

Efecto de la temperatura y precipitación sobre el crecimiento del *Pinus pseudostrobus* Lindl

Effect of temperature and precipitation on the growth OF *Pinus pseudostrobus* Lindl

Vicenta Constante-García^{1*}, Julián Cerano-Paredes¹, Erika Nava-Reyna¹ y Jesús Arcadio Muñoz Villalobos¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Canal Sacramento Km. 6.5, Gómez Palacio, Durango.

*Autor de correspondencia: constante.garcia@inifap.gob.mx

RESUMEN

Las áreas boscosas resultan altamente vulnerables al aumento de las temperaturas. Para un entendimiento de la respuesta de las especies arbóreas a los cambios ambientales, ante un aumento en las temperaturas mundiales y una disminución de la precipitación, el objetivo del presente trabajo consistió en analizar la influencia de las temperaturas máximas y la precipitación en el crecimiento total de la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Pino). Los núcleos de crecimiento del Pino fueron obtenidos en un bosque mixto al noreste de México. Se generó una cronología en base a 40 series de tiempo procedente de 19 árboles, los crecimientos fueron fechados justo al año exacto de su formación ($r = 0.70$; $p < 0.01$). A partir de estos se generó una cronología de más de un siglo (1870-2013). Posteriormente se realizó un análisis de función de respuesta entre la cronología y los registros regionales de la temperatura máxima y la precipitación (1960-2010) en el año previo y el año actual de crecimiento. El análisis de función de respuesta revela que el crecimiento anual del *P. pseudostrobus* no es favorecido por las temperaturas máxima de invierno primavera; en tanto que la precipitación mostró un efecto favorecedor practicante en el mismo periodo. Sin embargo, las temperaturas máximas no presentan ningún mes significativo, en tanto que en la precipitación el mes de noviembre del año anterior, y los meses de enero, mayo y julio del año actual al crecimiento resultaron significativos ($p < 0.5$) a favor del crecimiento del *P. pseudostrobus*.

Palabras clave: Dendrocronología, Función de respuesta y Pino.

ABSTRACT

The forested areas are highly vulnerable to increasing temperatures. For an understanding of the response of tree species to environmental changes, in the context from an increase in global temperatures and a decrease in precipitation, the objective of the study was to analyze the effect of maximum temperatures and precipitation on the total growth of the *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Pine). The growth cores of pine were obtained in a mixed forest of northeastern México. A chronology was generated based on 40 time series from 19 trees, the growths were dated to the exact year of their formation ($r = 0.70$; $p < 0.01$). From them we generated a chronology of more than a century (1870-2013). A response function analysis was then carried out between the chronology and regional records of maximum temperature and precipitation (1960-2010) in previous The response function analysis reveals that the annual growth of *P. pseudostrobus* is not favored by winter-spring maximum temperatures; whereas precipitation showed a practicing favoring effect in the same period. However, the maximum temperatures did not present any significant month, while in precipitation the month of November of the previous year, and the months of February, May and July of the current year were significant ($p < 0.5$) in favor of the growth of *P. pseudostrobus*.

Keywords: Dendrochronology, Response function and Pine.



INTRODUCCIÓN

En México, el principal genero *Pinus* es el de mayor importancia económica con una producción de 6.4 millones de m³r (70.9% de la producción nacional maderable), las comunes tropicales con 1.2 millones de m³r (13.4%) y el encino con 0.9 millones de m³r (9.8%) (SEMARNAT., 2020).

En México el *Pinus pseudostrobus* Lindl. es una especie de importancia económica, ya que presenta un crecimiento rápido en sus etapas tempranas, generalmente exhibe fustes largos y rectos, del cual se obtiene madera de buena calidad, es una especie usada para fabricar triplay, chapa, pulpa, papel, celulosa y los sobrantes son usados para la fabricación de rejas para empaque, es buen productor de resina, por lo que se utiliza en la industria, específicamente para la fabricación de brea y aguarrás, aunque también se utiliza en el ramo farmacéutico (Eguiluz-Piedra, 1978; Muñoz-Flores *et al.*, 2011). Cualidades que lo hacen ser una de las especies de mayor explotación en México (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005). Se distribuye ampliamente desde el sur de Guatemala, Honduras y México. Específicamente para el territorio mexicano se distribuye en la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre de Chiapas y parte de la Sierra Madre Occidental (Perry, 1991). Está adaptado a climas desde el templado-frío a templado-cálido, con elevaciones que van de 1900 a 3000 msnm (Farjon y Styles, 1997); se desarrolla bien en suelos volcánicos profundos, con precipitación anual cercana a 1500 mm y temperatura anual de 9 a 40 °C, con presencia de heladas frecuentes en diciembre y enero (Perry, 1991). No obstante, a pesar de su importancia económica y gran distribución sobre áreas boscosas altamente vulnerables al aumento de temperaturas (Reichstein *et al.*, 2013), existe poco entendimiento de la respuesta de estas especies a la influencia de climática sobre el crecimiento, en este sentido, se han realizado escenarios climáticos que sugieren un aumento en las temperaturas y una menor precipitación, ocasionando la aparición de enfermedades que afectan el arbolado (Hernández-Pérez *et al.*, 2017). Así, el clima se reafirma como el principal detonante de la muerte de estas masas arbóreas. De acuerdo a la literatura, existen dos tipos de mecanismos que predisponen la muerte del arbolado por el clima: la vulnerabilidad a la cavitación

(Pockman y Sperry, 2000) o un déficit en el balance de carbono debido a una reducción severa del área foliar (White, 1989). Esto deja totalmente débil al arbolado, el cual, es finalmente rematado por plagas y enfermedades (Almaraz-Sánchez *et al.*, 2013; Alvarado-Rosales *et al.*, 2007; Hernández-Pérez *et al.*, 2017).

Al respecto, se tiene como antecedente de que el *P. pseudostrobus* es una especie sensible a la variación ambiental y se puede ver reflejado en su gran distribución a lo largo del país y su respuesta a factores ambientales en cuanto a su morfología (Márquez-García y Mendizábal-Hernández, 2004). No obstante, ha sido poco utilizado en estudios dendrocronológicos (Marlès Magre *et al.*, 2015; Naylor, 1971). Por lo que, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la respuesta al crecimiento respecto a dos variables (temperatura y precipitación) cada vez más relevantes y de gran impacto en los bosques templados.

MATERIALES Y METODOS

En una parcela comercial localizada en Morelos, Zac., se colectaron al azar plantas de chile para secado tipo mirasol que mostraban el síntoma típico de infección por fitoplasma, la presencia de yema grande, así como clorosis y rizado de follaje asociados a la infección por ese patógeno. Adicionalmente, en la misma parcela se colectaron plantas asintomáticas para utilizarlas como testigo. Para cada planta enferma se registró la altura (cm) y severidad de la enfermedad (expresada como el porcentaje del follaje total de una planta con síntomas de la enfermedad); las plantas dañadas se separaron de acuerdo con una escala arbitraria de daño: leve (follaje dañado en menos del 49.9% de la planta); medio (follaje dañado entre 50 y 79.9% de la planta) y severo (follaje dañado en 80% o más de la planta). Posteriormente, para cada planta se pesaron por separado hojas, ramas, tallo, estructuras reproductivas (botones, flores y frutos) (ER) y flores modificadas (YG). Cada estrato se secó al medio ambiente por separado y sus valores se registraron como porcentaje del peso total de cada planta.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente estudio se llevó a cabo en el centro-sureste del estado de Nuevo León, específicamente en los municipios de Galeana e Iturbide, en donde gran parte de las muestras fueron obtenidas, no obstante, la mayoría de las mismas fueron tomadas dentro del Campus Ecológico Iturbide perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) (Figura 1).

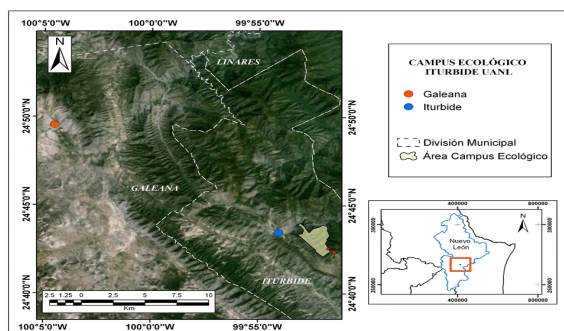


Figura 1. Ubicación de la extracción de muestras en el noreste del México

El área en general se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, subprovincia Gran Sierra Plegada; la geología del sitio de muestreo está compuesta por una serie de capas de roca sedimentaria surgida del lecho marino, durante el cretácico superior (Rzedowski, 1978). La edafología pertenece a un suelo de tipo Litosol caracterizado por suelos someros, bajo el cual subyace roca dura continua (FAO - Unesco., 1980). Estudios en específico ubican al Bosque Escuela dentro del tipo de vegetación denominado Bosque Mixto de *Quercus* y *Pinus* (Salinas, 2012). De acuerdo con el sistema climático de Köppen, modificado para la República Mexicana por García en (1973), el clima en esta región se caracteriza como semi-seco y semi-cálido. El área presenta lluvias de verano, así como un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 con inviernos frescos (Figura 2).

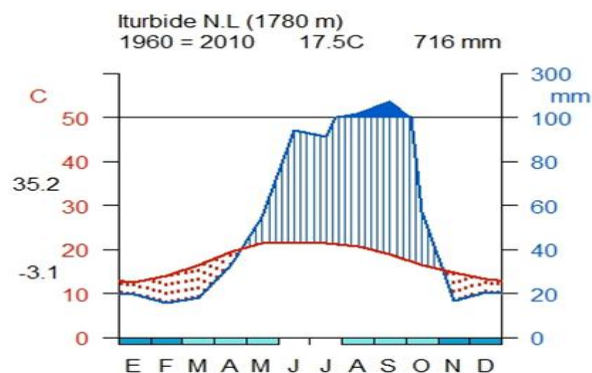


Figura 2. Diagrama climático de la estación meteorológica Iturbide Nuevo León para el período 1960-2010. Las áreas de color azul indican períodos de exceso de agua y período de déficit de agua se muestra con pequeños puntos rojos.

Los incrementos anuales fueron tomados a 1.30 m del fuste de *Pinus pseudostrobus*. La preparación del montado, pulido y lijado se llevó a cabo utilizando técnicas dendrocronológicas (Stokes y Smiley, 1996) ampliamente descritas por diversos autores (Villanueva-Díaz *et al.*, 2009; Natalini y Alejano, 2017). En el presente estudio se consideró exclusivamente el ancho del anillo total. La calidad del datado de cada anillo anual se verificó a través del programa COFECHA (Holmes, 1983). La medición de los incrementos anuales se llevó a cabo utilizando el programa Measure J2X para Windows. La eliminación de la varianza en cada muestra (serie de crecimiento anual) debido a factores biológicos y ecológicos fue eliminada ajustando diferentes tipos de curvas empleando el paquete dprIR perteneciente al programa R (Bunn, 2008). Posterior al ajuste de las series, éstas fueron promediadas para generar una cronología promedio o maestra, la cual fue utilizada para realizar un análisis de función de respuesta (Blasing *et al.*, 1983) entre la cronología y los registros regionales de la temperatura máxima (y la precipitación en un periodo de tiempo de 50 años) (1960-2010) en el año previo y el año actual de crecimiento.

Análisis estadístico

La cronología desarrollada para el análisis con temperatura y precipitación se realizó a partir de 19 series, procedente de 40 árboles con una extensión de más de un siglo (1870-2013). Para

ello, se efectuó un datado del año exacto de formación a través de un patrón de crecimiento en donde los mismos fueron datados justo al año de formación ($r = 0.70$; $p < 0.01$) (Figura 3).

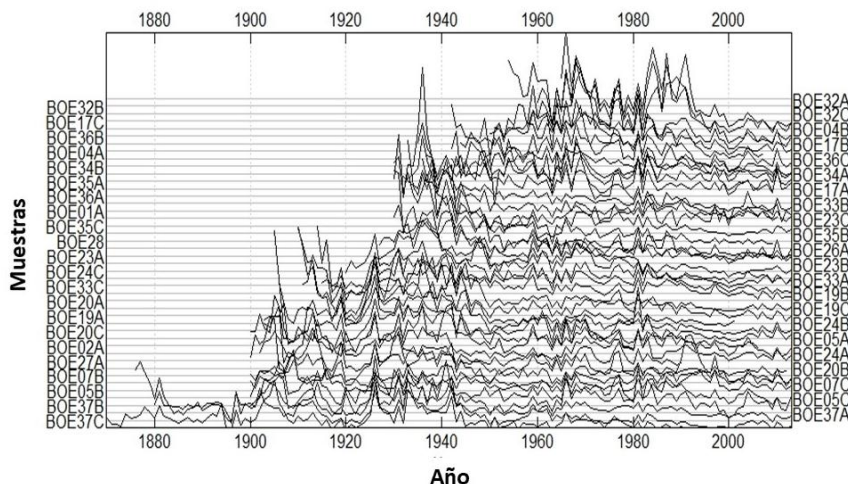


Figura 3. Series de tiempo involucradas en la cronología realizada para el noreste de México, Iturbide, Nuevo León.

La presente cronología cumplió con los criterios estadísticos dendrocronológicos básicos: sensibilidad media (0.41), relación señal/ruido (17.45) y señal expresada de la población (0.94) (Wigley *et al.*, 1984).

La disponibilidad de las variables precipitación y temperatura se llevó a cabo en lapso de tiempo de 1960 a 2010, permitiendo identificar el tiempo en el que las variables influyen sobre el crecimiento del *P. pseudostrobus*

Análisis climático entre el crecimiento del Pino, la temperatura máxima y la precipitación

La asociación entre los crecimientos de anillo total de *P. pseudostrobus* y la temperatura máxima indicaron una tendencia positiva sustancial en los meses de junio, septiembre del año anterior al crecimiento, así como los meses de octubre y diciembre del año actual al crecimiento. En forma contraria, los meses que presentaron una relación negativa notable fueron el mes de julio, octubre, noviembre y diciembre del año anterior al crecimiento y los meses de enero, febrero, marzo y abril pertenecientes al

año en el que ocurre el crecimiento. Es importante mencionar que el análisis de esta variable no presenta ningún mes significativo al crecimiento del Pino, sin embargo, es importante destacar un periodo definido con una tendencia negativa desde el mes de octubre del año anterior hasta abril del año corriente, indicando que las temperaturas máximas no favorecer el crecimiento de esta especie en un considerable periodo de tiempo. En cuanto a la variable precipitación los meses de mayor relevancia con una tendencia positiva al crecimiento son: agosto, noviembre y diciembre del año anterior al crecimiento, así como un largo periodo que comprende desde el mes enero hasta septiembre del año actual al crecimiento; en donde los meses significativos fueron noviembre del año anterior y enero, mayo y julio del año actual al crecimiento. De forma inversa, con una tendencia negativa se presenta el mes junio del año anterior, y los meses de octubre, noviembre y diciembre del año en el que ocurre crecimiento, en donde el mes de junio del año anterior y noviembre del crecimiento actual resultaron significativos (Figura 4).

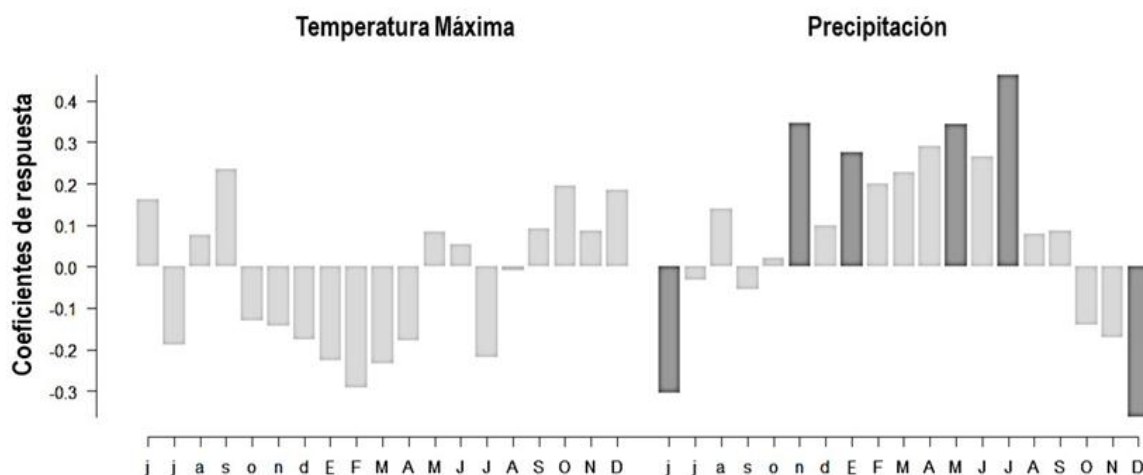


Figura 4. Relaciones entre el crecimiento anual total con la temperatura máxima y precipitación de la especie *Pinus pseudostrobus*. Las barras en color gris oscuro indican el nivel de significación ($p < 0.05$). Las letras mayúsculas indican el año en el que ocurre el crecimiento y las minúsculas el año previo.

El análisis muestra la influencia de las variables climáticas (Temperatura y Precipitación) del verano del año anterior sobre el crecimiento actual del *Pinus pseudostrobus*, además, se puede apreciar con claridad un periodo de tiempo definido para la temperatura máxima que no favorece al crecimiento, de la misma forma, la precipitación presenta un tiempo definido a favor del crecimiento.

La respuesta positiva del crecimiento arbóreo a la precipitación invierno primavera concuerda con diferentes trabajos realizados para el noreste de México (Villanueva-Díaz *et al.*, 2007; Cerano Paredes *et al.*, 2009; Villanueva-Díaz, *et al.*, 2009; Cerano-Pared *et al.*, 2011). En cuanto al efecto negativo de las temperaturas máximas sobre el crecimiento del *P. pseudostrobus*, antecedentes para el norte de México indican que los inviernos cálidos afectan negativamente el crecimiento radial de las especies del bosque templado (Pompa-García y Hadad, 2016). Este efecto también se confirma en estudios sobre especies pertenecientes a bosques secos de baja altitud (Carlón *et al.*, (2018), aunque también se ha reportado en especies establecidas en partes de considerable altitud,

en el centro y centro-oeste de México (Bernal-Salazar *et al.*, 2000; Huante *et al.*, 1991); finalmente, este mismo efecto negativo se reporta en varias especies de la Sierra Madre Occidental en el estado de Durango (Chávez-Gándara *et al.*, 2017).

Los resultados muestran un efecto negativo de las temperaturas máximas sobre el crecimiento en un periodo definido, en el cual, si bien es cierto ningún mes resultó ser significativo, se puede apreciar que éste ocurre justamente en el periodo de mayor sequía (Figura 2) y justo sobre el mismo periodo en donde la precipitación favorece el crecimiento, de manera que, de presentarse un evento seco asociado a temperaturas altas, esta especie podría verse afectada una vez agotadas de reservas del año anterior. Lo anterior cobra relevancia tomando en cuenta que en México se presentan sequías de fuerte impacto, cuya ocurrencia es debida a fenómenos climáticos de gran escala, los cuales, son cada vez más intensos y con mayor frecuencia (Seager *et al.*, 2009; Cerano-Paredes *et al.*, 2011; Torbenson *et al.*, 2019).

Por lo que, las temperaturas máximas, aunadas a sequías pueden llegar a ser determinantes para las masas arbóreas de *P. pseudostrobus*. Un ejemplo de ello se puede apreciar durante la ola de calor europea del 2003, la cual fue un factor principal que redujo los flujos de agua y carbono en los ecosistemas forestales templados (Granier *et al.*, 2007; Reichstein *et al.*, 2007). Dejando en claro que éstas pueden llegar a impactar de forma negativa a ecosistemas sensibles como los son los bosques templados (Reichstein *et al.*, 2013) de México.

CONCLUSIONES

Las temperaturas máximas muestran una tendencia negativa sobre el crecimiento anual del *Pinus pseudostrobus* Lindl, traducéndose esto como un efecto no favorable en el periodo bastante definido invierno-primavera, sin embargo, esta variable no presentó ningún mes estadísticamente significativo bajo esta tendencia. En cuanto a la variable precipitación, en forma contraria exhibe una tendencia positiva dentro de un periodo similar al de las temperaturas máximas (invierno-primavera), en donde el mes de noviembre del año anterior, y los meses de febrero, mayo y julio del año actual al crecimiento, resultaron significativamente favorablemente ($p < 0.5$) al crecimiento anual del Pino.

LITERATURA CITADA

- Briffa, K.R. 1995. Interpreting High-Resolution Proxy Climate Data — The Example of Dendroclimatology. *Analysis of Climate Variability*. doi: 10.1007/978-3-662-03167-4_5
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Fulé, Z.P., Arreola-Ávila, J.G., Sánchez, C.I., Valdez-Cepeda, D.R. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera Bosques*, 15(2), 27–44.
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, D., Cornejo-Oviedo, H.E., Sánchez-Cohen, I., Constante-García, V. 2011. Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4), 33–46.
- Cerano-Paredes, J., Méndez-Gonzales, J., Amaro-Sánchez, A., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Rubio-Camacho, E.A. 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*, XIX (3), 413–423. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.02.007>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Vázquez-Selem, L., Trucios-Caciano, R., Guerra-De la Cruz, V. 2014. Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancitaro, Michoacán. *Investigaciones Geográficas: Boletín Del Instituto de Geografía*, UNAM, 83, 41–54. <https://doi.org/10.14350/rig.35190>
- Chávez-Gándara, M.P., Cerano-Paredes, J., Nájera-Luna, J.A., Pereda-Breceda, V., Esquivel-Arriaga, G., Cervantes-Martínez, R., Corral-Rivas, S. 2017. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera con base en anillos de crecimiento de árboles para la región de San Dimas, Durango, México. *Bosque*, 38(2), 387–399. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000200016>
- Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Cornejo-Oviedo, E.H., Valencia-Manzo, S. 2009.

- Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. Y Reconstrucción de Precipitación, estacional para el sureste de Coahuila. *Revista Ciencia Forestal En México*, 34(106), 17–39.
- Cook, E.R. 1987. The Decomposition of Tree-Ring Series for Environmental Studies. *Tree-Ring Bulletin*, 47, 37–59.
- Fritts, H.C. 2001. *Tree Rings and Climate*. New Jersey: Blackburn Press, Caldwell
- Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57(2), 205–221.
- Gutiérrez-Merino, E. 2009. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. In “*Arqueología nautica mediterrània*”. X. Nieto i M.A. Cau (eds.). Generalitat de Catalunya. Pp 309-322.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43(1), 69–78.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.01.004>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2009. Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC). Software. Jiutepec, Mor. México. s/p.
- Kozlowski, T.T., Pallardy, S.G. 1997. *Growth control in woody plants*. San Diego: Academic Press
- Leverenz, J.W. 1981. Photosynthesis and transpiration in large forest-grown Douglas-fir: diurnal variation. *Canadian Journal of Botany*, 59(3), 349–356.
- López-Hernández, M.I., Cerano-Paredes, J., Valencia-Manzo, S., Cornejo-Oviedo, E., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, F. 2018. Respuesta del crecimiento de *Pinus oocarpa* a variables climáticas en Chiapas, México. *Biología Tropical*, 66(4), 1580-1596.
- Perry, P.J. 1991. The pines of México and Central America. 1a ed. Timber Press. Oregon, EUA. 231 p.
- Stat Soft Inc. 2000. STATISTICA Software, Kernel Release version 5.5 A. 1984-2000. Tulsa, Oklahoma, USA.
- Stokes, M.A., Smiley, T.L. 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago, IL. USA (73 p.).
- Velázquez, M.A., Ángeles-Pérez, G., Llanderal, O.T., Román, A.J., Reyes, H.V. 2004. Monografía de *Pinus patula*. 1ª ed. Conafor-Semarnat-Colpos. México. 124 p.
- Villanueva-Díaz, J., Fulé, P.Z., Cerano-Paredes, J., Estrada-Ávalos, J., Sánchez-Cohen, I. 2009. Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Ciencia Forestal En México*, 34(106), 39–71.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Rosales-Mata, S., Arrocena-López, J.C., Stahle, D.W., Ruiz-Corral, J.A., Martínez-Sifuentes, A.R. 2014. Variabilidad hidroclimática reconstruida con anillos de árboles para la cuenca alta del Río Mezquital, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 1897–1912.
- 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 Tlálloc, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(2), 175–185.
- 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.
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411464>

VoorTech. 2007. Measure J2X software. The tree ring measuring program. Retrieved from www.voortech.com/projectj2x