

Señal climática de la pdo sobre los crecimientos anuales de *pinus pseudostrobus* lindl

Climate signal of pdo on the annual growths of *pinus pseudostrobus* lindl.

Vicenta Constante-García^{1*}, José Villanueva-Díaz¹ y Erika Nava-Reyna¹

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

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

RESUMEN

El presente trabajo tiene el objetivo de generar conocimiento sobre la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) uno de los fenómenos atmosféricos de menor entendimiento en comparación al fenómeno de El Niño. El estudio se llevó a cabo en el centro-sureste del estado de Nuevo León, específicamente en los municipios de Galena e Iturbide Nuevo León. Los incrementos anuales fueron tomados a 1.30 m del fuste de *Pinus pseudostrobus* Lind. La preparación de las muestras se llevó a cabo utilizando técnicas dendrocronológicas empleando el ancho del anillo. Posteriormente, se realizó una cronología promedio de los crecimientos, a partir de la misma se efectuó un análisis espectral sobre la cronología promedio utilizando la wavelet madre Morlet para obtener las frecuencias significativas en el periodo de 1970 a 2013. En el mismo periodo se generó un análisis espectral con base a gráficos de coherencia de ondeleta al relacionar el índice de ancho de anillo y la PDO, para conseguir los periodos de conexión entre los crecimientos y la señal de la PDO. La cronología muestra resultados estadísticos aceptables en el periodo de 1970 a 2013, en donde el análisis espectral de coherencia de ondeleta indica una influencia de la PDO sobre el crecimiento de *P. pseudostrobus* en fase positiva. Los os periodos significativos ($p < 0.05$) fueron: 1920-1930, 1954-1968, 1940 a 1955, 1978-1984, con una periodicidad de 7-13, 8-13, 20-30, 2-4 años respectivamente. Los cuales fueron de gran impacto al asociarse a eventos del fenómeno El Niño en el territorio mexicano.

Palabras clave: Anillos de árbol, noreste, clima

ABSTRACT

The present study has the purpose of generating knowledge about the Pacific Decadal Oscillation (PDO), one of the least understood atmospheric phenomena compared to the El Niño phenomenon. The study was performed in the central-southeastern part of the state of Nuevo Leon, specifically in the municipalities of Galena and Iturbide Nuevo Leon. The annual increments were collected at 1.30 m from the stem of *Pinus pseudostrobus* Lind. Sample preparation was carried out using dendrochronological techniques using the ring width. Subsequently, an average chronology of the growths was made, from which a spectral analysis was performed on the average chronology using the Morlet mother wavelet to obtain the significant frequencies in the period from 1970 to 2013. In the same period a spectral analysis was generated based on ondelete coherence plots by relating the ring width index and the PDO, to obtain the connection periods between the growths and the PDO signal. The chronology shows acceptable statistical results in the period from 1970 to 2013, where the ondelete coherence spectral analysis indicates an influence of the PDO on the growth of *P. pseudostrobus* in positive phase. The significant periods ($p < 0.05$) were: 1920-1930, 1954-1968, 1940 to 1955, 1978-1984, with a periodicity of 7-13, 8-13, 20-30, 2-4 years respectively. These were of high impact because they were associated with El Niño events in the Mexican region.



Keywords: Tree rings , northeast, climate.

INTRODUCCIÓN

México presta una alta variabilidad climática y en consecuencia una gran complejidad orográfica en donde diversos fenómenos atmosféricos modelan el clima de México, uno de estos es el Monzón, el cual aunado a la Zona Intertropical de Convergencia determinan un régimen de lluvias de verano y en donde los fenómenos atmosféricos que más influyen sobre este régimen son El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), impactan de igual manera a diversas regiones del país (Magana et al., 2003; Pavia et al., 2006). Definir la influencia de estos fenómenos en una país con una y orografía accidentada se vuelve de gran relevancia; más aún, con un cambio climático en puerta (IPCC, 2018). Bajo este contexto los estimativos o datos proxy como los anillos de árboles ofrecen una posible solución a este problema. Estos estimativos tienen una resolución anual fija y pueden producir series de tiempo potencialmente poderosa para analizar las tendencias a largo plazo a través de la disposiciones y detección de estas señales (Vetter y Botosso 1989; Cook 1992; Worbes, 2002). El análisis a largo plazo permite analizar el comportamiento de fenómenos atmosféricos y su evaluación a través del tiempo. Estos estudios denominados como dendrocronológicos indican que precipitación invernal en el norte de México tiene una influencia significativa por el fenómeno del Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (Stahle et al., 1998, Cleaveland et al., 2003). En tanto que un análisis de la precipitación para México con la PDO indica una asociación del invierno boreal (noviembre abril) coincide con la fase cálida positiva, así como escenarios cálidos durante el verano boreal (Mayo Octubre) extendiéndose es te efecto en el noreste de México (Méndez et al., 2009). La diferencia entre esto dos fenómenos es que mientras que El Niño oscila entre 1 y 2 años, la PDO pertenece a una orden de 20 a 30 años, aparte de que el ENSO influye sustancialmente en el clima tropical, mientras que la del PDO impacta en el Pacífico norte y el continente norteamericano. Sin embargo, las alteraciones climáticas más importantes en el continente americano suceden cuando la PDO y El ENSO coincidan, es decir, cuando las fases cálidas

de la PDO coincidan con eventos fuertes de El Niño y las fases frías coincidan con eventos intensos del La Niña (Méndez et al., 2009). El presente trabajo tiene el objetivo de generar conocimiento sobre la PDO uno de los fenómenos de menor entendimiento en comparación al fenómeno de El Niño, ampliamente estudiado en México (Magaña et al., 2003, Cerano-Paredes et al., 2011; Pompa-García & Némiga, 2015; Villanueva-Díaz et al., 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

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).

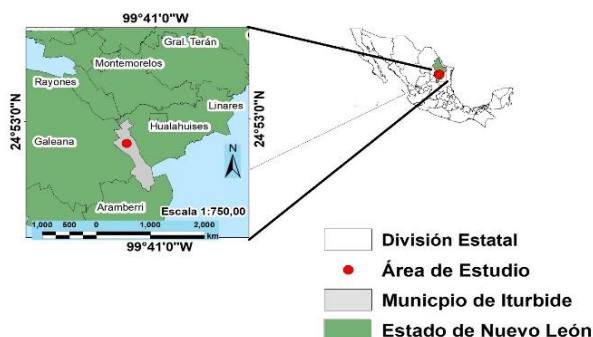


Figura 1. Ubicación de la extracción de muestras en el noreste del México

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., 1988). El área de estudio se ubica 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.

Se utilizó un muestreo selectivo en donde se obtuvieron los incrementos anuales a 1.30 m del suelo, extraídos del fuste de *Pinus pseudostrobus*. La preparación del montado, pulido y lijado se llevó a cabo utilizando técnicas dendrocronológicas (Stokesy 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 medición de los incrementos anuales se llevó a cabo utilizando el programa Measure J2X para Windows. La calidad del datado de cada anillo anual se verificó a través del programa COFECHA (Holmes, 1983). 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 dplR perteneciente al programa R versión 3.4 (Bunn, 2008) (Figura 2).

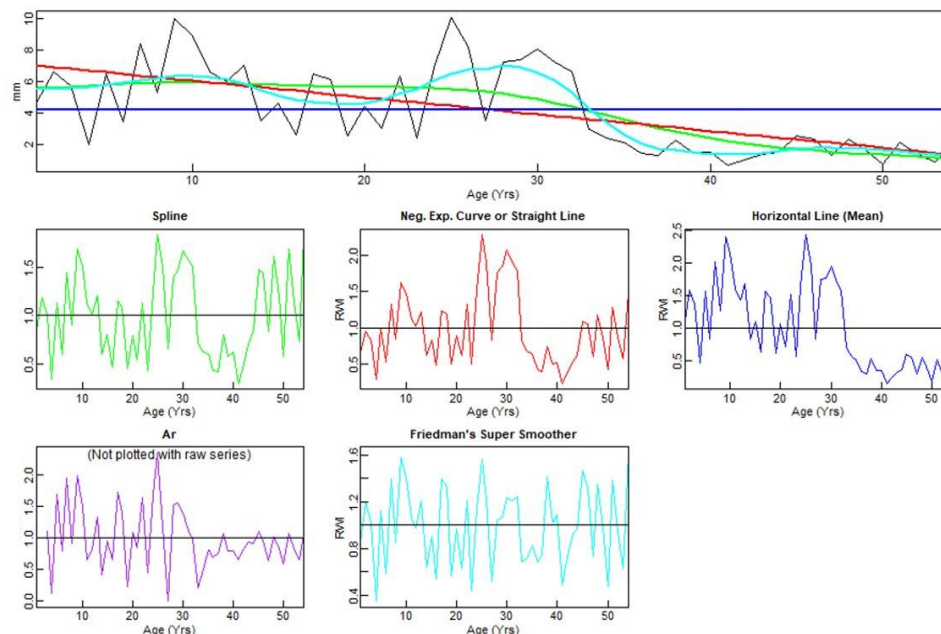


Figura 2. Diferentes curvas ajustadas a cada serie de acuerdo a su crecimiento.

Posteriormente se realizó un análisis espectral sobre la cronología promedio utilizando la wavelet madre Morlet (Torrence y Compo, 1998), para definir la presencia de frecuencias significativas en la serie total dendrocronológicas, en la extensión total del año 1970 al 2013. En el periodo de 1920 a 2013 se realizó un análisis de coherencia entre el índice de ancho de anillo y la PDO, para llevar a cabo este análisis se implementó el paquete biwavelet (Conduct Univariate and Bivariate Wavelet Analyses) incluido en el programa R versión 4.1 (Torrence y

Webster, 1998). Finalmente, se analizó el impacto de la PDO y se verificó mediante un análisis espectral con base a gráficos de coherencia de ondeleta al asociar el índice de ancho de anillo y la PDO, para determinar su influencia sobre el crecimiento del *P. pseudostrobus*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó una cronología de anillo total de la especie *P. pseudostrobus* con una extensión de 143 años (1870 – 2013) en base en 44 series de crecimiento



procedente de 19 árboles, fechados al año exacto de su formación ($r = 0.70$; $p < 0.01$). Las cronologías desarrollada cumplió con criterios estadísticos dendrocronológicos básicos, tales como: sensibilidad media (0.305), estadístico que evalúa la variabilidad en el crecimiento de un año al otro; coeficiente de autocorrelación de primer orden (0.333), el cual estima la influencia del año previo en el crecimiento del año actual; correlación media entre árboles (0.52), que mide la señal climática común entre series; relación señal/ruido (25.68), que indica la porción de la señal climática presente en la cronología con relación a otros factores de disturbio y

finalmente, la señal expresada de la población (0.96), (Wigley et al., 1984) en donde un valor de $EPS \geq 0.85$ se utiliza como un umbral, en el que la cronología se considera suficientemente sólida para la reconstrucción climática (Wigley et al., 1984).

El análisis espectral de ondeleta detectó tres periodos significativos ($p < 0.05$) de 8 a 16 y de un periodo de 20 años, respectivamente. El periodo de 8 a 16 años se extiende de 1890 a 1920, mientras que el de 20 a 30 años involucra la mayoría de la cronología, donde el periodo significativo se extiende de 1900 a 1967 (Figura 3).

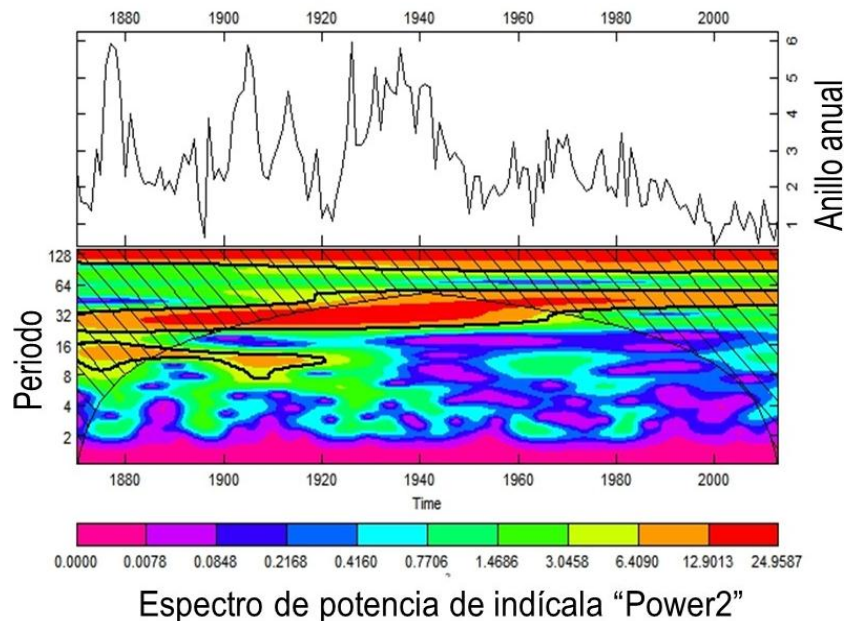


Figura 3. Espectro de potencia de ondeleta perteneciente a la cronología de ancho de anillo total del *P. pseudostrobus*. Las manchas rojas delimitadas por línea negra indican periodos con frecuencias significativa al ($p < 0.05$). El cono indica la significancia ($p < 0.05$) especial en el periodo analizado.

El análisis pone de manifiesto la presencia de diversas señales que pueden estar asociados a ciertos fenómenos océano-atmósfera. Estudios al respecto indican que la frecuencia entre 2 a 8 años se asocian a la variabilidad de ENOS (Rasmusson y Carpenter, 1982; Schöngart et al., 2004). Respecto a los periodos multidecadales estos podrían estar asociados a la PDO (Hare y Mantua, 2000; Gutzler et al., 2002).

De acuerdo al análisis espectral de coherencia de ondeletas la influencia de la PDO sobre el crecimiento de *P. pseudostrobus* presenta una

frecuencia de 7 a 13 años con una relación significativa ($p < 0.05$) en el periodo de 1920-1930, denotando que el crecimiento y la presencia de la PDO están en fase positiva. Y un segundo lapso significativa de 1954-1968 entre la PDO y el índice de ancho de anillo ocurrió en con una periodicidad de 8 a 13 años en fase positiva. Un tercer periodo significativo ocurrió de 1940 a 1955 mostrando una relación en fase positiva con una periodicidad de 20 a 30 años, este resultado más típico de la influencia de la PDO. Finalmente un periodo de 1978 y 1984 en el

cual se muestra en fase positiva, con una frecuencia de 2 a 4 años (Figura 4).

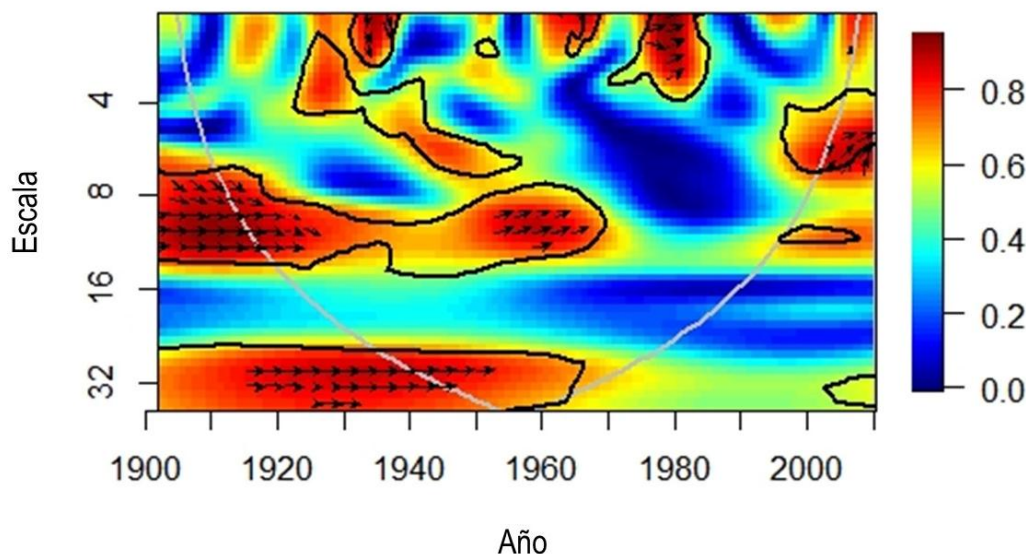


Figura 4. Las manchas rojas delimitadas por la línea negra designan una relación significativa ($p < 0.05$) entre ambas variables; las flechas en negro y en diferente posición señalan si la relación es positiva o negativa: flechas horizontales o paralelas hacia la derecha significan que ambos fenómenos están en fase (positiva); por el contrario, cuando se orientan a la izquierda, los fenómenos están en antifase (negativa) y el óvalo marcado por una línea negra corresponde al área de nivel de significancia ($p < 0.05$).

La PDO ha sido descrita como una fluctuación de largo periodo en el Océano Pacífico (Trenberth 1990; Mantua y Hare, 2002) concordante con las frecuencias de mayor rango encontradas en el presente trabajo, la cuales tuvieron una periodicidad de 7 hasta 30 años.

Como se sabe, los efectos climáticos primarios de la PDO se concentran en el Pacífico Norte (Mantua et al., 1997; Cayan et al., 1998; Mantua y Hare 2002) y suroeste de Norteamérica (Higgins et al., 2000; Gutzler et al., 2002) manifestándose durante el periodo invernal. Lo anterior es concordante tomando en cuenta que el crecimiento de la especie *P. pseudostrobus* para esta región responde a las lluvias ocurridas en las estaciones de invierno primavera (Constante-García, 2016). Por otra parte, aunque algunos trabajos indican que este fenómeno se lleva a cabo preferentemente en el Océano Pacífico mexicano (Brito-Castillo et al., 2002) algunos estudios realizados para el noreste indican un impacto de este fenómeno al sureste de USA (Mantua et al., 1997) y el noreste de México (González et al., 2010), mismos que resultan concordantes con los resultados obtenidos.

Los periodos reportados en este trabajo concuerdan con un análisis entre la PDO y la precipitación reconstruida en base a los crecimientos de *Pinus*

hartwegii Lindl en el Volcán Nevado de Colima, donde los periodos identificados significativos ($p < 0.05$) fueron: 1980-2000, 1943-1963 y 1975-1998, con intervalos de 1-4, 4-7 y 10-13 años respectivamente (Manzanilla-Quiñones, 2019).

El periodo de mayor relevancia ocurrido en el lapso de tiempo de 1954-1968 con una frecuencia de 8 al 13 años, es un ejemplo del impacto que puede tener estos fenómenos al coincidir en fase con otros fenómenos con gran importancia para México como lo es el ENSO, provocando grandes sequías que afectaron a la población (Cerano-Paredes et al., 2011; Pompa-García & Némiga, 2015; Villanueva-Díaz et al., 2018). En este sentido, el periodo de 1940 a 1954 con una periodicidad de 20 a 30 años, antecede a este evento de gran magnitud ocurrido en 1955-1968, creando una prolongación en sus efectos tales como sequías, incurriendo lo mismo en el último periodo encontrado del año 1978 y 1984 aquí exhibido, en donde también se registró un evento de El Niño en México y América Central (Magaña et al., 2003).

CONCLUSIONES

La serie de crecimiento de anillo total de *P. pseudostrobus* presenta un impacto de la PDO para el noreste de México en eventos coincidentes con el fenómeno de El Niño, por lo que sería interesante, indagar en especies coexistentes al *P. pseudostrobus* o de la propia región, dado que la PDO es un fenómeno poco explorado para México.

LITERATURA CITADA

- Brito-Castillo, L., Leyva-Contreras, A., Douglas, A. V., & Lluch-Belda, D. (2002). Brito Castillo 2002 Pacific Decadal Oscillation and the filled capacity of dams on the rivers of the Gulf of California continental watershed. *Atmósfera*, 15, 121–138.
- Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., & Constante-García, V. (2011). El Niño Oscilación del Sur y sus efectos en la precipitación en la parte alta de la cuenca del Río Nazas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII(Especial), 207–215. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.076>
- Constante-García, V. (2016). *Aplicación De Técnicas Dendrocronológicas en Pinus Pseudostrobus Lindl. y Quercus canbyi Trel. Para Analizar la Influencia Climática y el cambio de uso de suelo*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Subdirección de Posgrado. Linares N.L 123p.
- FAO - Unesco. (1988). Soil Map of the world. In *Soil Map of the World*.
- Gonzalez, J. M., Leyva, A. R., Oviedo, E. C., Lupercio, A. Z., & Perez, T. C. (2010). Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones Geograficas*, 73(1923), 57–70.
- Gutzler, D. S., Kann, D. M., & Thornbrugh, C. (2002). Modulation of ENSO-based long-lead outlooks of Southwestern U.S. winter precipitation by the Pacific Decadal Oscillation. *Weather and Forecasting*, 17(6), 1163–1172. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2002\)017<1163:MOEBLL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017<1163:MOEBLL>2.0.CO;2)
- Hare, S. R., & Mantua, N. J. (2000). Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, 47(2–4), 103–145. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(00\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(00)00033-1)
- Holmes, R. (1983). Computer-Assisted Quality Control in Tree-Ring Dating and Measurement. *Tree-Ring Bulletin*.
- IPCC. (2018). IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. , In the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)], In Press. <https://doi.org/10.1038/291285a0>
- Magaña, V. O., Vázquez, J. L., Pérez, J. L., & Pérez, J. B. (2003). Geofísica Internacional. *Geofísica Internacional*, 42(3), 313–330. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56842304>
- Mantua, N. J., Hare, S. R., Zhang, Y., Wallace, J. M., & Francis, R. C. (1997). A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6), 1069–1079. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2)
- Manzanilla-Quñones, U. (2019). Reconstrucción dendroclimática, estimación de CO2 y escenarios climáticos del ecosistema



- subalpino del eje neovolcánico transmexicano. *Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León, Univesidad Autonoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales*, Linares, N.L. 100 p.
- Natalini, F., & Alejano, R. (2017). *Técnicas y herramientas para la preparación de muestras extraídas de árboles para el análisis dendrocronológico*. April 2018.
- Pavia, E. G., Graef, F., & Reyes, J. (2006). Notes and correspondence PDO – ENSO Effects in the Climate of Mexico. *Journal of Climate*, 19, 6433–6438.
- Pompa-García, M., & Némiga, X. A. (2015). Enso index teleconnection with seasonal precipitation in a temperate ecosystem of northern Mexico. *Atmosfera*, 28(1), 43–50. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(15\)72158-2](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(15)72158-2)
- Rasmusson, E. M., & Carpenter, T. . (1982). Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the southern oscillation/El Niño. *Monthly Weather Rev*, 110, 354– 384.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Ed. Limusa. 432 pp.
- Schöngart, J., Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Ayres, J. M., Hüttermann, A., & Worbes, M. (2004). Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño–Southern Oscillation effect. *Global Change Biology*, 10(5), 683–692. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00754.x>
- Stokes, M. A., & Smiley, T. I. (1996). *An introduction to tree-ring dating*. (2 nd). University of Arizona Press.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Constante-García, V., Montes-González, L. E., & Vázquez-Selem, L. (2009). *Muestreo Dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales*. CENID-RASPA. INIFAP. ISBN:978-607-425-141-8. 49 pag.
- Villanueva-Díaz, J., Rubio-Camacho, E. A., Chávez-Durán, Á. A., Zavala-Aguirre, J. L., Cerano-Paredes, J., & Martínez-Sifuentes, A. R. (2018). Climatic response of pinus oocarpa schiede ex schetol in the “la primavera” forest, jalisco. *Madera Bosques*, 24(1), 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411464>
- Wigley, T. M. L., Briffan, K. R., & Jones, P. . (1984). On the average value of correlated time series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *American Metodololical Society*, 23, 2001–2213. [https://doi.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450\(1984\)023%3C0201:OTAVOC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450(1984)023%3C0201:OTAVOC%3E2.0.CO;2)
- Worbes, M. (2002). One hundred years of tree-ring research in the tropics - A brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 20(1–2), 217–231. <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00018>

