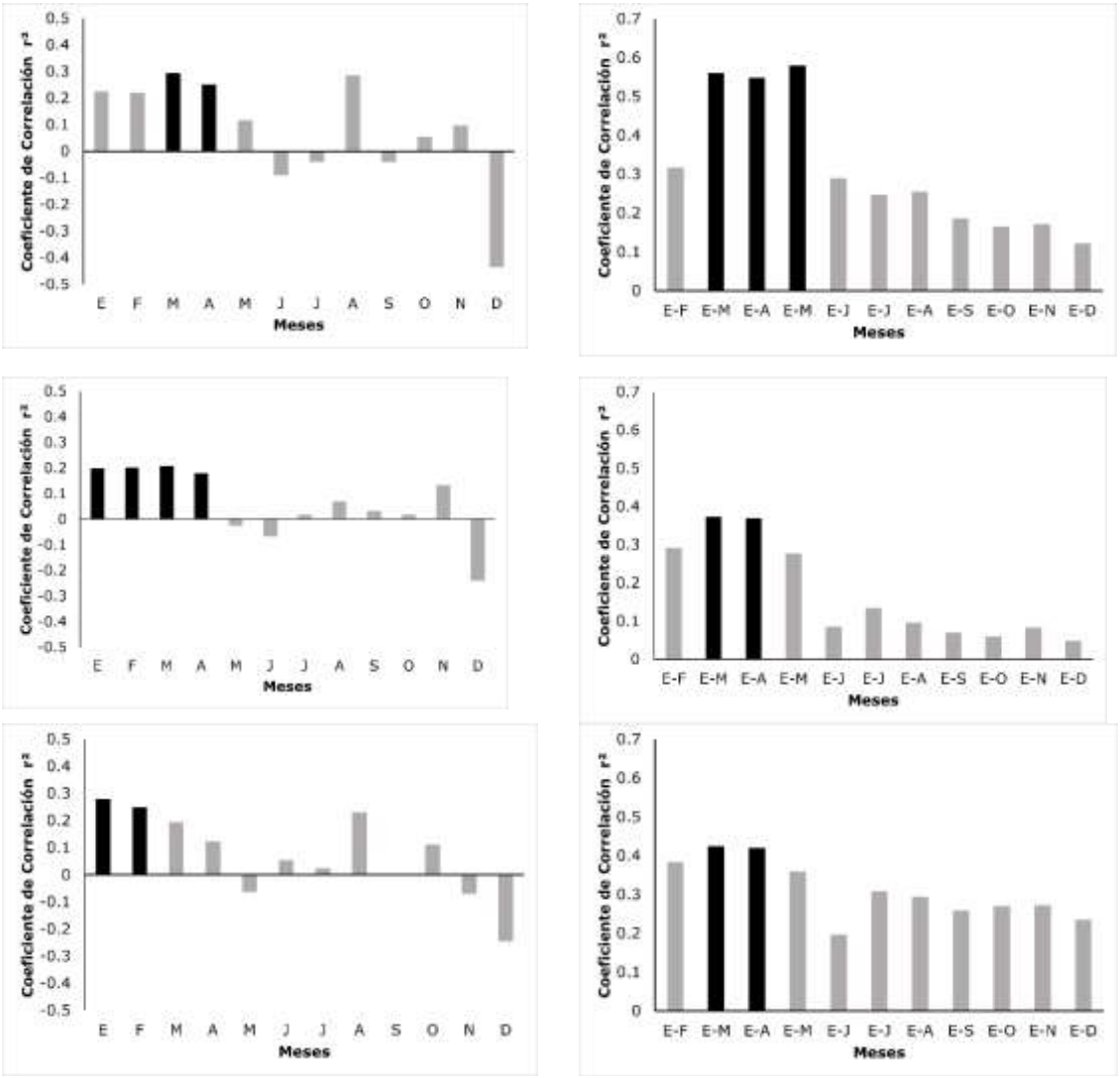


Figura 3. Coeficiente de correlación entre la precipitación mensual y acumulada (1910 a 2018), y los índices de RWI, EWI y LWI. Las correlaciones significativas (P < 0.01) están representadas con barras en color negro.

Conclusión

Al ser una de las especies con amplia distribución en el país se considera de gran importancia ante el cambio climático, dado que representa significativamente la correlación entre el crecimiento de sus anillos con la precipitación.

Dicha información aporta conocimiento sobre la variabilidad histórica del clima de 100 años para la región, constituyendo al inicio de una red de cronologías más completa anticipando episodios climáticos extremos que permitan un buen manejo de los recursos naturales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al SECIHTI por el financiamiento otorgado al primer autor para el desarrollo de los estudios de Doctorado en la FCF-UANL; a las autoridades de la comunidad de Santa María Jaltianguis Oaxaca, por las facilidades otorgadas para la elaboración de la investigación mediante la obtención de las muestras; al personal del laboratorio de Dendrocronología de la FCF-UANL, por las disposiciones brindadas para realizar el análisis.

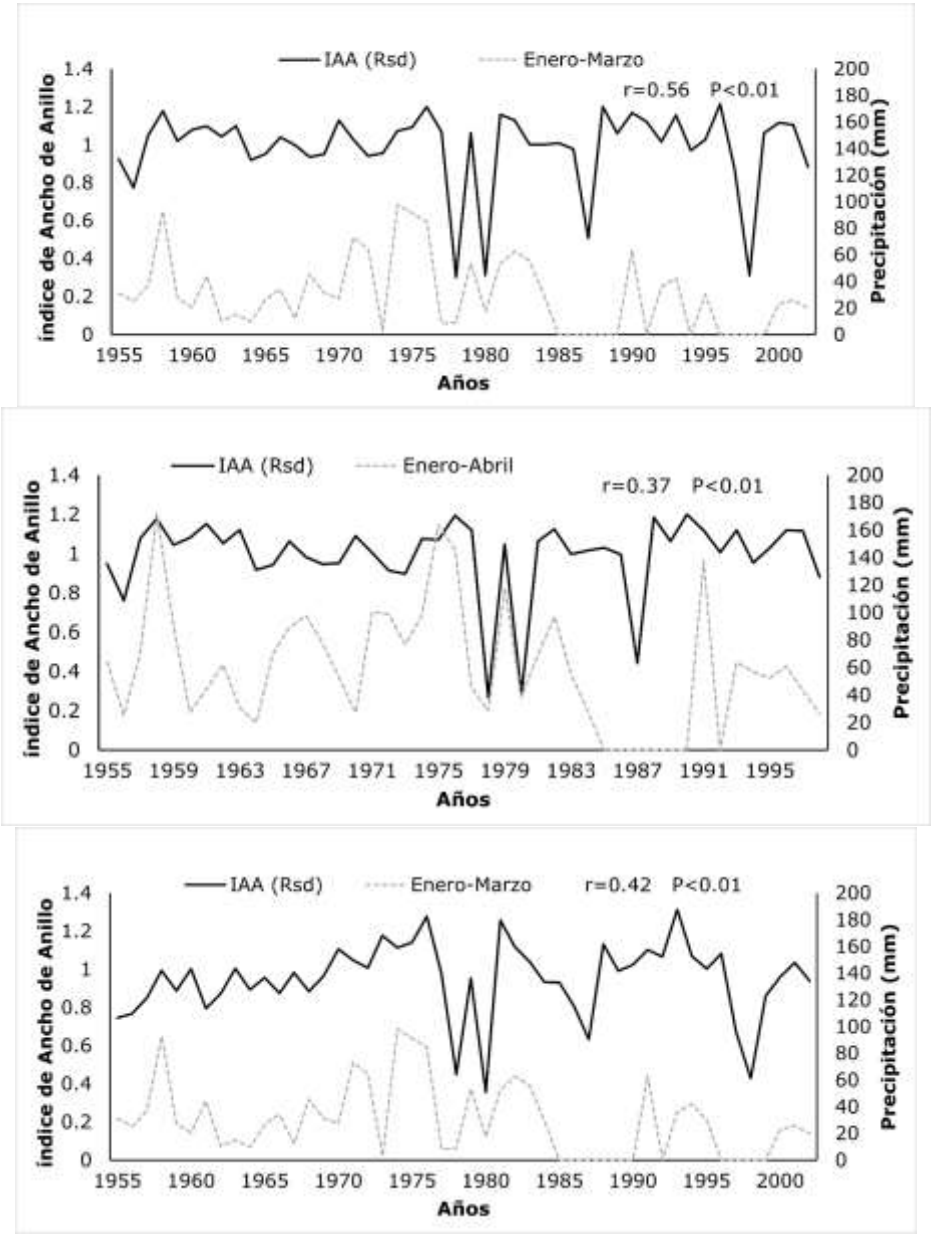


Figura 4. Relación entre el índice de ancho de anillo (RWI, EWI y LWI), y precipitación estacional observada.

Referencias

Aquino-Ramírez, M., Velázquez-Martínez, A., Villanueva-Díaz, J., Hervert-Zamora, H.L., Gómez-Guerrero, A., Reyes-Hernández, V.J., Ramírez-Valverde, G. 2019. "Respuesta climática de *Abies guatemalensis* Rehder en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México". *Madera y bosques*, *25*(2): 1-16, ISSN 2448-7597. https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521773.

Arriaga, L., Gómez, L. 2005. *Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México*, Available: http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/arriaga.html

Balmford, A., Crane, P., Dobson, A., Verde, R.E., Mace, M.G. 2005. He 2010 challenge: data availability, information needs and extraterrestrial insights. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360(1454):1-8, 0962-8436 ISSN:1471-2970, DOI: https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1599.

Bradley, R.S. 1999. *Paleoclimatology: reconstructing climates of the quaternary*. Amherst, Massachusetts EE. UU. Academic Press Ltd. London, UK. 614 p., ISBN: 978-0-12-124010-3, Available: < https://books.google.com.mx/books?id=SIo-OzrQCT4C&lpg=PP1&ots=q_Mr-_nCrI&dq=Bradley%2C%20R.%20S.%20(1999).%20Paleoc

limatology%3A%20reconstructing%20climates%20of%20the%20quaternary.%20Academic%20Press%20Ltd.%20London%2C%20UK.%20614%20p.&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false> [Consulted: marzo 24, 2025].

Ceballos, G., García, A. 1995. Conserving neotropical biodiversity: the role of dry forests in western Mexico. *Conservation Biology*, *9*(6): <1349-1356.

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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas", 2*(2): 235-249. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000800006

Chávez, G.M.P., Cerano, P.J., Nájera, L.J. A., Pereda, B.V., Esquivel, A.G., Cervantes, M.R., Cambrón, S.V.H., Cruz, C.F., Corral, R.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://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000200016.

Constante, G.V., Villanueva, D.J., Cerano, P.J., Cornejo, O.E.H., Valencia, M.S. 2009. "Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el Sureste de Coahuila". *Ciencia forestal en México*, *34*(106), 17-39. ISSN 1405-3586., DOI: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000200002&lng=es&nrm=iso .

Constante, G.V., Villanueva, D.J., Cerano, J., Estrada, A.J. 2010. Parámetros para definir el potencial dendrocronológico. Folleto Técnico Núm. 19. Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas, y Pecuarias. 40p. 1(1).

Cook, E.R. 1987. *The descomposition of tree-ring serires for environmental* studies. University of Arizona, Tucson: Tree-Ring Bulletin.

Espinosa, M.H., Márquez, R.J., Alejandre, R.J., Cruz, J.H. 2009. "Estudios de conos de *Pinus pseudostrobus* Lindl, En un relicto de la localidad el paso, municipio de la perla, Veracruz, México". *Foresta Veracruzana*, *11*(1): 33-38.

Fritts, H.C. 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data: a diagnostic analysis. Tucson, Estados Unidos: The University of Arizona Press.

Fritts, H.C. (1976). *Tree Rings and Climate*. New York, USA: Academic Press.

González J, J. 2019."*Respuesta del crecimiento de Pinus pseudostrobus Lindl a las variables climáticas en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey*" (Tesis maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León). Avaliable: http://eprints.uanl.mx/id/eprint/18631 [Consulted: marzo 20, 2025].

Grissino, M.H.D. 2001. "FHX2 Software para analizar patrones temporales y espaciales en regímenes de incendios de anillos de árboles". *Investigación de anillos de árboles*, *57*(1), 115-124.

Holmes, R. 1983. "Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement". *Tree Ring Bulletin*, *43*(1), 69-75. http://hdl.handle.net/10150/261223

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2009). Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC). Software. Jiutepec, Mor., México. s/p. Avaliable: https://es.scribd.com/document/358805978/ERIC-III-Extractor-Rapida-de-Informacion-Climatologica [Consulted: marzo 17, 2025].

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. (2013). Estaciones climáticas extraído de ERIC III (Extractor Rápido De Información Climática). Jiutepec, Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1: 250,000, Serie IV, DGG-INEGI, México.

Luna-Robles, A.A. 2020. Aplicación de técnicas dendrocronológicas en *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl para la reconstrucción climática en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey, Universidad Autónoma de Nuevo León. 69 p. Available: <http://eprints.uanl.mx/20019/>,[Consulted: Feb 12, 2025].

Márquez, G.A.V., Mendizábal, H.L. 2004. "Variación en el tamaño de conos de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Del Esquilón, municipio de Coacoatzintla, Veracruz, México". *Foresta Veracruzana*, 6(1): 33-36.

Marlès, M.J., Valor, I.T., López, B.C., Pérez, S.D.R., Maneja, Z.R., Sánchez, M.S. Boada, J.M. 2015. "Análisis dendroclimático de Pinus pseudostrobus y Pinus devoniana en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán), Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. Investigaciones geográficas". (88), 19-32. https://dx.doi.org/10.14350/rig.43338.

Ortega-Arroyo, E.J., Jiménez-Pérez, J., Villanueva-Díaz, J., Yerena-Yamallel, J.I., Alanís-Rodríguez, E. 2018. "Reconstrucción de algunas sequías a través de anillos de crecimiento para el norte de México". *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *9*(50):439-462, ISSN 2007-1132. https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.254.

Ortega-Arroyo, E.J., Jiménez-Pérez, J., Villanueva-Díaz, J., Yerena-Yamallel, J.I., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O.A. 2021. "Potencial dendroclimático del encino rojo, *Quercus sideroxyla* (Fagaceae) en México". *Revista de Biología Tropical*, 69(3), 888-897, ISSN 0034-7744, DOI: http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i3.44082.

Skoufias, E., Vinha, K., Conroy, H.V. 2011. "The Impacts of Climate Variability on Welfare in Rural Mexico". World Bank Policy Research Working Paper No. 5555, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=1754348

Speer, J.H. 2010. Fundamentos de la investigación de anillos de árboles. Arizona, Tucson: Universidad de Arizona Press.

Trejo, I., Hernández, J., Villers, L. 2007. "Afectación de las comunidades vegetales de México ante el cambio climático". *XI Encuentro de Geógrafos de América.* https://www.researchgate.net/profile/Lourdes-Villers/publication/228659068

Villanueva, D.J., Rubio, C.E.A., Chávez, D.Á.A., Zavala, A.J.L., Cerano, P.J., Martínez, S.A.R. 2018. "Respuesta climática de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schetol en el Bosque La Primavera, Jalisco". *Madera y bosques*, *24*(1), 1-14, ISSN 2448-7597. https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411464.

Villanueva, J., Cerano, P.J., Stahle, D.W., Luckman, B.H., Therrell, M.D., Cleaveland, M.K., Fulé, P.Z. 2011. La dendrocronología y reconstrucciones paleoclimáticas del norte-centro de México. Escenarios de cambio climático, registros del Cuaternario en América Latina. *Dirección General de Fomento Editorial UNAM*, México, 47-72.

Villanueva-Díaz, J., Rubio-Camacho, E.A., Chávez-Durán, Á.A., Zavala-Aguirre, J.L., Cerano-Paredes, J., Martínez-Sifuentes, A.R. 2018. "Respuesta climática de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schetol en el Bosque La Primavera, Jalisco". *Madera y bosques,* 24(1):1-14. DOI: https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411464.

Wigley, T.M., Briffa, K.R., Jones, P.D. 1984. "On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology". *Journal of climate and Applied Meteorology*, *23*(2): 201-213, DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2.