





Potencial dendrocronológico de *Pinus rzedowskii* Madrigal et Caballero: una especie endémica de Michoacán

Dendrochronological potential of *Pinus rzedowskii* Madrigal et Caballero: an endemic species of Michoacán

Ulises Manzanilla-Quiñones^{1*} ,
 Patricia Delgado-Valerio¹ ,
 Teodoro Carlón-Allende² ,
 Agustín Molina-Sánchez¹ 

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Av. Revolución esquina con Berlín s/n, Colonia Viveros, CP. 60170. Uruapan, Michoacán, México.

²Instituto de Geofísica Unidad Michoacán Universidad Nacional Autónoma de México Antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701, Colonia Ex-Hacienda de San José de la Huerta. CP. 58190. Morelia, Michoacán, México.

*Autor de correspondencia:
ulises_manza@hotmail.com

Nota científica

Recibida: 12 de julio 2023

Aceptada: 13 de noviembre 2023

Como citar: Manzanilla-Quiñones U, Delgado-Valerio P, Carlón-Allende T, Molina-Sánchez A (2023) Potencial dendrocronológico de *Pinus rzedowskii* Madrigal et Caballero: una especie endémica de Michoacán. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(3): e3850. DOI: 10.19136/era.a10n3.3850

RESUMEN. *Pinus rzedowskii* es una especie de pino endémica de Michoacán, que se distribuye en la Sierra de Coalcomán. El objetivo de esta investigación fue analizar el potencial dendrocronológico de la especie. Se tomaron 66 núcleos de crecimiento de 22 árboles de *P. rzedowskii*. Las muestras fueron analizadas mediante técnicas dendrocronológicas, el ancho de anillo se midió en un equipo VELMEX[®], la calidad del fechado y medición se verificó mediante Cofecha. Se generó una cronología en Arstan, posteriormente se realizaron correlaciones Bootstrap entre la cronología y los datos climáticos de estaciones meteorológicas cercanas al sitio de estudio. Las muestras fechadas (n = 45, r = 0.403, p < 0.01) abarcaron de 1730-2021, lo que indica que el árbol más longevo tiene 292 años. De acuerdo con la evaluación de los parámetros dendrocronológicos; *P. rzedowskii* posee un potencial dendrocronológico relativamente bajo, sin embargo, presenta una señal climática significativa (r = 0.52, p < 0.01) con la precipitación de otoño-primavera.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, crecimiento radial, dendrocronología, *Pinus*, precipitación otoño-invierno.

ABSTRACT. *Pinus rzedowskii* is a pine species endemic to Michoacán, distributed in the Sierra de Coalcomán. The objective of this research was to analyze the dendrochronological potential of the species. Sixty-six growth cores were taken from 22 trees of *P. rzedowskii*. The samples were analyzed by dendrochronological techniques, the ring width was measured in a VELMEX[®] equipment, the quality of the dating and measurement was verified by Cofecha. A chronology was generated in Arstan, then Bootstrap correlations were performed between the chronology and climatic data from weather stations near the study site. The dated samples (n = 45, r = 0.403, p < 0.01) covered 1730-2021, indicating that the longest-lived tree is 292 years old. According to the evaluation of dendrochronological parameters; *P. rzedowskii* has a relatively low dendrochronological potential, however, it presents a significant climatic signal (r = 0.52, p < 0.01) with autumn-spring precipitation.

Key words: Tree rings, radial growth, dendrochronology, *Pinus*, autumn-winter precipitation.

INTRODUCCIÓN

La dendrocronología es una ciencia, que mediante el uso de los anillos de crecimiento de los árboles, estudia eventos climáticos, donde la formación y variación del grosor de los anillos está vinculado con los factores climáticos dominantes en la zona (Stahle *et al.* 2016). Los anillos de crecimiento han permitido analizar el comportamiento de la variabilidad climática, atmosférica y ecológica a diferentes escalas espacio-temporales (Stahle *et al.* 2016, 2020, Villanueva-Díaz *et al.* 2018a), así como el impacto de los modelos de circulación general en la dinámica climática regional.

El registro de diferentes eventos captados en las estructuras de crecimiento de los anillos de los árboles, los convierten en fuentes proxys o bioindicadores de las variaciones climáticas locales o regionales (Carlón *et al.* 2021). Debido a que tienen capacidad de registrar las condiciones dominantes de humedad y temperatura, así como sus variaciones interanuales y multianuales a diferente escala espacial y temporal (Speer 2010, Manzanilla-Quiñones *et al.* 2020). Asimismo, los anillos de crecimiento de los árboles han ayudado en la reconstrucción de sequías (Villanueva-Díaz *et al.* 2015), determinación del comportamiento histórico de incendios forestales (Cerano-Paredes *et al.* 2019), así como en la generación de índices de precipitación (Stahle *et al.* 2020).

Los estudios dendrocronológicos en México han aumentado de manera significativa en las últimas décadas, debido a que los anillos de crecimiento de los árboles actúan como bioindicadores a escala anual y estacional, aunado a una mayor integración de investigadores que han empleado a la dendrocronología, como una herramienta que potencializa sus líneas de investigación (Pompa-García *et al.* 2014, Carlón *et al.* 2016, Villanueva-Díaz *et al.* 2018a).

Se estima que se han generado 429 cronologías en México, la mayoría de ellas, generadas con crecimientos anuales de especies de los géneros *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Taxodium*, *Abies* y *Quercus*, distribuidas en el norte y centro del país

(Acosta-Hernández *et al.* 2017). Sin embargo, a pesar del avance en la investigación dendrocronológica, en nuestro país aún existe una gran diversidad de especies arbóreas que no han sido analizadas desde un enfoque dendrocronológico. *Pinus rzedowskii* Madrigal et Caballero es una especie de pino endémica y en peligro de extinción de México, cuyas poblaciones (restringidas, discontinuas y ancestrales) se distribuyen exclusivamente en la Sierra de Coalcomán, Michoacán. Desde su descripción, la especie ha sido escasamente estudiada (Madrigal y Caballero 1969, Delgado *et al.* 1999), lo que indica que no se tiene mucha información, más allá de su variabilidad genética, evolutiva y reproductiva (Delgado *et al.* 1999, Castilleja *et al.* 2016). Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo principal determinar el potencial dendrocronológico de *Pinus rzedowskii* Madrigal et Caballero, mediante la aplicación de técnicas dendrocronológicas estándar. Por lo que la generación de esta información aportará datos sobre el potencial dendrocronológico de la especie, así como el grado de influencia del clima regional en el crecimiento radial anual de *P. rzedowskii*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el Municipio de Coalcomán de Vázquez Pallares, Michoacán, en la localidad del Varaloso, en un sitio conocido como la Magueyera (Figura 1). Los árboles muestreados corresponden a ejemplares de *P. rzedowskii*, localizados entre las coordenadas geográficas 18° 42' 9.4" y 18° 41' 38.2" de latitud norte y 103° 0' 41.5" y 103° 0' 3.6" de longitud oeste (Figura 1).

Los árboles analizados se caracterizan por crecer en un clima ACw2 (semicálido subhúmedo), con una temperatura promedio anual mayor a 18 °C, una temperatura del mes más frío menor a 18 °C, una temperatura del mes más caliente mayor a 22 °C y una temporada de lluvias durante el verano, con una precipitación anual acumulada de 1390 mm (García 1998, Cuervo-Robayo *et al.* 2014). La altitud promedio del sitio donde se realizó el muestreo es de 2308 metros, con una exposición hacia el suroeste

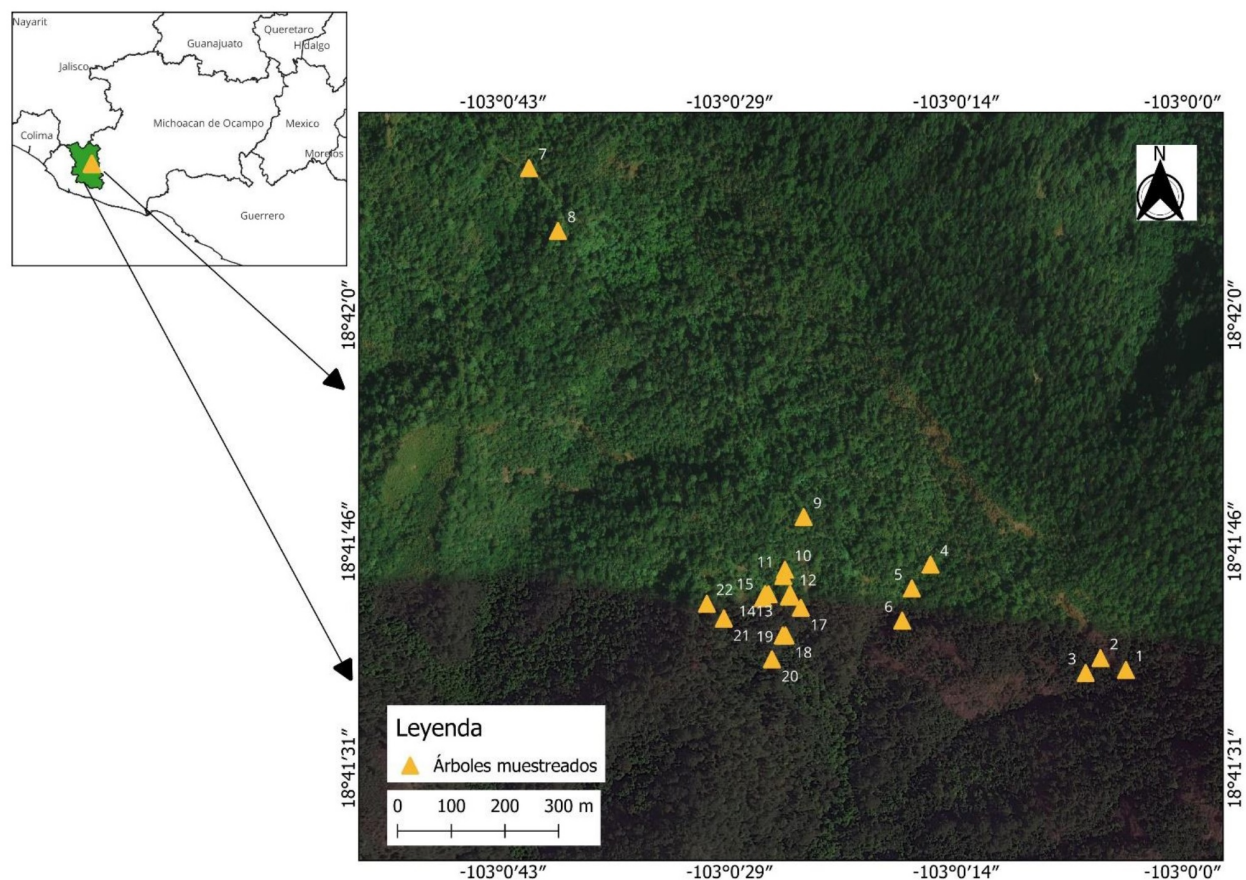


Figura 1. Ubicación geográfica de los árboles muestreados de *P. rzedowskii*.

y una pendiente promedio de 7.2%. El tipo de suelo dominante en el sitio de estudio corresponde a Luvisol crómico (Lc) (INEGI 2014), mientras que el tipo de vegetación dominante corresponde a Bosque de Pino (INEGI 2016).

Muestreo

Se muestrearon 22 árboles de *P. rzedowskii* (Figura 1), el muestreo se enfocó a individuos sin evidencia de disturbio (marcas de aprovechamiento de resina, cicatrices de incendios, no presencia de plagas). A cada ejemplar se le extrajeron tres núcleos de crecimiento (virutas) con ayuda de un taladro de Pressler marca Haglöf de 50 cm de longitud y un diámetro de 5.15 mm y se midió el diámetro normal con una cinta métrica. Las muestras fueron obtenidas a 1.3 m de altura del suelo, en dirección perpendicular a la pendiente, esto con la finalidad de evitar excen-

tricidad en los anillos provocada por la pendiente del terreno, así como el efecto de la madera de compresión. Posteriormente, las muestras se depositaron en popotes de papel previamente perforados, con la finalidad de evitar su pudrición.

Procesamiento y generación de series de crecimiento

Las muestras se montaron en portavirutas de madera, para después ser pulidas con lijas de diferente granulometría (60 a 1200 granos por cm^2) y posteriormente ser prefchadas y analizadas mediante técnicas dendrocronológicas tradicionales (Fritts 1976). La medición del ancho total de anillo se realizó en un equipo VELMEX[®] (precisión 0.001 mm) (Robinson y Evans 1980). La calidad del fechado de los anillos de crecimiento se realizó en el programa Cofecha, mediante correlaciones de Pearson entre

las muestras en segmentos de 50 años traslapados cada 25 años (Holmes 1983). Acorde con Holmes (1983) para que el fechado sea estadísticamente fiable, este debe tener un valor de intercorrelación entre series mayor a 0.328 ($p < 0.01$). Por lo tanto, las series de crecimiento con valores de intercorrelación 0.328 ($p > 0.01$) no se consideraron en el análisis.

La cronología de índice de ancho de anillo se generó en el programa Arstan, mediante el cual se estandarizaron las series de crecimiento de ancho de anillo (Cook y Holmes 1986). Este procedimiento se efectuó al aplicar una función exponencial negativa, y luego un Spline cubico suavizado de 128 años, conservando el 50% de la varianza y el 67% de la longitud de la serie, lo cual permitió eliminar la variabilidad atribuida a la tendencia de crecimiento (Cook 1987, Pompa-García et al. 2014).

La estandarización de las series individuales con una media igual a 1 y varianza homogénea, se obtuvo al dividir las mediciones de ancho de anillo de cada año entre el valor de la curva de ajuste establecida (Cook 1987). La aplicación de estas configuraciones permitieron eliminar los factores externos ajenos a la señal de interés, así como las tendencias biológicas del crecimiento radial anual y a maximizar las variaciones de tipo climática de alta frecuencia (sequias) registradas en los anillos de crecimiento (Cook 1987, Speer 2010).

Potencial dendrocronológico

El potencial dendrocronológico se evaluó mediante los siguientes parámetros: intercorrelación entre series (ICS), sensibilidad media (SM), autocorrelación de primer orden (APO), variación del primer componente principal (VPC), señal expresada de la población (SEP), intensidad de la señal del submuestreo (ISS), relación señal-ruido (RSR) y correlación media entre cronologías (CMC) (Cook y Holmes 1986, Constante-García et al. 2010, Speer 2010). Acorde con estos resultados, es factible estimar el potencial dendrocronológico de las especies arbóreas, así como su nivel de respuesta a determinadas variables, principalmente de tipo climática.

Datos climáticos

La información climática se obtuvo de la página de Clicom del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), las estaciones elegidas fueron aquellas que se ubican en un radio de 90 kilómetros del área de estudio y presentan registros de más de 30 años. Los registros descargados corresponden a valores de precipitación y temperatura (máxima, media y mínima) de las estaciones meteorológicas Agüilla, Apatzingán (SMN) y Coalcomán (SMN). Se observó que los datos presentaban registros incompletos, por lo que se optó por emplear los datos de la estación meteorológica con el mayor número de registros completos (Tabla 1) esto con la finalidad de efectuar los análisis de influencia clima con el crecimiento radial de *P. rzedowskii*.

Influencia climática en el crecimiento radial

Las relaciones entre las variables climáticas (precipitación y temperatura) y la cronología Arstan se determinaron por medio de correlaciones Bootstrap en el programa Dendroclim con un nivel de significancia de $p < 0.05$ (Biondi y Waikul 2004). Los coeficientes de correlación mensual y estacional se obtuvieron en una ventana temporal de 18 meses, es decir, se analizaron los seis meses anteriores y los 12 meses actuales (Carlón et al. 2021), esto con la finalidad de identificar los meses y las estaciones que más influyeron en el crecimiento radial de *P. rzedowskii*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se fecharon correctamente 45 de las 66 muestras disponibles (68.18% del total de la muestra), la serie generada cubre un rango de edades de 57 a 292 años, siendo un ejemplar el que presentó la edad máxima fechada (292 años, Figura 2).

La intercorrelación entre series fue de 0.403 ($p < 0.01$), por lo que acorde con este resultado y comparado con el umbral ($r > 0.328$, $p < 0.01$) establecido por Holmes (1983) las muestras se fecharon correctamente al año real de formación de los anillos de crecimiento de la especie. Por otra parte, el resto

Tabla 1. Descripción de las estaciones meteorológicas cercanas al sitio de estudio.

Estación meteorológica	Clave	Altitud (m)	Variable	Extensión temporal	Datos completos (%)
Agüilla	16003	896	Precipitación	1943-2015	34.05
			Temperatura máxima	1961-2015	40.42
			Temperatura media	1961-2015	31.50
			Temperatura mínima	1961-2015	31.50
Coalcomán (SMN)	16154	1044	Precipitación	1926-2014	44.68
			Temperatura máxima	1926-2014	63.10
			Temperatura media	1926-2014	63.10
			Temperatura mínima	1926-2014	63.10
Apatzingán (SMN)	16007	326	Precipitación	1923-2015	59.64
			Temperatura máxima	1923-2015	98.75
			Temperatura media	1923-2015	98.75
			Temperatura mínima	1923-2015	98.75

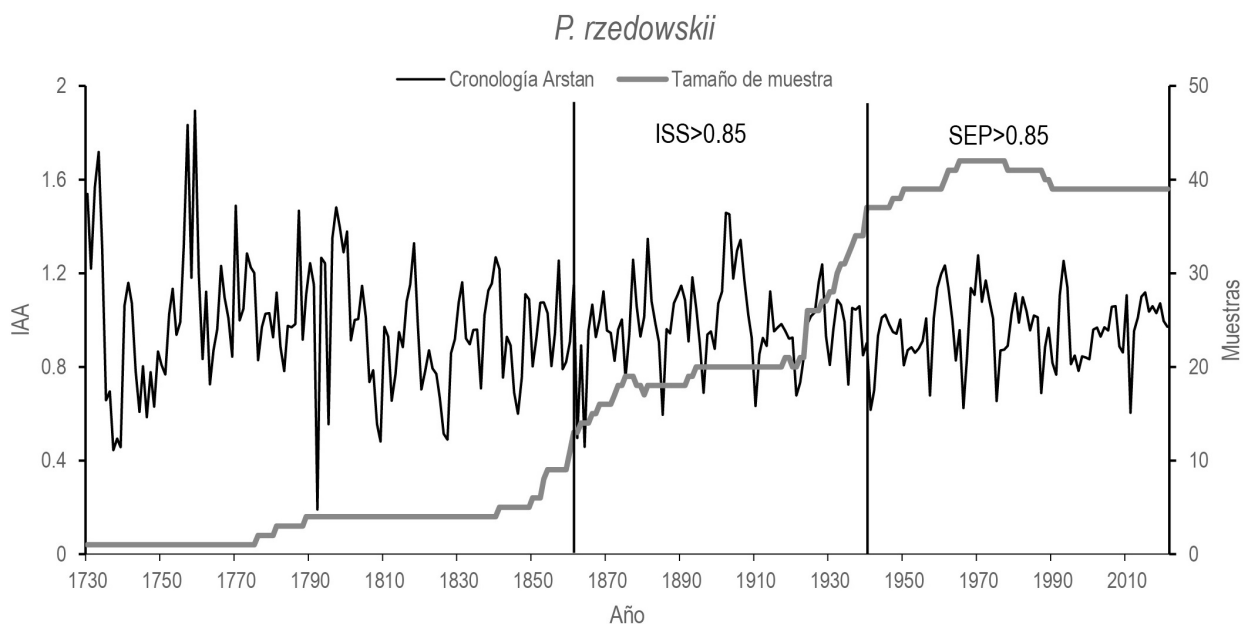


Figura 2. Extensión temporal total, profundidad de muestreo, valor de SEP y de ISS de la cronología Arstan de *P. rzedowskii*.

de las muestras fue omitido del análisis debido a que presentaron valores de intercorrelación bajos y estadísticamente no fueron confiables ($r < 0.328$, $p > 0.01$). Esto último es un problema común para este tipo de investigaciones, donde se suele descartar hasta un 40% de las muestras debido a bajas correlaciones (Cerano *et al.* 2014). Motivo por el cual, se recomienda realizar un muestro más exhaustivo, sin embargo, debido a que *P. rzedowskii* presenta una densidad poblacional baja y en peligro de extinción, los ejemplares muestreados aportan información relevante sobre el crecimiento radial anual de la especie.

La SM registrada por los árboles muestreados de *P. rzedowskii* es de 0.18, por lo que de acuerdo con Grissino-Mayer (2001); se puede clasificar la sensibilidad media de la especie como baja. Estos resultados son menores si se comparan con lo reportado por Carlón *et al.* (2021) para *P. hartwegii* (0.24) y *A. religiosa* (0.37) por Cerano *et al.* (2014), ambas especies localizadas en el Pico de Tancitaro, Michoacán, por otra parte, Manzanilla-Quiñones *et al.* (2021) reporta un valor de SM de 0.31 para *P. hartwegii* del Volcán Nevado de Colima, Jalisco, mientras que Villanueva-Díaz *et al.* (2018b) reporta un valor de SM de 0.32 para *P. oocarpa* del Bosque la

Primavera en Jalisco. Por lo tanto, se puede afirmar que los árboles muestreados en este estudio presentan condiciones ambientales más favorables en comparación con las especies de Pináceas mencionadas anteriormente.

La APO de *P. rzedowskii* es de 0.42 lo que indica que el crecimiento radial anual de la especie está influenciado por las condiciones dominantes del año anterior (Fritts 1976, Constante-García *et al.* 2010, Speer 2010), es decir, las condiciones climáticas del año previo influyen en las condiciones actuales del crecimiento de *P. rzedowskii*. Resultados contrastantes han sido reportados por Villanueva-Díaz *et al.* (2018a) para *P. oocarpa* (0.10) del Bosque la Primavera, Jalisco, mientras que Carlón *et al.* (2021) reporta un valor de 0.55 para *P. hartwegii* del Pico de Tancítaro, Michoacán. De acuerdo con Villanueva-Díaz *et al.* (2018b) los valores de APO cercanos a 0, son los deseados a obtener para la realización de estudios dendrocronológicos, específicamente, para analizar la relación crecimiento-sígnal climática.

La VPC presenta un gradiente de valores de 0 a 100% que representa la señal común de crecimiento de los árboles (Speer 2010). *P. rzedowskii* registra un VPC de 15.65%, el cual es considerado como bajo, en comparación lo reportado por Carlón *et al.* (2021) para *P. hartwegii* (41%) del Pico de Tancítaro, Michoacán y por Manzanilla-Quiñones *et al.* (2021) para *P. hartwegii* (44.31%) del Volcán Nevado de Colima. Por lo tanto, entre mayor sea este valor, mayor será la señal de crecimiento registrada por los anillos anuales de los árboles.

La SEP ($\geq 85\%$) confiable de *P. rzedowskii* se alcanzó a las 33 muestras para el periodo 1941-2021 (81 años), esto indica que al menos el 85% de los árboles cubren ese periodo y tienen la capacidad de registrar en su crecimiento radial los cambios producidos en el ambiente (Figura 2).

La CMC se calculó en ventanas temporales de 25 años con traslapes cada 12 años para 1941-2021, periodo definido a partir del valor de SEP, el resultado de este análisis ($r = 0.573$, $p < 0.01$) indica que los periodos y subperiodos analizados en Cofecha son estadísticamente confiables (Briffa 1995).

Por otra parte, los resultados de ISS con un

valor de umbral confiable de 0.85 (Osorio-Osorio *et al.* 2020) se alcanzó a las 12 muestras (1861-2021), lo que sugiere que el periodo apropiado para realizar una reconstrucción es de 161 años (Figura 2). De acuerdo con Wigley *et al.* (1984) y Osorio-Osorio *et al.* (2020) este método puede emplearse para definir la longitud útil de la cronología de anillos de crecimiento para fines de reconstrucción climática.

La RSR obtenida para *P. rzedowskii* fue de 2.05, este parámetro representa la proporción de la señal deseada con respecto a disturbios y a otros factores ajenos no relacionados con el clima, que se consideran como ruido (Fritts 1976). De acuerdo con este resultado y en comparación con lo reportado para otras especies del género *Pinus* como *P. durangensis* (RSR = 5.24, Díaz-Ramírez *et al.* 2016) y *P. lumholtzii* (RSR = 8.04, Villanueva-Díaz *et al.* 2018b), los ejemplares muestreados de *P. rzedowskii* presentan factores ajenos, que afectan a la señal climática de interés de la especie.

El resultado del análisis de correlación Bootstrap entre la cronología Arstan (índice de ancho de anillo que mejor ajuste presentó con los datos climáticos) y los datos de precipitación mensual de la estación meteorológica Apatzingán (SMN) señalan que la relación entre el clima y el crecimiento radial anual de *P. rzedowskii* está asociado y regulado, principalmente con la cantidad de precipitación mensual acumulada de finales de otoño (noviembre) del año anterior y la precipitación registrada durante primavera (mayo) del año actual (Figura 3A). Por lo que, al igual que otras especies de la zona occidente de México como *P. douglasiana*, *A. religiosa*, *P. oocarpa* y *P. hartwegii* (Cerano-Paredes *et al.* 2013, Cerano *et al.* 2014, Villanueva-Díaz *et al.* 2018a, Manzanilla-Quiñones *et al.* 2021); *P. rzedowskii* respondió de manera positiva y significativa con la precipitación acumulada de noviembre-mayo de 1976-2015 ($r = 0.52$, $p < 0.01$), esto indica la relevancia que tiene la precipitación durante ese periodo, donde un déficit hídrico en ese lapso ocasionaría un menor crecimiento radial de la especie. Esta respuesta a la precipitación de baja frecuencia e intensidad, que se presenta durante las estaciones de invierno-primavera, se extiende desde

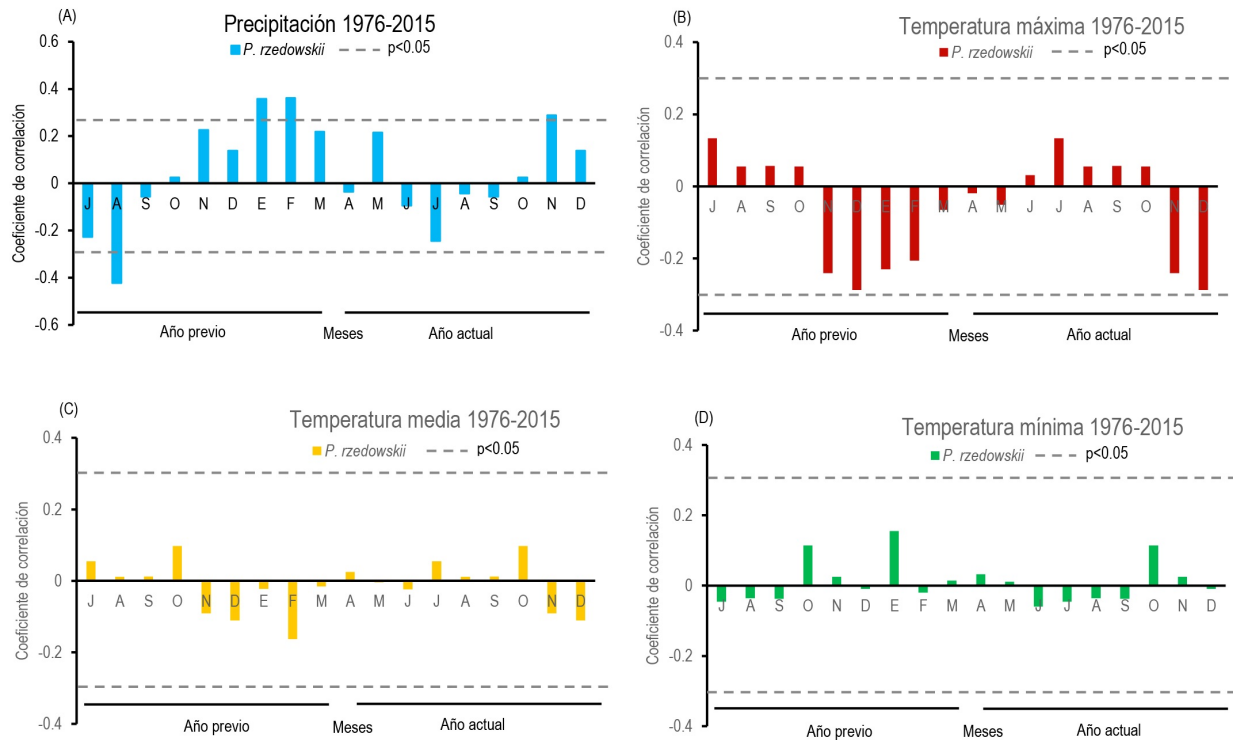


Figura 3. Coeficientes de correlación entre la cronología Arstan y la precipitación (A), temperatura máxima (B), temperatura media (C) y temperatura mínima (D).

el sureste de EUA hasta el centro de México (St. George *et al.* 2010, Cerano *et al.* 2014, Villanueva-Díaz *et al.* 2015, 2018b, Carlón *et al.* 2016, Manzanilla-Quiñones *et al.* 2021) y constituye la principal fuente de agua disponible, empleada por el cambium vascular para el crecimiento del árbol (Dünisch y Bauch 1994, Gutiérrez-García y Ricker 2019, Manzanilla-Quiñones *et al.* 2020). También se observó una respuesta negativa y significativa con la precipitación de agosto ($r = -0.42$, $p < 0.05$) del año anterior del crecimiento radial, lo que indica que el aumento en la cantidad de la precipitación durante ese periodo suele tener un efecto negativo en el crecimiento de la especie.

Los resultados del análisis de correlación Bootstrap entre la cronología Arstan y los registros de temperatura máxima, media y mínima del periodo 1976-2015 de la estación meteorológica de Apatzingán (SMN) presentaron valores muy bajos y no significativos ($p > 0.05$) lo que indica que la variación de las temperaturas durante julio del año

anterior a diciembre del año actual no influye de manera significativa en el crecimiento de la especie (Figuras 3B, 3C y 3D). Es decir, la evapotranspiración presentada durante ese periodo no tiene un efecto negativo significativo que afecte la disponibilidad de agua durante invierno-primavera, lo cual se debe a que las condiciones de humedad están vinculadas con la variabilidad de la temperatura, principalmente el comportamiento de la temperatura de noviembre del año anterior a mayo del año actual, las cuales suelen ser estables para el occidente de México (Biondi *et al.* 2005, Manzanilla-Quiñones *et al.* 2020) y por consiguiente, esto no afecta la cantidad de carbohidratos disponibles, destinados para el crecimiento arbóreo de invierno-primavera (Kollowski y Pallardy 1997).

Como conclusión, en este estudio se encontró que *P. rzedowskii* es una de las especies de coníferas más longevas de Michoacán. Además, con base en el análisis del potencial dendrocronológico y a la capacidad de respuesta a los cambios ocurridos en el clima,

la especie presenta potencial para la reconstrucción de la precipitación estacional de noviembre-mayo, in-

formación que sería de utilidad en el entendimiento de la variabilidad hidroclicmática de la zona.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Hernández AC, Pompa-García M, Camarero JJ (2017) An update review of dendrochronological investigations in Mexico, a megadiverse country with a hight potential for tree-ring sciences. *Forests* 8: 160. DOI: 10.3390/f8050160.
- Biondi F, Waikul K (2004) DendroClim2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences* 30: 303-311.
- Biondi F, Hartsough PC, Galindo-Estrada I (2005) Daily weather and tree growth at tropical treeline of North America. *Artic, Antarctic and Alpine Research* 37: 6-24.
- Briffa KR (1995) Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology. In: von Storch H, Navarra A (eds.) *Analysis of climate variability, applications of statistical techniques*. Springer, Berlin. pp: 77-94.
- Carlón AT, Mendoza ME, Pérez-Salicrup DR, Villanueva-Díaz J, Lara A (2016) Climatic responses of *Pinus pseudostrabus* and *Abies religiosa* in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Central Mexico. *Dendrochronologia* 38: 103-116.
- Carlón AT, Villanueva DJ, Soto CG, Mendoza ME, Macías JL (2021) Tree rings as indicators of climatic variation in the Trans-Mexican Volcanic Belt, central Mexico. *Ecological Indicators* 120: 1-12. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106920.
- Castilleja SP, Delgado VP, Sáenz-Romero C, Herrerías DY (2016) Reproductive suces and inbreeding differ in fragmented populations of *Pinus rzedowskii* and *Pinus ayacahuite* var. *Veitchii*, two endemic mexican pines under threat. *Forests* 7: 178. DOI: 10.3390/f7080178.
- Cerano-Paredes J, Méndez-González J, Amaro-Sánchez AA, Villanueva-Díaz J, Cervantes-Martínez R, Rubio-Camacho EA (2013) Reconstrucción de precipitación Invierno-Primavera con anillos anuales de *Pinus douglasiana* en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19: 413-423.
- Cerano PJ, Villanueva DJ, Cervantes MR, Vázquez SL, Trucios CR, Guerra de la Cruz V (2014) Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. *Investigaciones Geográficas* 83: 41-54.
- Cerano-Paredes J, Villanueva-Díaz J, Vázquez-Selem L, Cervantes-Martínez R, Magaña-Rueda VO, Constante-García V, Esquivel-Arriaga G, Valdez-Cepeda D (2019) Climatic influence on fire regime (1700 to 2008) in the Nazas watershed, Durango, Mexico. *Fire Ecology* 15: 9. DOI: 10.1186/s42408-018-0020-x.
- Constante-García V, Villanueva-Díaz J, Cerano-Paredes J, Estrada-Ávalos J (2010) Parámetros para definir el potencial dendrocronológico. Folleto técnico número 19. Gómez Palacio, Durango: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 40p.
- Cook E (1987) The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree Ring Bulletin* 47: 37-5
- Cook ER, Holmes RL (1986) User's manual for program Arstan. In: Holmes RL, Adams RK, Fritts ED (eds) *Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*. Tucson, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, Arizona, USA. pp: 50-65

- Cuervo-Robayo AP, Tellez-Valdes O, Gomez-Albores MA, Venegas-Barrera CS, Manjarrez J, Martinez-Meyer E (2014) An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology* 34: 2427-2437.
- Díaz-Ramírez B, Villanueva-Díaz J, Cerano-Paredes J (2016) Reconstrucción de la precipitación estacional con anillos de crecimiento para la región hidrológica Presidio-San Pedro. *Madera y Bosques* 22: 111-123.
- Delgado VP, Piñero D, Chaos A, Pérez N, Álvarez ER (1999) High population differentiation and genetic variation in the endangered Mexican pine *Pinus rzedowskii* (Pinaceae). *American Journal of Botany* 86: 669-676.
- Dünisch O, Bauch J (1994) Influence of soil substrate and drought on wood formation of spruce (*Picea abies* [L.] Karst) under controlled conditions. *Holzforschung* 48: 447-457.
- Fritts HC (1976) *Tree rings and climate*. Academic Press. London. 567p.
- Grissino-Mayer HD (2001) Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer COFECHA. *Tree-ring Research* 57: 205-221.
- Gutiérrez-García G, Ricker M (2019) Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: e902676. DOI: 10.22201/ib.20078706e.2019.90.2676.
- INEGI (2014) Conjunto de datos vectoriales edafológicos. Escala 1:250 000. Serie II. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Archivo Shapefile. México.
- INEGI (2016) Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (capa unión). Instituto Nacional de Estadística y Geografía Archivo Shapefile. México.
- García E (1998) *Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García)*. Escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). Archivo Shapefile. México.
- Holmes RL (1983) Computer-assisted quality control in treering dating and measurement. *Tree Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Kollowski TT, Pallardy SG (1997) *Growth control in woody plants*. Academic Press. San Diego. 641p.
- Madrigal SX, Caballero DM (1969) Una nueva especie mexicana de *Pinus*. *Boletín Técnico*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 26p.
- Manzanilla-Quiñones U, Aguirre-Calderón OA, Jiménez-Pérez J, Villanueva-Díaz J (2020) Sensibilidad climática en anchuras de anillos de crecimiento de *Pinus hartwegii*: una especie alpina mexicana con potencial dendroclimático. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91: e913117. DOI: 10.22201/ib.20078706e.2020.91.3117.
- Manzanilla-Quiñones U, Aguirre-Calderón OA, Villanueva-Díaz J, Martínez-Sifuentes AR, Delgado-Valerio P (2021) Anillos de crecimiento de *Pinus hartwegii* como indicadores de fluctuaciones climáticas y de la influencia de fenómenos océano-atmósfera en la Faja Volcánica Transmexicana. *Madera y Bosques* 27(3): e2732276. DOI: 10.21829/myb.2021.2732276.
- Osorio-Osorio JA, Astudillo-Sánchez CC, Villanueva-Díaz J, Soria-Díaz L, Vargas-Tristán V (2020) Reconstrucción histórica de la precipitación en la Reserva de la Biosfera El Cielo, México, mediante anillos de crecimiento en *Taxodium mucronatum* (Cupressaceae). *Revista de Biología Tropical* 68: 818-832.
- Pompa-García M, Dávalos-Sotelo R, Rodríguez-Téllez E, Aguirre-Calderón OA, Treviño-Garza EJ (2014) Sensibilidad climática de tres versiones dendrocronológicas para una conífera mexicana. *Madera y Bosques* 20: 139-151.
- Robinson WJ, Evans R (1980) A Microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring-Bull*: 40: 59-64.

- Speer JH (2010) Fundamentals of tree ring research. University of Arizona Press. Tucson, Arizona, USA. 360p.
- St. George S, Meko DM, Cook ER (2010) The seasonality of precipitation signals embedded within the North American Drought Atlas. The Holocene 20: 983-988.
- Stahle DW, Cook ER, Burnette DJ, Villanueva J, Cerano J, Burns JN, Griffin D, Cook BI, Acuña R, Torbenson MCA, Szejner P, Howard IM (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.
- Stahle DW, Cook ER, Burnette DJ, Torbenson MCA, Howard IM, Griffin D, Villanueva-Díaz J, Cook BI, Williams AP, Watson E, Sauchyn DJ, Pederson N, Woodhouse CA, Pederson GT, Meko D, Coulthard B, Crawford CJ (2020) Dynamics, variability, and change in seasonal precipitation reconstructions for North America. Journal of Climate 33: 3173-3195.
- Villanueva-Díaz J, Cerano-Paredes J, Vázquez-Selem L, Stahle DW, Fulé PZ, Yocom LL, Francv-Ramos O, Ruiz-Corral JA (2015) Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. Investigaciones Geográficas 86: 5-14.
- Villanueva-Díaz J, Rubio-Camacho EA, Chávez-Durán AA, Zavala-Aguirre JL, Cerano-Paredes J, Martínez-Sifuentes AR (2018a) Respuesta climática de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schetol en el Bosque La Primavera, Jalisco. Madera y Bosques 24(1): e2411464. DOI: 10.21829/myb.2018.2411464.
- Villanueva-Díaz J, González-Elizondo M, Cerano-Paredes J, Estrada AJ, Martínez SAR, Rosales MS (2018b) Red dendrocronológica de pino triste (*Pinus lumholtzii* B.L Rob & Fernald) en la Sierra Madre Occidental para reconstrucción de lluvia estacional. Madera y Bosques 24(2): e2421530. DOI: 10.21829/myb.2018.2421530.
- Wigley T, Briffa KR, Jones PD (1984) On the average value of correlated time series with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Journal of Climate and Applied Meteorology Climatic 23: 201-213.