

SERIE DENDROCRONOLÓGICA DE *Picea mexicana* Martínez EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL

[DENDROCHRONOLOGICAL SERIES OF *Picea mexicana* Martínez IN THE SIERRA MADRE ORIENTAL]

Óscar Alfredo Díaz–Carrillo¹, Christian Anton Wehenkel², José Villanueva-Díaz^{3§}, José Ciro Hernández-Díaz²

¹Maestría Institucional de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Constitución 404 sur, zona centro, Durango Dgo., México. C.P. 34000. ²Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, Constitución 404 sur, zona centro, Durango Dgo., México. C.P. 34000. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua–Suelo–Planta–Atmósfera. Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento Gómez Palacio, Dgo. A.P. 41. C.P. 35150. Lerdo, Dgo.

§Autor para correspondencia: (villanueva.jose@inifap.gob.mx).

RESUMEN

El género *Picea* comprende tres especies en México: *P. chihuahuana*, *P. mexicana* y *P. martinezii* las cuales están catalogadas como especies en peligro dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001. En la Sierra Madre Oriental se distribuyen dos poblaciones de *P. mexicana*, de las cuales en el mes de febrero de 2021 mediante técnicas dendrocronológicas se desarrollaron series de tiempo de anillo total, madera temprana y tardía, con el objetivo de analizar la variabilidad climática interanual y multianual y determinar su impacto en los crecimientos radiales de la especie. La serie de crecimiento de anillo total se extiende de 1,782 a 2,020 (238 años), donde períodos de escaso crecimiento coinciden con las sequías registradas a mediados de la década de 1950 y principios de 1960. El periodo comprendido de 1980 a 2014 muestra alta variabilidad interanual, con eventos de sequía extrema en los años de 1989, 1998 y 2011, precedidos de años muy lluviosos como los ocurridos en 1988, 1997 y 2010, lo que favoreció la incidencia de incendios ocurridos en esos años en el noreste de México. Los incrementos radiales en *Picea mexicana* sugieren que, contrario a lo esperado por efectos del calentamiento global, estos fueron superiores al promedio, lo que indica la factibilidad de que los incrementos observados de temperatura han ejercido hasta ahora un efecto positivo en el desarrollo de *P. mexicana* en la región.

Palabras clave: Ancho de anillo, sequía, serie dendrocronológica, variabilidad climática.

ABSTRACT

The *Picea* genus comprises three species in Mexico: *P. chihuahuana*, *P. mexicana* and *P. martinezii*, which are listed as endangered species in NOM-059-SEMARNAT-2001. Two populations of *P. mexicana* are distributed in the Sierra Madre Oriental. Using dendrochronological techniques, total ring, earlywood and latewood time series were developed to analyze interannual and multiannual climatic variability and determine its impact on the radial growth of the species. The total ring growth series extends from 1,782 to 2,020 (238 years), where periods of low growth coincide with the droughts recorded in the mid-1950s and early 1960s. The period from 1980 to 2014 shows high interannual variability, with extreme drought events in 1989, 1998 and 2011, preceded by very rainy years such as 1988, 1997 and 2010, which favored the incidence of fires in those years in northeastern Mexico. The radial increases in *P. mexicana* suggest that, contrary to what was expected due to the effects of global warming, these were higher than average, which indicates the feasibility that the observed temperature increases have so far exerted a positive effect on the development of *P. mexicana* in the region.

Recibido: 19-julio-2022

Aceptado: 23-septiembre-2022

Index words: Ring width, drought, dendrochronological series, climatic variability.

INTRODUCCIÓN

El clima se encuentra en un constante cambio, históricamente existen fenómenos que oscilan entre el frío y el calor modificando las dinámicas poblacionales de las especies que conocemos, sean vegetales o animales (Rathgeber *et al.*, 2019). Los ecosistemas vegetales funcionan dependiendo de distintos procesos fisicoquímicos que se dan entre el clima y el suelo (Lefèvre *et al.*, 2013) y, de cómo la vegetación se va adaptando a los distintos cambios atmosféricos y edáficos que se generan por las variaciones de temperatura y precipitación que se dan en el transcurso del tiempo. A su vez, la calidad del bosque depende de la intensidad y la velocidad de la evolución de las poblaciones vegetales en respuesta al cambio climático (Rathgeber *et al.*, 2019).

Los registros climáticos disponibles para analizar las variaciones climáticas son muy reducidos, ya que sólo se tiene información de los últimos 70 años y se carece de registros más antiguos, que permitan analizar y conocer la tendencia de la precipitación en un periodo de tiempo prolongado. Los anillos de crecimiento del árbol, que incluye madera temprana y tardía, son una herramienta para el análisis de las condiciones climáticas en períodos en los que no existen registros de precipitación (Fritts, 1976; Villanueva-Díaz, 2011).

A partir de series creadas con los índices de ancho de anillo de los árboles analizados en las zonas de interés, se pueden hacer inferencias en torno a las condiciones climáticas que había en el pasado (Villanueva-Díaz, 2014). Los anillos de crecimiento pueden guardar información valiosa para determinar qué efectos climatológicos o que perturbaciones hubo en las zonas de estudio (Villanueva-Díaz, 2019) con ello, podemos generar información que tenga repercusiones ecológicas y sociales en torno a un sitio o especie de interés y ayudar con la conservación y restauración de los bosques nacionales.

Sin embargo, para las poblaciones de la especie *Picea chihuahuana* (Wehenkel *et al.*, 2015) han encontrado evidencia sobre la reducción de sus poblaciones y, además, existen estudios que predicen que las especies de *P. mexicana* y *P. martinezii* van a reducir su distribución con un incremento en la temperatura (Mendoza-Maya *et al.*, 2015) a partir de un clima más cálido y seco, lo que ha ocasionado que el género se encuentre en la Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059-SEMARNAT-2010) (SEMARNAT, 2010).

Este trabajo busca generar información y aportaciones relevantes para determinar las condiciones que favorecen el crecimiento y desarrollo de la *Picea mexicana*, así como modelos predictivos de extinción como punto de partida para generar modelos de expansión de estas poblaciones a futuro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El clima de la región es semicálido subhúmedo con lluvias en verano. De acuerdo con los datos meteorológicos de la estación Saltillo, el promedio anual de precipitación es 578, de los cuales el 65% corresponden a la lluvia de verano (junio–septiembre). Por otro lado, la lluvia de invierno primavera (enero–mayo) representa el 18% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Información de la estación meteorológica de Saltillo usada para relacionarla con los índices de El Coahuilón y La Marta.

Estación meteorológica	Coordenadas	Elevación (msnm)	Periodo (años)	Sitios de comparación	pp. (mm)	T max. (°C)	T min. (°C)
Saltillo	25.43, 101.00	1,700	1940 a 2013	ECO, LMA	578.05	27.7	11.8

Se realizó una colecta en sitios previamente analizados donde hubiera poblaciones de *P. mexicana* en sitios con una pendiente pronunciada, diámetros gruesos y que no presentara daños antropogénicos visibles. Con ayuda de un taladro de Pressler de 0.5 mm de diámetro externo se procedió a perforar cada uno de los individuos para tomar las muestras, de cada individuo se obtuvieron dos a tres núcleos de crecimiento, dependiendo de qué tan comprimidos se pudieran observar los anillos al momento de la extracción (a mayor compresión de los anillos se tomaban más muestras y con ello poder contrastar la información), para el estudio se decidió tomar entre 25 a 30 árboles por sitio para tener una cantidad de muestras estable cercana a 50 (Figura 1).

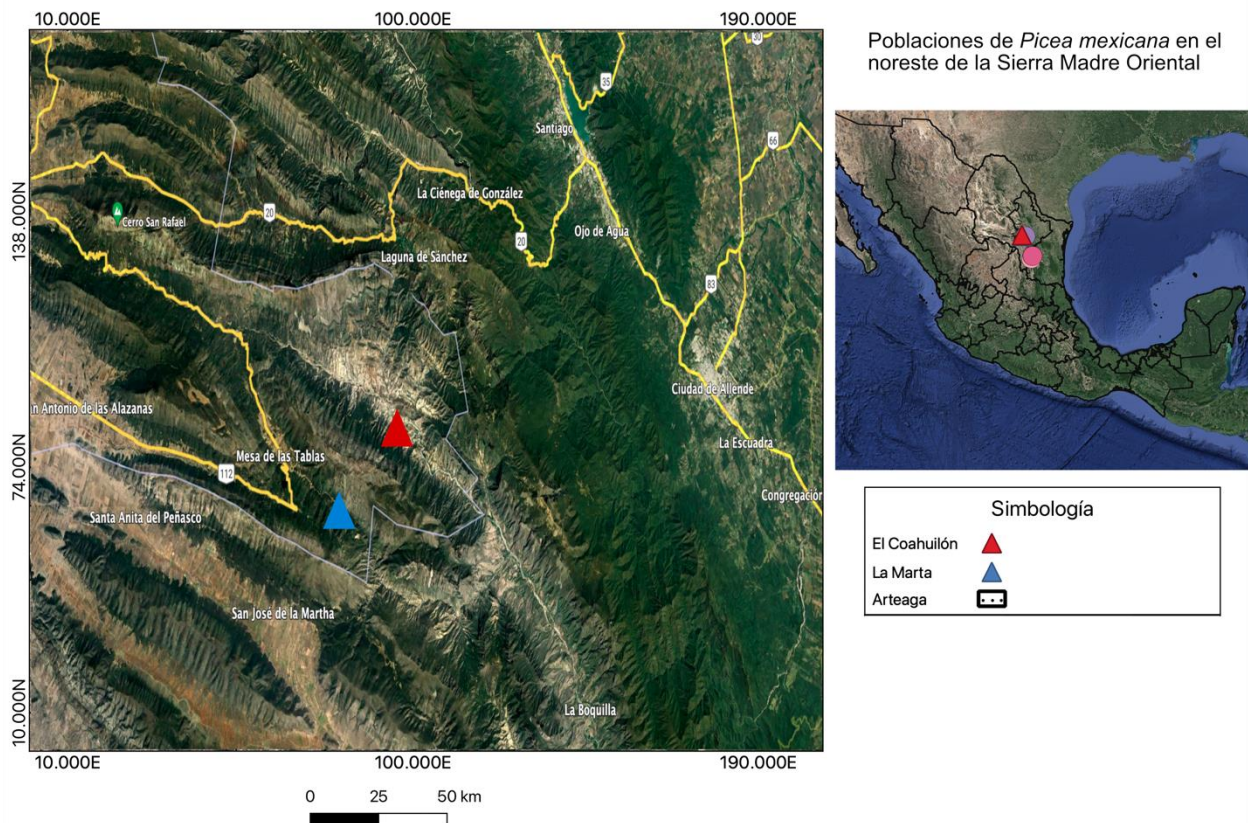


Figura 1. Poblaciones de *Picea mexicana* en el noreste de México.

Todos los núcleos fueron montados en molduras acanaladas con pegamento blanco y se dejaron secar al aire libre y luego fueron pulidos con lijas de diferente granulometría (de 100 hasta 1,200) para hacer los anillos claramente visibles.

Posteriormente, se le asignó el año de formación a cada anillo y se comprobó con el método de datación cruzada, comparando patrones de crecimiento visualmente (Stokes y Smiley, 1968). Consecuentemente se midieron los anchos de anillo (anillo total, madera temprana y tardía) con una precisión de 0.001 mm usando el sistema de medición VELMEX de fase deslizante (Velmex, Inc., Bloomfield, NY, USA), que es adaptable a una computadora donde se guardan las bases de datos de manera directa (Robinson y Evans, 1980). La verificación del fechado de los anillos de crecimiento se hizo mediante el programa COFECHA, el cual realizó análisis de correlación de Pearson en segmentos de 50 años, con traslapes de 25 años (Cook and Holmes, 1984).

Las variables biológicas no relacionadas con el clima se removieron con la librería dplR del lenguaje de programación R, con lo cual se obtuvieron series de índice de ancho de anillo (Villanueva-Díaz *et al.*,

2014) con media de 1.0 y varianza homogénea (Cook, 1987; Villanueva-Díaz *et al.*, 2014). A los valores se les ajustó una línea suavizada de tendencia (spline) a nivel década, resaltando eventos de baja frecuencia (Cook y Peters, 1981). La función utilizada para la estandarización es la exponencial negativa mencionada por Fritts (1976).

$$Qt = ae^{-2bt} + k$$

Donde:

Qt = Valor promedio proyectado (amplitud de anillo proyectada al tiempo t). a, b y k = Coeficiente de regresión estimados para cada especie.

t = Tiempo.

e = Base de logaritmos naturales.

Posteriormente, genera para cada serie individual, un índice de crecimiento para cada año al dividir el valor real del ancho del anillo, entre el valor correspondiente de la curva o el crecimiento esperado por el modelo exponencial negativo.

$$I = \frac{W}{Y}$$

Donde:

I = Índice de anchura de anillo o índice de crecimiento estandarizado.

W = Anchura medida (incremento anual).

Y = Anchura proyectada.

RESULTADOS

Se obtuvieron dos cronologías de ancho de anillo total (RWI) de las poblaciones de El Coahuilón (ECO) y La Marta (LMA), los datos estadísticos de los sitios estudiados se muestran a continuación (Cuadro 2; Figuras 2 y 3).

Cuadro 2. Datos estadísticos descriptivos de los sitios de estudio de ECO y LMA.

Sitio	Código de Sitio	Tipo de cronología	Lat (N) /Long(E)	Elev. (msnm)	Núcleos/ Árboles	Orientación	Extensión de la serie	MSL	AC1	MS	EPS
El Coahuilón	ECO	RWL, LWR, EWR	25.247/-100.364	3,528	49/23	NW	1782 - 2020	106.8	0.61	0.25	0.89
La Marta	LMA	RWL, LWR, EWR	25.3/-100.3	3,494	53/25	NW	1844 - 2020	108.4	0.76	0.31	0.96

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las series dendrocronológicas coinciden con los reportados previamente para otras especies de coníferas en la región, lo que respalda que la variable más importante para el crecimiento de este género es la precipitación invernal enero-mayo; mientras que la temperatura máxima ejerce una relación negativa con el crecimiento como ha sido constatado para *Pinus cembroides* y *Pseudotsuga menziesii* en el noreste de México (Constante-García *et al.*, 2009; Cerano-Paredes *et al.*, 2011; 2013; Villanueva-Díaz *et al.*, 2003). Esta información corrobora la respuesta climática de las especies de *Picea* en esta región que muestran una respuesta climática similar a la reportada para otras especies de coníferas en la región.

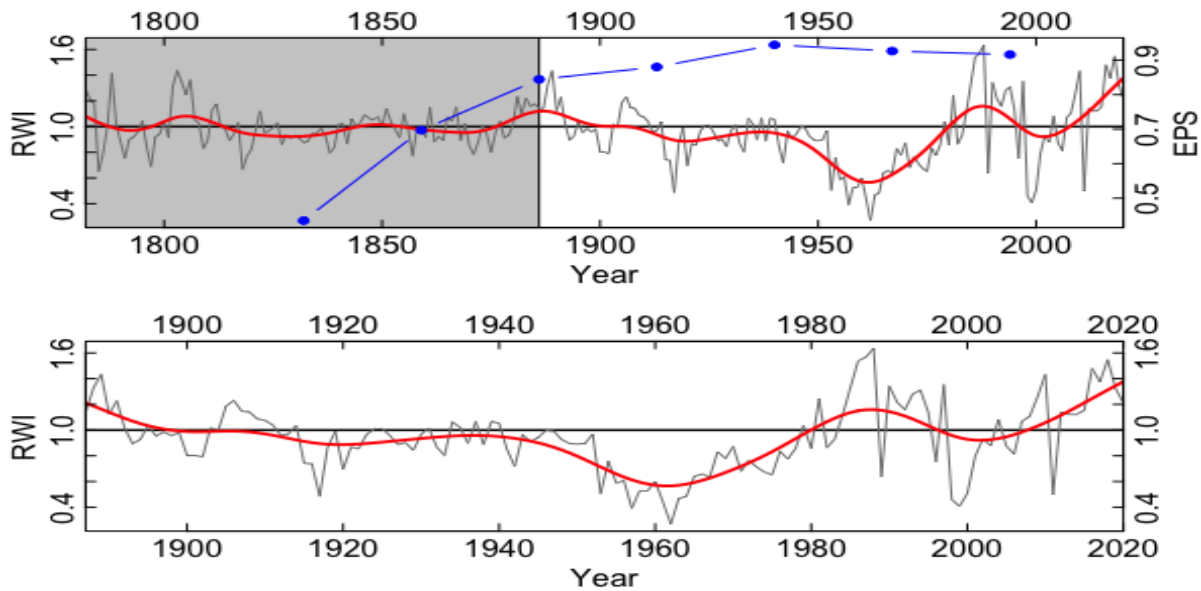


Figura. 2. Cronología residual de ECO, la imagen superior muestra la extensión total de la cronología de 1,782 a 2,020 (238 años), la línea azul no continua indica el nivel de $EPS > 0.85$, la imagen inferior muestra el periodo mejor replicado.

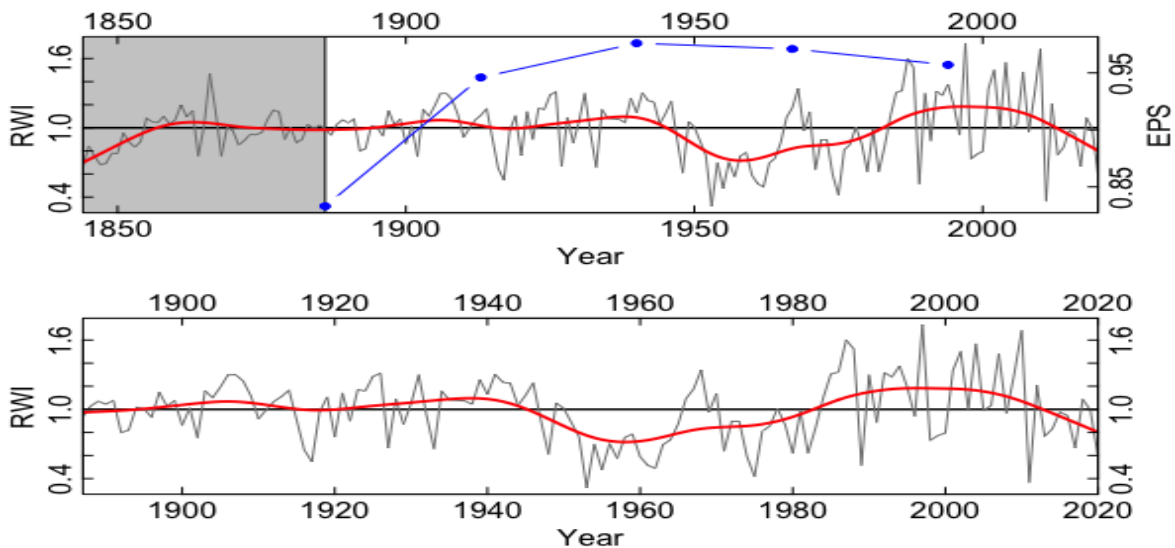


Figura. 3. Cronología residual de LMA, la imagen superior muestra la extensión total de la cronología de 1,844 a 2,020 (176 años), la línea azul no continua indica el nivel de $EPS > 0.85$, la imagen inferior muestra el periodo mejor replicado.

El periodo comprendido de 1980 a 2014 muestra alta variabilidad interanual, con eventos de sequía extrema en los años de 1989, 1998 y 2011, precedidos de años muy lluviosos como los ocurridos en 1988, 1997 y 2010, lo que favoreció la incidencia de incendios ocurridos en esos años en el noreste de México (Cerano-Paredes, 2011; Villanueva-Díaz, 2014). Las dos cronologías muestran periodos de menor

crecimiento a finales de la década de 1950 y principios de 1960 lo cual coincide con sequías registradas para el norte de México (Cerano-Paredes, 2011); sin embargo, en la cronología de LMA muestra incrementos atípicos a finales de 1960 y principios de 1970.

Los incrementos radiales en *P. mexicana* sugieren que, contrario a lo esperado por efectos del calentamiento global, estos fueron superiores al promedio, lo que indica la factibilidad de que los incrementos observados de temperatura han ejercido hasta ahora un efecto positivo en el desarrollo de *P. mexicana* en la región (Villanueva-Díaz, 2014; Rathgeber *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

Las reconstrucciones señalan alta variabilidad con la presencia de periodos secos y húmedos extraordinarios, donde los extremos secos observados para las series de ECO y LMA, las cuales fueron de 1807 a 1844 y de 1945 a 1965 y los más húmedos de 1984 a 1994 y de 2001 a 2010.

La especie de *P. mexicana* tiene gran potencial dendrocronológico para realizar estudios climáticos y además de ser una excelente especie para reconstruir el clima abarcando un periodo de 1782 a 2020, siendo de gran importancia para la extensión de datos climáticos que no se encuentran en sistemas convencionales con información de precipitación y temperatura. Con base a los resultados obtenidos se puede inferir cual ha sido el comportamiento del clima en la región norte de la Sierra Madre Oriental.

Con base en ello se propone seguir realizando estudios para especies sensibles que se encuentren en estado de protección y dentro de la NOM 059 con el fin de conservar los estados naturales del hábitat de estos individuos; además, con el fin de conservar la especie se recomienda empezar a realizar producción de planta y reforestaciones a cargo de entidades de gobierno y empresas privadas con el fin de darle mayor importancia a la conservación de los bosques en México y que dichas poblaciones queden al resguardo de las localidades cercanas, formando así comunidades más comprometidas con el medio ambiente y generando una opción de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT-CONAFOR por el fondo S0002 FONSEC-CONAFOR dentro de la Convocatoria S0002-2017, y al INIFAP CENID-RASPA por el apoyo en la orientación y el equipo utilizado para la investigación.

LITERATURA CITADA

- Cerano-Paredes, J., J. Villanueva D., R.D. Valdéz C., E.H. Cornejo O., I. Sánchez C. y V. Constante G. 2011. Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(4): 32-46.
- Cerano-Paredes, J., J. Méndez-González, A. Amaro-Sánchez, J. Villanueva-Díaz, R. Cervantes-Martínez y E. Rubio-Camacho. 2013. Reconstrucción de precipitación invierno-primavera con anillos anuales de *Pinus douglasiana* en la Reserva de la Biósfera de Manantlán, Jalisco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Doi:10.45154/rrchsca.2013.02.00. pp. 413-423.
- Constante-García, V., J. Villanueva D., J. Cerano P., E. Cornejo O. y S. Valencia M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Revista de Ciencia Forestal en México* 34(106): 17-39.
- Cook, E.R. y K. Peters. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin*, 41: 45-53.
- Cook, E.R. y R.H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. 15 p.
- Fritts, H.C. 1976. *Tree-rings and climate*. Academic Press, London-New York-San Francisco.

- Lefèvre, F; T. Boivin, A. Bontemps, F. Courbet, H. Davi, M. Durand-Gillamnn, B. Fady, J. Gauzere, C. Gidoín, M.J. Karam, H. Lagüé, S. Oddou-Muratorio y C. Pichot. 2013. Considering evolutionary processes in adaptative forestry. *Annals of Forest Science* 71(7): 723-739. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0272-1>.
- Mendoza-Maya, E., J. Espino-Espino, C.Z. Quiñones-Pérez, C. Flores-López, C. Wehenkel, J.J. Vargas-Hernández y C. Sáenz-Romero. 2015. Propuesta de conservación de tres especies mexicanas de *Picea* en peligro de extinción. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(3) 235-247.
- Rathgeber, C.B.K.; P. Fonti, V.V. Shishov and P. Rozenberg. 2019. Wood formation and tree adaptation to climate. *Annals of Forest Science* 76(4):109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0902-3>.
- Robinson, W.J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin* 40, 59-64.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. pp. 1-77.
- Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1968. An introduction to the tree-ring dating. The University of Arizona Press. USA. 73
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano P., D.W. Stahle, M.D. Therrell y M.K. Cleaveland. 2003. Cronologías de anillos de árboles del norte de México y su potencial hidroclimático. XII Congreso Nacional de Irrigación (ANEI). Zacatecas, Zac. Mex. 13 al 15 de Agosto.
- Villanueva Díaz, J., J. Cerano P., V. Constante G., D.W. Stahle, J. Estrada A. y M.M. Tostado P. 2011. Variabilidad hidroclimática histórica del norte de México inferida con anillos de crecimiento de Douglas-fir. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Publicación Especial No. 2*: 221-234.
- Villanueva-Díaz, J; J. Cerano-Paredes, P. Fulé, S. Lorenzo-Vázquez y L. Yocom. 2014. Cuatro siglos de variabilidad hidroclimática en el noroeste de Chihuahua, México, reconstruida con anillos de árboles. *Investigaciones geográficas, boletín núm. 87*. Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 141-153. DOI/10.14350/rig.44485.
- Villanueva-Díaz, J; A.R. Martínez-Sifuentes, y J. Estrada-Ávalos. 2019. Runoff reconstruction and climatic influence with tree rings, in the Mayo river basin, Sonora, México. *iForest* 13: 98-106 DOI: 10.3832/ifor3190-013.
- Wehenkel, C., J.M. Brazão-Protázio, A. Carrillo-Parra, J.H. Martínez-Guerrero y F. Crecente-Campo. 2015. Spatial Distribution Patterns in the Very Rare and Species-Rich *Picea chihuahuana* Tree Community (Mexico). *PLoS ONE* 10(10): e0140442. doi:10.1371/journal.pone.0140442.