

## Análisis dendroclimático de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán), Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca

Recibido: 11 de noviembre de 2013. Aceptado en versión final: 5 de agosto de 2014.

Jaume Marlès Magre\*  
Teresa Valor Ivars\*\*  
Bernat Claramunt López\*\*\*  
Diego R. Pérez Salicrup\*\*\*\*  
Roser Maneja Zaragoza\*  
Sònia Sánchez Mateo\*  
Martí Boada Juncà\*

**Resumen.** Se presenta el primer estudio sobre dendroclimatología de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* en el estado de Michoacán (México). El estudio se realizó en los municipios de Áporo y Zitácuaro de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca (RBMM). Se colectaron cien testimonios de madera tomados a 1.3 m de altura del árbol, repartidas en los ejidos del Rincón del Soto y Arroyo Seco (Áporo), y en el ejido de San Juan de Zitácuaro. Las series dendrocronológicas en Áporo para la especie *Pinus pseudostrobus* se extendió a 62 años (1949-2010) y

para *Pinus devoniana* 86 años (1925-2010); y las series en Zitácuaro para *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* se extendieron a 47 años (1964-2010) y 44 años (1967-2010), respectivamente.

Con el objetivo de establecer los parámetros climáticos que controlan el crecimiento radial de las especies estudiadas, se encontró que la serie potencial para hacer estudios dendrocronológicos es la de *Pinus pseudostrobus* en Zitácuaro. El valor de la serie de *Pinus devoniana* se encuentra ligeramente por debajo (0.81) del valor de aceptación (0.85).

\* Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA), Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), Edificio Z, Campus de la UAB, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, España. E-mail: jaume.marles@gmail.com; sonia.sanchez.mateo@uab.cat; marti.boada@uab.cat

\*\* Centro Tecnológico Forestal de Cataluña (CTFC), Crta. Sant Llorenç de Morunys, km 2 (dir Port del Comte), 25280 Solsona, Lleida, España. E-mail: teresa.valor@ctfc.es

\*\*\* Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF), Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), Edificio C, ICTA-ICP, Carrer de les Columes, Campos de a UAB, 08193, Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, España. E-mail: bernat.claramunt@uab.cat

\*\*\*\* Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO), Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex Hacienda de San José de La Huerta, 58190, Morelia, Michoacán, México. E-mail: diego@cieco.unam.mx

### Cómo citar:

Marlès M., J., T. Valor I., B. C. López, D. R. Pérez S., R. Maneja Z., S. Sánchez M. y M. Boada J. (2015), "Análisis dendroclimático de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán), Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 88, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 19-32, dx.doi.org/10.14350/ig.47378.

Las series de crecimiento radial se compararon con datos climáticos de precipitación mensual, temperatura media mensual, temperatura máxima y mínima medias mensuales, de estaciones meteorológicas cercanas al área en estudio. Las funciones de correlación indican que la anchura de los anillos de ambas especies está regulada significativamente por la precipitación y la temperatura máxima media en Zitácuaro. Ambas especies reaccionan semejantemente con el clima, pero con algunas diferencias. Para *Pinus pseudostrobus* hay una relación positiva del crecimiento radial con el aumento de precipitación en el mes de abril del año actual; y hay una relación negativa del crecimiento radial

con el aumento de temperatura máxima media en el mes de agosto del año previo. Para *Pinus devoniana* hay una relación negativa del crecimiento radial con el aumento de precipitación en el mes de noviembre del año previo, y una relación positiva en febrero del año actual; y hay una relación negativa del crecimiento radial con el aumento de temperatura máxima media en los meses de julio y agosto del año previo.

**Palabras clave:** Dendrocronología, clima, anillos de crecimiento, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus devoniana*, Áporo, Zitácuaro.

## Dendroclimatic analysis of *Pinus pseudostrobus* and *Pinus devoniana* in the municipalities of Áporo and Zitácuaro (Michoacán), Monarch Butterfly Biosphere Reserve

**Abstract.** This article presents the first study on dendroclimatology of *Pinus pseudostrobus* and *Pinus devoniana* in the state of Michoacán (Mexico), specifically in the municipalities of Áporo and Zitácuaro, both municipalities within the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR).

The sampling in Áporo, northwest of the MBBR, was held in Los Ejidos del Rincón del Soto and Arroyo Seco, in Sierra Chincúia (May 2011). In Zitácuaro, southwest of the reserve, a sampling was performed in the Ejido de San Juan de Zitácuaro, in the area of Ocotal and Palma, and Meso Sedano (June 2011).

There were a total of 38 *Pinus pseudostrobus* and 12 *Pinus devoniana* sampled in both areas of the study and distributed in 28 trees in the municipality of Áporo and 22 in Zitácuaro. Two samples per tree were taken at 1.3 m height, resulting in a total of 100 tree cores.

The dendrochronological series in Áporo for the species *Pinus pseudostrobus* were extended to 62 years (1949-2010) and for *Pinus devoniana* 86 years (1925-2010); and the series in Zitácuaro for *Pinus pseudostrobus* and *Pinus devoniana* were extended to 47 years (1964-2010) and 44 years (1967-2010), respectively.

The ring chronologies were validated using the program COFECHA, which calculates the cross correlations between individual series of the tree-growth, five series were eliminated due to very low or negative correlations.

The climate data from Zitácuaro were obtained from two weather stations located in the same municipality. And, in the case of Áporo, the data was obtained from stations located in Senguio.

The growth rates related to the climate were obtained by removing the growth trend of each tree due to the age, size and other factors such as the competition, using the program ARSTAN.

The following statistics were used to evaluate the quality of the residual chronologies and to determine the potential dendrochronology of species for the different populations:

the average correlation between series (Rbar), the signal expressed by the population (EPS), medium sensitivity (MS), and the auto-correlation of first order (AC).

To analyze the correlation and the function of response between the radial growth and climate variables, the waste medium chronologies of the growth rates for both species, and the records of temperature and precipitation, were evaluated through the Dendroclim2002, which determines the period of the year that most influences the radial growth of *Pinus* in relation to monthly climate data.

In order to establish the climatic parameters that control the radial growth of the studied species, the *Pinus pseudostrobus* was found to be the potential series to perform the dendrochronological study in Zitácuaro. The value of the series of *Pinus devoniana* is slightly lower (0.81) than the acceptance value (0.85). The series of radial growth were compared with the climate records of monthly precipitation, average monthly temperature, and average maximum and minimum monthly temperatures.

Correlation functions indicate that the width of the rings of both species is regulated significantly by rainfall and the average maximum temperature in Zitácuaro.

Both species react similarly to the climate, but with some differences. There is a positive relationship between radial growth of *Pinus pseudostrobus* and the increasing rainfall in April of the current year; and there is a negative relationship between radial growth and the increasing average maximum temperature in August the previous year. For *Pinus devoniana* there is a negative relationship between radial growth and the increasing rainfall in November of the previous year, and a positive relationship in February of the current year; and there is a negative relationship between radial growth and the increasing average of maximum temperature in July and August last year.

**Key words:** Dendrochronology, climate, growth rings, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus devoniana*, Áporo, Zitácuaro.

## INTRODUCCIÓN

El clima siempre ha evolucionado de un modo natural, pero hay pruebas que revelan que en la actualidad hay un nuevo cambio climático (McMichael *et al.*, 2003; Skoufias *et al.*, 2011). Esta teoría se refleja en las investigaciones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), ya que en el tercer informe se concluyó que “la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años es atribuible a las actividades humanas” (IPCC, 2001), y en el cuarto informe se afirmó que “el calentamiento del sistema climático es inequívoco” (IPCC, 2007). También queda reflejado que hay un aumento de la temperatura distribuida por todo el planeta y que se ha acentuado en las latitudes septentrionales superiores, en que la tendencia lineal en cien años (1906-2005) fue de 0.74° C. Es probable que la frecuencia de las precipitaciones intensas haya aumentado en la mayoría de las áreas (*Ibid.*).

Una de las preocupaciones a nivel mundial es la evidencia de la pérdida de biodiversidad (Balmford *et al.*, 2005). Debido a la velocidad con que se producen los cambios, se esperan distintos efectos en los ecosistemas (Gray, 2005), como alteraciones en la distribución y la abundancia de las especies (Hughes, 2000), así como la desaparición de algunos organismos (Thomas *et al.*, 2004). Se han realizado estudios que relacionan el cambio climático con la vegetación, por ejemplo los trabajos a nivel internacional de Shugart (1984) sobre dinámica forestal, los cuales se aplicaron para modelar respuestas potenciales de la vegetación al cambio climático global (Smith *et al.*, 1992). Otros estudios demuestran la migración altitudinal de la vegetación a consecuencia del aumento de la temperatura (Boada y Peñuelas, 2003). Otros trabajos relacionan el cambio de la precipitación con los ecosistemas (Bolin *et al.*, 1986). En relación con los trabajos realizados en México sobre el cambio climático y su relación con la vegetación, algunos van destinados a la emisión de carbono (Villers y Trejo, 2000); y otros relacionan el clima con el cambio de distribución de la vegetación, como los de Villers y Trejo (1998), Arriaga y Gómez (2005), Trejo *et al.* (2007) y Tapia *et al.* (2011).

Los resultados del estudio realizado por Trejo *et al.* (2007) muestran que, para el 2020, entre el 20 y el 47% de la vegetación actual se verá afectada por el cambio climático, y un 36% de los bosques de pino y encino cambiarán las condiciones actuales. Algunos estudios sobre el cambio climático aplican modelos de circulación general (GCM); concretamente el modelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-R30) y el Canadian Climate Centre Model (CCCM) predicen que el área de la Mariposa Monarca resultaría afectada, ya que de ser un bosque seco templado-cálido o subhúmedo subtropical, pasaría a ser un bosque más seco, nombrado seco subtropical (Villers y Trejo, 1998). En un estudio de Arriaga y Gómez (2005), se demuestra que habrá una disminución de un 0.65% de la especie de *Pinus pseudostrobus*.

En el Océano Pacífico Tropical del este se produce un fenómeno conocido como El Niño/Oscilación del Sur (ENSO), que en México, frente a las costas de Guerrero y Michoacán, forma una alberca de agua caliente durante el verano. Dicho fenómeno se manifiesta a través de veranos con temperaturas superiores a las normales y precipitaciones, por lo general, inferiores. Durante el invierno hay un aumento de las lluvias, las cuales pueden llegar a ser torrenciales, y una disminución de las temperaturas (Magaña y Quintanar, 1997). Esta alteración climática de gran amplitud geográfica y con episodios de gran magnitud, conlleva consecuencias importantes en los aspectos ecológicos, económicos y sociales (Rodríguez *et al.*, 1993), y que debido al cambio climático puede disparar eventos climáticos extremos en el país (Magaña y Quintanar, 1997).

Hay distintas formas de estudiar los climas pasados (paleoclima): a partir de las huellas que éstos han dejado en los registros fósiles, formaciones geológicas y suelos; o a través de los corales, los testigos de hielo, los depósitos turbosos y suelos de los lagos naturales, las formaciones estalagmíticas, o las variaciones que se reflejan en los anillos de crecimiento de los árboles, dan información útil para las reconstrucciones climáticas a diferentes escalas (Uriarte, 2003). Es importante conocer el fenómeno de El Niño al tratarse de una alteración climática de gran magnitud; y por ello, estudios den-

drocronológicos tienen por objetivo cuantificar la magnitud de los episodios pasados de ENSO mediante registros “proxy” de los árboles (Pavia *et al.*, 2006). En México se han utilizado cronologías para determinar el efecto de El Niño, en el norte de México y el sur de Estados Unidos (Stahle y Cleaveland, 1993; Villanueva y McPherson, 1996; Díaz *et al.*, 2001). Y concretamente se han realizado algunos estudios de dendrocronología. El desarrollo de las primeras cronologías del país las realizó Schulman (1944) en la década de los cuarenta, más tarde fue Scott (1966), quien fechó secciones de las ruinas prehistóricas de Casas Grandes, Chihuahua, al norte del país. Naylor (1971), en Oaxaca, llevó a cabo un estudio en el que determinó la presencia de anillos complacientes en las especies *Abies hickelii*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus rudis* y *Pinus pseudostrobus*. Suzan y Franco (1981) fecharon *Pinus hartwegii* por un periodo de 200 años. Los estudios sobre la especie *Pinus pseudostrobus* los han encabezado Márquez y Mendizábal (2004) y Espinosa *et al.* (2009) en Veracruz, quienes concluyeron que dicha especie responde con una amplia flexibilidad a las fluctuaciones ambientales. Los estudios de dendroclimatología realizados en México, como los trabajos presentados por Fritts (1965) y Schulman (1956), se centran principalmente con los géneros *Pinus* (Suzan y González, 1984; Therrell *et al.*, 2002), *Abies* (Huante *et al.*, 1991; Bernal y Terrazas, 2000; Gutiérrez, 2003), y *Pseudotsuga* (González *et al.* (2005). Suzan y González (1984), investigaron la respuesta climática de *Pinus nelsonii* en Tamaulipas. Villanueva y McPherson (1996) estimaron la precipitación y la sequía en el norte de Sonora. Trabajos cercanos a nuestra área en estudio son los de Huante *et al.* (1991), quienes construyeron la primera cronología de anillos de *Abies religiosa* datada y cercana a los trópicos en Michoacán, otro estudio en Nueva León y de características semejantes fue el de Gutiérrez (2003). Y, en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (RBMM) Bernal y Terrazas (2000) realizaron un estudio sobre la influencia climática en la variación radial de la madera en *Abies religiosa*.

El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial dendroclimatológico de las especies *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* para estudiar el clima

y determinar la relación descriptiva de la anchura de los anillos de crecimiento con la temperatura y la precipitación.

### Descripción del área en estudio

Los municipios de Áporo y Zitácuaro se localizan en el estado de Michoacán, en parte, ubicados dentro de los límites de la RBMM, que se divide en tres zonas núcleo (Cerro Altamirano, el corredor Chincúca-Campanario-Chivatí-Huacal, y Cerro Pelón) de 13 552 ha, y una zona de amortiguamiento de 42 707 ha (DOF, 2000). El estudio realizado en Áporo se encuentra en sierra Chincúca, y el de Zitácuaro al oeste de Cerró Pelón (Figura 1). La RBMM a pesar de ser un área protegida (ANP) desde 1980, se reestructuró en el 2000 con la finalidad de proteger las zonas de hibernación de la mariposa monarca *Danaus plexipus*, ya que está expuesta a

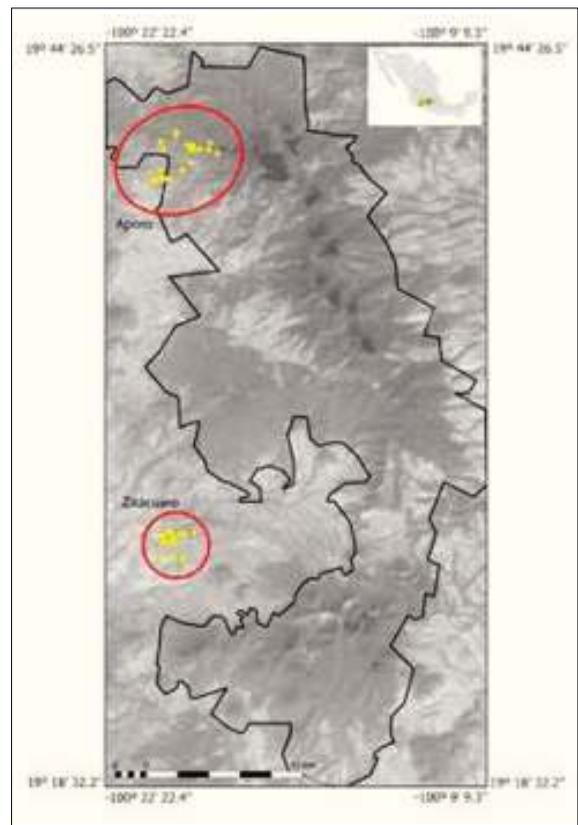


Figura 1. Mapa de localización de la zona muestreada de los municipios de Áporo y Zitácuaro.

problemas de fragmentación, perturbación y pérdida de bosques debido a la sobreexplotación forestal y agropecuaria (Ramírez *et al.*, 2003).

La región se encuentra dentro la unidad denominada Eje Volcánico Transversal y es constituida por materiales de origen volcánico (SEMARNAP, 1998; Ramírez, 2001; Lugo, 2009). La mayor parte son suelos profundos y ácidos, con valores de pH entre 5.6 y 6.7 (Madrigal, 1994; Ramírez, 2001).

El clima predominante es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), y con escasas lluvias en invierno, menos del 5% del total anual (García, 1997). Las precipitaciones anuales se concentran alrededor de un 85% en los meses de verano. No siempre existe una relación entre la precipitación con la altitud (Fernández, 1996), pero generalmente y por ejemplo en la Sierra de Angangueo, se ha visto que el incremento altitudinal propicia un aumento en la precipitación. El mes de abril es el que lleva a una transición al periodo cálido y húmedo, y octubre al periodo frío y seco (Ramírez, 2001). El régimen de heladas va en función del gradiente altitudinal, con la aplicación de los métodos de Walter y Lieth y Papadakis, la probabilidad de heladas, en la Sierra de Angangueo, es frecuente en invierno y especialmente en enero (Fernández, 1996; Ramírez, 2001). Según la clasificación bioclimática mediante el programa BIOCL de Rivas Martínez (Fernández, 1996), y los índices calculados en la Sierra de Angangueo por Ramírez (2001), la zona en estudio está den-

tro del marco bioclima “tropical” y un bioclima “pluviestacional”.

El área en estudio de Zitácuaro se encuentra a una altitud entre 1 500 m y 2 400 m, y está cubierta de bosques mixtos, donde predominan los árboles de los géneros *Pinus* y *Quercus*. En el área en estudio de Áporo se pueden observar dos pisos bioclimáticos. El subtropical subhúmedo se encuentra a una altitud entre 2 400 m y 2 800 m, marca el inicio de las heladas, y predominan los bosques mixtos de coníferas y latifoliadas, *Pinus*, *Quercus*, *Alnus*, *Arbutus*. El último piso es el supratropical húmedo, se encuentra a una altitud entre 2 800 m y 3 600 m, las temperaturas son más bajas respecto al piso inferior, y su precipitación anual es superior. Estos ambientes son cubiertos de bosques densos de coníferas, *Abies* y *Cupressus*, y en aquellas zonas de más altitud conviven elementos florísticos de los reinos neotropical y holártico (Madrigal, 1994; Cornejo e Ibarra, 2008), (Tabla 1).

*Pinus pseudostrabus* es nativa de Guatemala, Honduras, El Salvador y México. En este último país es abundante en la planicie central y en Chiapas, y más escasamente en el norte. Su rango altitudinal va de 2 400 a 2 800 m, con precipitaciones entre 800 y 1 500 mm, y con temperaturas medias de 18 a 21° C. En México y parte de América Central, los frutos maduran de noviembre a diciembre, contienen entre unas 25 y 30 semillas, y cada árbol está formado por un promedio de 90 conos (Perry, 1991; López, 2003). Vive en suelos profundos, con

Tabla 1. Clasificación bioclimática del área de estudio

Ámbito estudio	Altitud (msnm)	Tipo clima	Pe (mm)	t'a (mes más frío)	tm (°C)	Amplitud térmica	Heladas	Tipo bosque
Zitácuaro	1500-2400	Mesotropical subhúmedo		0°C (enero)	16-18	5-7 °C	0 meses	Pinus y Quercus
Áporo	2400-2800	Subtropical subhúmedo	900	-3°C (enero)	12	6 °C	1-3 meses	Coníferas y latifoliadas
Áporo	2800-3600	Supratropical húmedo	1200				1-5 meses	Abies y Cupressus

Fuente: Madrigal, 1994; Cornejo y Ibarra, 2008.

*Pe*, precipitación anual  
*t'a*, temperatura media de la mínima  
*tm*, temperatura media

buen drenaje, procedente de material volcánico, con un pH ácido, de 5.5 a 6.5 (Perry, 1991). Es una especie que se encuentra dentro de la Lista Roja de la UICN de especies amenazadas.

*Pinus devoniana* Martínez. crece tanto en suelos pobres como fértiles, y texturas franco arenosas. Es una especie que presenta una alta tolerancia a los incendios. Se utiliza para extraer resina, sobre todo en los estados de Michoacán y Oaxaca (Farjon *et al.*, 1997). *Pinus devoniana* tiene una distribución altitudinal desde 1 500 a 2 500 msnm, con precipitaciones de 1 000 a 1 700 mm y temperaturas de 16 a 21° C.

## METODOLOGÍA

### Descripción del muestreo

El muestreo en Áporo, al noroeste de la RBMM, se realizó en los ejidos del Rincón del Soto y Arroyo Seco, en la Sierra Chincúa, durante mayo del 2011. En Zitácuaro, al suroeste de la reserva, se muestreó en el ejido de San Juan de Zitácuaro, en el paraje de Ocotál y Palma, y Meso Sedano, durante junio del 2011.

Las dos especies muestreadas en ambos sitios fueron 38 por *Pinus pseudostrobus* y 12 por *Pinus devoniana*. Se obtuvieron dos muestras por árbol, un total de cien incrementos radiales, y repartidas del siguiente modo: 28 árboles en el municipio de Áporo y 22 en el de Zitácuaro (Tabla 2).

Para la selección de los árboles se tuvieron en cuenta las siguientes características: árboles madu-

ros, vigorosos, una altura y diámetro superior a los árboles vecinos cercanos, tronco recto, copa bien formada y situados en pendientes y suelos pobres, siguiendo las recomendaciones de Villanueva *et al.* (2004).

En cada sitio se registró la siguiente información: nombre del ejido, nombre del sitio o paraje, número de árbol, especie muestreada, perímetro (a 1.3 m), espesor (competencia entre especies que le rodean), coordenadas, altitud, exposición y características ecológicas del sitio (com. pers. Pérez Salicrup, 2011).

La colecta de las muestras se realizó mediante la obtención de testigos de madera con una barrena de Pressler. Se colectaron dos testigos de madera por árbol a una altura de 1.3 m y en sentidos opuestos, siempre en dirección perpendicular a la pendiente del terreno. Las muestras se almacenaron en popotes perforados para favorecer la ventilación y evitar la proliferación de hongos (Arreola, *et al.*, 2010).

### Preparación de las muestras

Las muestras se montaron con pegamento blanco sobre guías de madera y se sujetaron con cordel para evitar su torcedura y facilitar el proceso de adherencia por aproximadamente dos días a temperatura ambiente. A continuación se eliminó el cordel y las muestras se lijaron y pulieron utilizando papel de lija de textura por progresión ascendente (desde grano 60 a 1 000) para facilitar la observación de los anillos de crecimiento. El pulido final se alcanzó cuando la superficie a analizar mostró un brillo sin ralladuras. Esto permite identificar sin dificultad y

Tabla 2. Características del muestreo.

Municipio	Ejido	Coord. Este	Coord. Norte	Altura (msnm)	Nº muestras	Nº árboles ( <i>Pinus pseudostrobus</i> )	Nº árboles ( <i>Pinus devoniana</i> )
Áporo	Rincón del Soto y Arroyo Seco	14Q 0358654-0362763	2174650-2177887	2448-3182	56	22	6
Zitácuaro	San Juan de Zitácuaro	14Q 0359104-0361254	2150191-2152198	1983-2208	44	16	6

con la ayuda de una lupa los elementos constituidos de la madera (vasos, fibras, parénquima), (Argollo *et al.*, 2004).

### Co-fechado

Las cronologías se realizaron por medio de las técnicas tradicionales en dendrocronología (Stokes y Smiley, 1968). El conteo de los anillos se obtuvo mediante la lupa mono y binocular para conocer la edad aproximada del árbol. Los anillos se fecharon empezando por asignar la edad cronológica del último anillo formado, el de la corteza (Schulman, 1956). Los gráficos de crecimiento se construyeron mediante la lupa y papel milimetrado, para hacer la representación gráfica de aquellos anillos estrechos respecto a los de su alrededor, los que nos pueden ayudar a identificar patrones de crecimiento y permitir asignar fechas tentativas a cada anillo de crecimiento. Las gráficas nos ayudaron a detectar la ausencia de anillos y la presencia de falsos anillos. El fenómeno de falsos anillos puede darse por la detención momentánea del crecimiento en el momento de la estación vegetativa del árbol. También se puede dar el caso que un anillo muy delgado aparezca muy unido a la madera del año anterior, lo que produce la impresión de un anillo ausente. De lo dicho anteriormente, se utilizaron los skeleton plots, nombrando la técnica como interdatación o fechado cruzado *cross-dating*, que consiste en localizar en los dos incrementos de un mismo individuo, y posteriormente entre todos los restantes, los anillos parecidos (Schulman, 1956; Creus y Puigdefábregas, 1976). Se debe considerar que los especímenes que habitan en un rodal y es-

tán afectados por condiciones climáticas similares, tienden a mostrar en sus anillos de crecimiento variaciones similares en el grosor de sus anillos (Schulman, 1956; Stokes y Smiley, 1968). Una vez terminado el co-fechado, las muestras se escanearon con un escáner “Toshiba, estudio 2540 CSE” y con la máxima resolución 600 dpi. Cada imagen escaneada en formato “jpg” se visualizó en el ordenador mediante el programa “CooRecorder7.3” (Cybis Elektronik and Data AB) para señalar los anillos, y de este modo se midió la anchura de los mismos. Para cada especie y zona el co-fechado fue validado utilizando el programa COFECHA (Holmes 1983), que calcula las correlaciones cruzadas entre las series individuales de los crecimientos de los árboles. Se eliminaron cinco series por presentar correlaciones negativas o muy bajas y se retuvieron 39 testigos de madera para su posterior análisis.

### Obtención de los datos climáticos

Se obtuvieron datos climáticos de las estaciones meteorológicas más cercanas a nuestra área en estudio. Las estaciones más cercanas en Áporo son dos que se encuentran en el municipio de Senguio; y, las más cercanas en Zitácuaro, siendo dos que se encuentran en el mismo municipio. Las cuatro estaciones meteorológicas tienen los datos incompletos, y para completar la información se hizo una media de los datos de las dos estaciones de Senguio para Áporo, y de las dos estaciones de Zitácuaro para el mismo sitio (Tabla 3). Las estaciones de Áporo tienen datos de 39 años (1967-2006), con una temperatura media de 15° C, una temperatura mínima media de 7.5° C, una temperatura máxi-

Tabla 3. Características de las estaciones meteorológicas. Esta información fue facilitada por el Servicio Meteorológico Nacional, de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de Michoacán

Nombre estación	Municipio	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	Altitud (m.s.n.m)	Fechas	% Datos	Datos para el sitio de muestreo
Chincua	Senguio	19 46 21	100 17 18	2415	1966-2006	94,5	Áporo
Senguio	Senguio	19 43 58	100 21 8	2260	1969-2007	62,2	Áporo
El Bosque (CFE)	Zitácuaro	19 23 0	100 23 0	1909	1952-2010	76,2	Zitácuaro
La Encarnación	Zitácuaro	19 24 46	100 23 38	1720	1974-2005	85,4	Zitácuaro

Fuente: CONAGUA.

ma media de 22° C y una precipitación anual de 882.12 mm. En cambio, las estaciones de Zitácuaro tienen datos de 54 años (1952-2006), con una temperatura media de 18.69° C, una temperatura mínima media de 12.3° C, una temperatura máxima media de 25.2° C y una precipitación anual de 861.29 mm.

### Análisis estadístico

Los índices de crecimiento debido al clima se obtuvieron mediante la eliminación de la tendencia del crecimiento de cada árbol debida a la edad, al tamaño y a otros factores diferentes del clima como la competencia, utilizando el programa ARSTAN (Cook y Holmes, 1984). Se ajustaron diversas curvas (exponencial negativa y lineal) según el crecimiento de cada árbol. A continuación, cada uno de los crecimientos observados se dividió por el valor de crecimiento obtenido por la curva, obteniendo series individuales estandarizadas. Finalmente mediante el programa ARSTAN se generaron tres cronologías (Estándar, Residual y ARSTAN) para cada una de las combinaciones de especie y zona en estudio. Se eligieron las cronologías residuales para realizar los análisis dendroclimatológicos, ya que en éstas la autocorrelación se elimina (Fritts, 1976). Para evaluar la calidad de las cronologías residuales y determinar el potencial dendrocronológico de las especies para las diferentes poblaciones, se utilizó una serie de estadísticos: la correlación media entre series ( $R_{bar}$ ), la señal expresada por la población (EPS) que expresa las relaciones entre una muestra de una cronología finita y la cronología teórica de la población que según Wigley *et al.* (1984) debe estar por encima de 0.85. También se calculó la sensibilidad media (MS) que mide la diferencia relativa en el ancho de anillo de un año al siguiente (Fritts, 1976) e indica la utilidad de las cronologías para el estudio del clima, y la auto-correlación de primer orden (AC) antes de realizar el detrending que mide la relación entre un año  $t$  con el anterior ( $t-1$ ).

Para analizar la correlación y la función de respuesta entre el crecimiento radial y las variables climáticas en Zitácuaro se evaluaron para cada especie, *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrobus*, las cronologías medias residuales de los índices de crecimiento para ambas especies y los registros

de temperatura media (tm), temperatura mínima media (t'm), temperatura máxima media (T'm) y la precipitación anual (Pe). Estos análisis se realizaron con el programa Dendroclim2002 (Biondi y Waikul, 2004), que determina el periodo del año que más influye en el crecimiento radial de *Pinus* mediante los datos climáticos mensuales, es decir, aborda la relación entre las variables y produce una función de respuesta de la cronología y los datos climáticos. El crecimiento radial suele estar relacionado con el clima del año anterior (Fritts, 1976), por lo que se correlacionó el crecimiento con los datos climáticos del mes de abril del año anterior hasta octubre del año actual, donde está incluido el periodo de crecimiento vegetativo de dichas especies en el estado de Michoacán (Bello, 1983). Las muestras que tienen potencial dendrocronológico, aquéllas que la señal media de las poblaciones supera el nivel de confianza aceptado de 0.85, son las que se utilizaron para analizar el crecimiento con las variables climáticas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Medición de los anillos y correlación

Se generaron tres cronologías (Estándar, Residual y ARSTAN) para cada una de las combinaciones de las dos especies, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana*, y las dos zonas en estudio, Áporo y Zitácuaro (Tabla 4). Algunas de las muestras fueron eliminadas por falta de correlación y/o anillos complacientes. Por ejemplo, en Oaxaca, Naylor (1971) encuentra la presencia de series de anillos complacientes con *Abies hickeli*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus rudis* y *Pinus pseudostrobus*, y por lo tanto no fue posible realizar el fechado cruzado.

Se observó que las cronologías de Zitácuaro presentan valores superiores de intercorrelación entre series respecto a las de Áporo (Tabla 4). La señal media de las poblaciones supera el nivel de confianza aceptado de 0.85 únicamente en la cronología de *Pinus pseudostrobus* en Zitácuaro (Tabla 4). Según Grissino-Mayer (2001), los valores de sensibilidad media son bajos en la zona de Áporo para *Pinus pseudostrobus* mientras que el resto de las cronologías tienen valores intermedios. Los valores

Tabla 4. Estadísticos de las cronologías residuales para cada combinación de especie y zona en estudio

Especie	Zona de estudio	Muestras fechadas	Periodo (años)	Rbar	EPS	MS	AR
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Áporo	16	1949-2010 (62)	0,311	0,52	0,18	0,75
	Zitácuaro	12	1964-2010 (47)	0,411	0,87	0,20	0,58
<i>Pinus devoniana</i>	Áporo	4	1925-2010 (86)	0,256	0,49	0,23	0,73
	Zitácuaro	6	1967-2010 (44)	0,415	0,81	0,22	0,79

*Rbar*, media de la autocorrelación entre series

*EPS*, media de la señal expresada por la población

*MS*, sensibilidad media

*AR*, autocorrelación de primer orden

de autocorrelación previos al detrending se sitúan entre 0.5 y 0.8.

Hay trabajos que demuestran que una misma especie estudiada en sitios distintos puede dar resultados también distintos, como Bernal y Terrazas (2000). Los resultados de nuestro trabajo lo confirman, ya que hay diferencias entre la serie de *Pinus pseudostrobus* en Zitácuaro y Áporo, y lo mismo con *Pinus devoniana*. Algunos estudios demuestran que los caracteres anatómicos entre coníferas son similares, como Bernal y Terrazas (2000), también lo podemos ver en los resultados, por ejemplo en Áporo, la señal media de las poblaciones de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana*, son parecidos entre ellos, lo mismo pasa en Zitácuaro. Sin embargo, la baja correlación en Áporo entre índice de anillos-clima es atribuible al bajo número de muestras analizadas, es recomendable aumentar el tamaño de muestra y observar el comportamiento de esta variable (Tabla 4).

Los estudios sobre la especie *Pinus pseudostrobus* de Márquez y Mendizábal (2004) y Espinosa *et al.* (2009) en Veracruz, concluyeron que las características de los conos varían entre árboles pero no dentro de cada árbol, por lo tanto responde con una amplia flexibilidad a las fluctuaciones ambientales. La menor correlación entre las series individuales se explica por la variación espacial del muestreo, y la selección de los árboles que se desarrollan en distintas condiciones de suelo y altitud (Arreola *et al.*, 2010), otro de los motivos por el cual las series en Áporo no tiene potencial dendrocronológico. En Áporo se muestreó en dos tipos de climas distintos

(subtropical subhúmedo y subtropical húmedo), y en Zitácuaro un tipo de clima (mesotropical subhúmedo), (Tabla 1). La diferencia altitudinal (2 448-3 182 msnm) del muestreo en Áporo fue de 734 msnm, en cambio en Zitácuaro la diferencia (1 983-2 208 msnm) fue de 225 msnm (Tabla 2). En un estudio realizado en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, El Campanario, por Bernal y Terrazas (2000), encontraron que los caracteres anatómicos analizados para *Abies religiosa* presentan patrones similares a otras gimnospermas, pero no siempre es así, entre especies distintas de árboles, hay cierta variación en los elementos traqueales, y unas mismas especies estudiadas en sitios distintos pueden dar resultados no parecidos (*Ibid.*), es el ejemplo de la diferencia de los resultados entre Áporo y Zitácuaro.

### Relación de la anchura de los anillos con los datos climáticos mensuales

Se ha observado una relación entre la variación interanual del crecimiento de los anillos de ambas especies y la precipitación ( $P_e$ ) y la temperatura máxima media ( $T'm$ ). Sin embargo, no se ha observado relación entre la temperatura media ( $t_m$ ) y la temperatura mínima media ( $t'm$ ). Para la especie *Pinus pseudostrobus* la correlación del crecimiento con la temperatura máxima media es negativa, es decir, a mayor temperatura menos crecimiento, así que el crecimiento se relaciona negativa y significativamente con las temperaturas del año previo del mes de agosto. En la precipitación, el crecimiento se relaciona positivamente en el mes de abril del año

actual. Para *Pinus devoniana*, también hay una relación negativa y significativa del crecimiento radial con el aumento de temperatura máxima media en los meses de julio y agosto del año previo. Y, en la precipitación hay una relación negativa del crecimiento radial con el aumento de precipitación en el mes de noviembre del año previo, y una relación positiva en el mes de febrero del año actual (Figura 2), es decir, a mayor precipitación en noviembre del año previo menor crecimiento radial, y a más precipitación en febrero del año actual más crecimiento radial. Fritts (1965), en un estudio en el norte de México, concluye que un anillo ancho indica que el clima del año era húmedo y frío, y un anillo estrecho era seco y cálido.

Por lo tanto, existe una cierta similitud entre las funciones de correlación entre el crecimiento radial de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* y la variación interanual de la temperatura máxima media y la precipitación en Zitácuaro. González *et al.* (2005), en un estudio de *Pseudotsuga menziesii* de la Sierra Madre Occidental, vieron como la precipitación se correlaciona positivamente con los índices de crecimiento y la temperatura máxima media negativamente, en cambio entre el ancho de los anillos de crecimiento y la temperatura mínima media y la temperatura media no encontraron relación. Varios autores también encuentran una relación inversa del crecimiento de los anillos con el aumento de la temperatura, es decir a más temperatura menos crecimiento, es el caso de Roig *et al.* (2001) quienes encuentran que el crecimiento radial de *Polylepis pepeii* en Puna Boliviana es influenciado por las variaciones de temperatura durante los meses de verano. Huante *et al.* (1991), en Michoacán, encuentran una relación negativa de los anillos de *Abies religiosa* con la temperatura máxima de setiembre a octubre. En El Campanario, en la RBMM, Bernal y Terrazas (2000), concluyeron que las temperaturas de marzo estaban relacionadas negativamente con la anchura de los anillos de *Abies religiosa*. O sea que, en la RBMM, la relación existente entre el crecimiento de los anillos es debido a la temperatura máxima. Aunque varios autores han observado una relación positiva en la precipitación, por ejemplo Argollo *et al.* (2004), en los Andes Centrales de Bolivia, encontraron que la

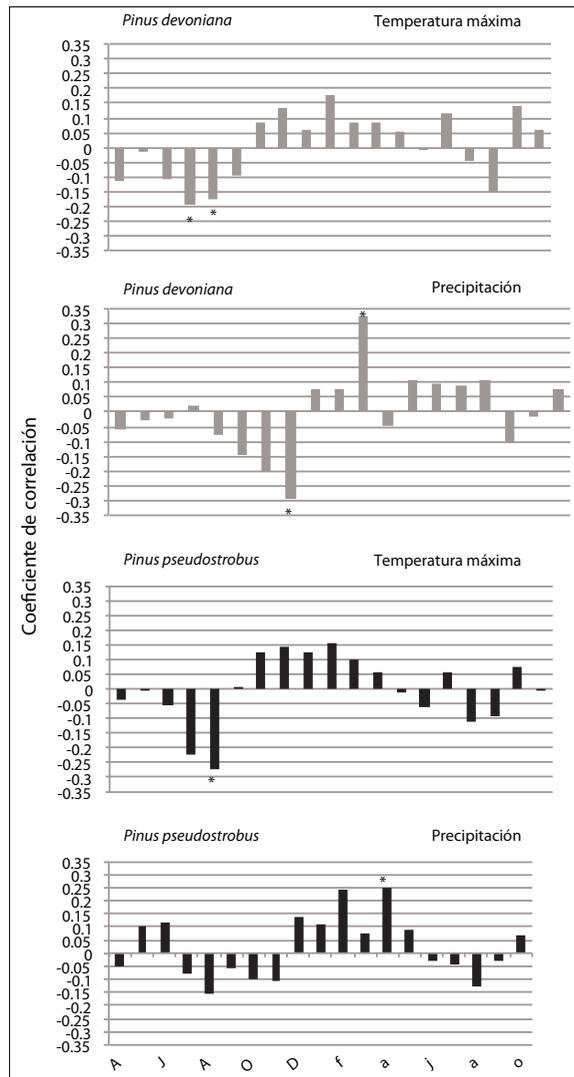


Figura 2. Relación entre el clima y la variación interanual del crecimiento radial (índices residuales) para las dos especies de pino estudiadas en Zitácuaro, *Pinus devoniana* (barras claras) y *Pinus pseudostrobus* (barras negras). Las variables climáticas mensuales usadas fueron la temperatura media de la máxima y la precipitación acumulada. Se correlacionó el crecimiento con variables climáticas de los años previo (meses abreviados con mayúsculas) y actual o de formación del anillo (meses abreviados con letras minúsculas). Los valores significativos ( $p < 0,05$ ) se muestran en las barras mensuales con un asterisco.

lluvia de diciembre y enero del verano previo está relacionada con el crecimiento radial de *Polylepis tarapacana*, y en cambio, el crecimiento está relacionado de forma negativa con la temperatura

de diciembre y enero del año previo, y de forma positiva con las de enero a marzo del año actual. Therrell *et al.* (2002) estudiaron el crecimiento de las especies *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus montezumae*, y *Taxodium mucronatum* en México, donde se observó que los datos de anillos de crecimiento en el norte de México son más sensibles a las lluvias de junio a agosto, mientras los datos procedentes del sur de México son sensibles a las lluvias de abril a junio.

En este estudio, realizado en el centro de México, se ha observado que la respuesta de ambas especies con el clima es parecido, con el aumento de la temperatura máxima media hay una reacción positiva del año previo en los meses de octubre, noviembre y diciembre, y en el año actual en los meses de enero. En la precipitación hay una reacción positiva del crecimiento radial de ambas especies en los meses de junio, julio y diciembre del año previo, y febrero, abril, y junio del año actual (Figura 3).

Los trabajos realizados en México, como los de Stahle y Cleaveland (1993), encuentran una relación positiva de la precipitación en los años Niño y el crecimiento de los árboles. Villanueva *et al.* (1996, 2004, 2008) hicieron una reconstrucción climática mediante coníferas en el norte de Sonora, y los anillos de los árboles fueron correlacionados positivamente con las lluvias de invierno e índices de año Niño. En el escenario del cambio climático, algunos estudios demuestran que habrá una disminución de las poblaciones de *Pinus pseudostrabus* en México debido al cambio climático, y también un movimiento altitudinal de las especies. Una misma especie desarrollada en sitios distintos puede dar resultados distintos, o sea, se tendrá que ver el potencial dendrocronológico de dichas especies estudiadas en un futuro, ya sea dentro o fuera de la RBMM.

## CONCLUSIONES

Se verificó que la especie de *Pinus pseudostrabus* tiene más potencial dendrocronológico que *Pinus devoniana*. También se observó que hay diferencias significativas en ambos sitios de estudio, la señal media de las poblaciones de ambas especies en Ápo-

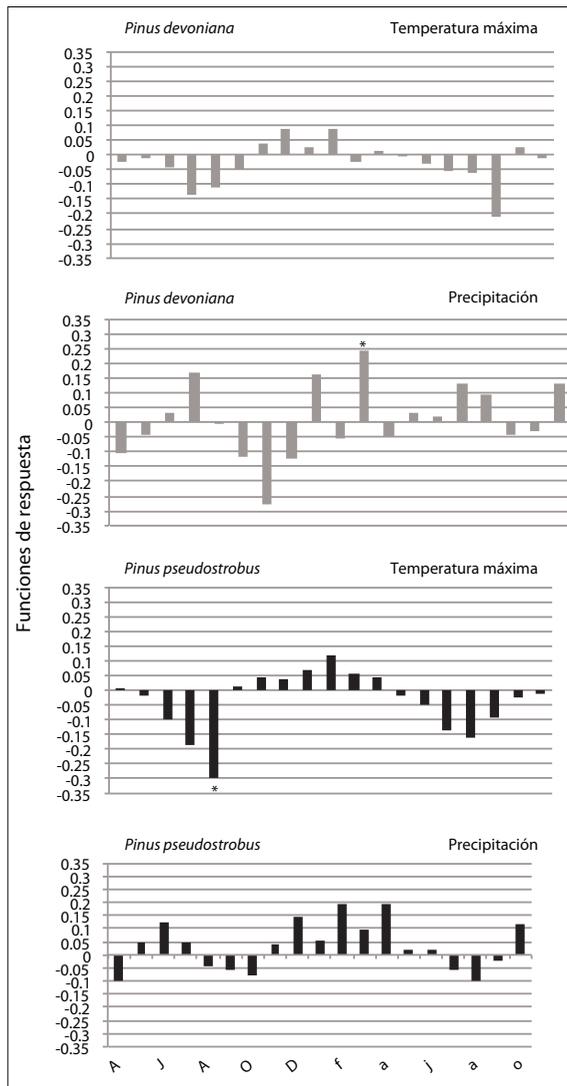


Figura 3. Función de respuesta entre el clima y la variación interanual del crecimiento radial (índices residuales) para las dos especies de pino estudiadas en Zitácuaro, *Pinus devoniana* (barras claras) y *Pinus pseudostrabus* (barras negras). Las variables climáticas mensuales usadas fueron la temperatura media de la máxima y la precipitación acumulada. Se correlacionó el crecimiento con variables climáticas de los años previo (meses abreviados con minúsculas) y actual o de formación del anillo (meses abreviados con letras mayúsculas). Los valores significativos ( $p < 0,05$ ) se muestran en las barras mensuales con un asterisco.

ro no supera el nivel de confianza aceptado de 0.85. El valor de *Pinus devoniana* en Zitácuaro está muy cerca al valor aceptado del nivel de confianza y se utilizó para hacer el estudio de dendroclimatología,

pero solamente la especie de *Pinus pseudostrobus* es apta para hacer estudios dendrocronológicos en Zitácuaro. Sin embargo, las dos especies no pueden ser utilizadas en estudios dendroclimatológicos de manera indistinta, ya que la correlación del crecimiento de *Pinus pseudostrobus* con la temperatura media de las máximas es negativa en el mes de agosto del año previo, y para *Pinus devoniana* en los meses de julio y agosto. Y con la precipitación, para la especie *Pinus pseudostrobus* hay una relación positiva en el mes de abril del año actual y el ancho de anillo, y para *Pinus devoniana*, hay una relación negativa en el mes de noviembre del año previo y una relación positiva en el mes febrero del año actual con el ancho de anillo.

## AGRADECIMIENTOS

A Guillermo Vargas y Rafaela Uribe. A Mike McCall, María Isabel Ramírez, Pablo Jaramillo y Minerva Campos del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM), Al CIGA, al Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco-UNAM), al Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF-UAB) y al Institut de Ciència i Tecnologia Ambientada (ICTA-UAB) por ceder un espacio de trabajo. También a la organización de Alternare AC., a Maria Agell Riba y Martha Lucía Castañeda Cediel

## REFERENCIAS

Argollo, J., C. Soliz y R. Villalba (2004), "Potencialidad dendrocronológica de *Polylepis tarapacana* en los Andes Centrales de Bolivia", *Ecología en Bolivia*, vol. 39, núm. 1, pp. 5-24.

Arreola Ortiz, M. R., M. González Elizondo y J. J. Nívar Cháidez (2010), "Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii*, (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México", *Madera y Bosque*, vol. 16, núm. 1, Instituto de Ecología, A. C., México, pp. 71-84.

Arriaga, L. y L. Gómez (2005), *Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México* [<http://www2.ine.gov.mx/publicaciones/libros/437/arriaga.html>].

Balmford, A. P., A. Crane, R. Dobson, G. Green, Mace (2005), "The 2010 challenge: data availability, information needs and extraterrestrial insights", *Phil. Trans. R.Soc B.*, pp. 1-8.

Bello G., M. A. (1983), "Estudio fenológico especies de *Pinus* en la región de Uruapan, Michoacán", *Boletín Técnico*, no. 96, INIFAP-SF-SARH, México.

Bernal, S. y T. Terrazas (2000), "Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en *Abies religiosa*", *Madera y Bosques*, vol. 6 núm. 1, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, México, pp. 73-86.

Biondi, F. and K. Waikul (2004), "Dendroclim 2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies", *Computers & Geosciences*, no. 30, pp. 303-311.

Boada, M. y J. Peñuelas (2003), "A global change-induced biome shift in the Montseny mountains, (NE Spain)", *Global Change Biology*, no. 9, pp. 131-140.

Bolin, B., Bo. R., Dôôs, J., Jager and R. A. Warmick, (eds.; 1968), *The greenhouse effect climatic change and ecosystems*, John Wiley&Sons, UK.

Cook, Er. And R. Holmes (1984), *User's manual for program ARSTAN*, Laboratory of Tree-Ring Research, Tucson.

Cornejo, G. y G. Ibarra (2008), *Flora ilustrada de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*, Centro de Investigaciones en Ecosistemas-UNAM, CONABIO, México.

Creus, J. y J. Puigdefábregas (1976), "Climatología Histórica y dendrocronología de *Pinus uncinata* R", en *Cuadernos de investigación 2*, Logroño.

DOF (2000), Secretaría de Gobernación de México [<http://www.dof.gob.mx/>].

Díaz, S., R. Touchan and T. W. Swetnam (2001), "A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico", *International Journal of Climatology*, 21:8, 1007.

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

Farjon, A., J. A. Pérez de la Rosa and B. T. Styles (1997), *A Field Guide to the Pines of Mexico and Central America*, R.B.G. Kew, London.

Fernández, F. (1996), *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*, Síntesis, Madrid.

Fritts, H. C. (1965), "Tree-ring evidence for climatic changes in western North America", *Monthly Weather Review*, vol. 93, no. 7, Washington, pp. 421-443.

Fritts, H. C. (1976), *Tree-rings and climate*, Academic Press, London-New York-San Francisco.

- García, E. (1997), "Climatología de la zona de hibernación de la mariposa monarca en la Sierra Transvolcánica de México, Inverno 1991-1992", *Serie Varia*, núm. 16, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- González, M., E. Jurado, J. Navar, M. S. González, J. Villanueva, O. Aguirre y J. Jiménez (2005), "Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, México: a 1681-2001 rain reconstruction", *Forest Ecology and Management*, no. 213, pp. 39-53.
- Gray, P. A. (2005), "Impacts of climate change on diversity in forested ecosystems: Some examples", *The Forestry Chronicle*, vol. 81, no. 5, pp. 655-661.
- Grissino-Mayer, H. D. (2001), "Evaluating cross dating accuracy: a manual and tutorial for the computer program Cofecha", *Tree-Ring Bull.*, no. 57, pp. 205-221.
- Gutiérrez, G. (2003), *Análisis dendrocronológico y económico de Abies vejari, Pinus hartwegii, Pinus strobiformis, Pinus teocote en la sierra de Peña Nevada, Nuevo León*, tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Ecología, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.
- Holmes, R. I. (1983), "Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement", *Tree-Ring Bull.*, no. 43, pp. 69-75.
- Huante, P., E. Rincón and T. W. Swetnam (1991), "Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacán, Mexico", *Tree-ring Bulletin*, no. 51, pp. 15-27.
- Hughes, L. (2000), "Biological Consequences of global warming: Is the signal already Apparent?", *Trends Ecol. Evol.*, no. 15, pp. 56-61.
- IPCC (2001), *Cambio climático 2001: Informe de síntesis. Resumen para Responsables de Políticas*, Tercer Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Wembley.
- IPCC (2007), *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*, Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.
- López Upton, J. (2003), *Pinus pseudostrabus. Species description in the Tropical Tree Seed Manual*, Available.
- Lugo, S. (2009), *Evaluación de experiencias de conservación comunitaria en dos comunidades del Estado de Michoacán*, tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Madrigal Sánchez, X. (1994), *Características ecológicas generales de la región forestal oriental del Estado de Michoacán, México*, Universidad Devoniana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Magaña, V. y A. Quintanar (1997), *On the use of a general circulation model to study regional climate*, 2nd. UNAM-Cray Supercomputing Conference on Earth Sciences, Cambridge University Press, Mexico, pp. 39-48.
- Márquez, G. A. V. y L. C. Mendizábal (2004), *Variación en el tamaño de conos de Pinus pseudostrabus Lindl. del Esquilón, municipio de Coacoatzintla, Veracruz, México*, Universidad Veracruzana, Foresta Veracruzana.
- McMichael, A. J., D. H. Campbell-Lendrum, C. F. Corvalán, K. L. Ebi, A. Githeko, J. D. Scheraga and A. Woodward (eds.; 2003), *Cambio climático y salud humana: Riesgos y respuestas. Resumen*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.
- Naylor, T. H. (1971), "Dendrochronology in Oaxaca: a preliminary study", *Tree-ring Bulletin*, no. 31, pp. 25-29.
- Pavia, E. G., F. Graef and J. Reyes (2006), "Pdo-EnsO effects in the climate of Mexico", *J. Climate*, no. 19, pp. 6433-6438.
- Perry, P. J. (1991), *The Pines of Mexico and Central America*, Timber Press, Portland, Oregon.
- Ramírez, I. (2001), "Cambios en las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 45, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 39-55.
- Ramírez, I., J. Azcárate y L. Luna (2003), "Effects of human activities on monarch butterfly habitat in protected mountain forest, Mexico", *The Forestry Chronicle*, vol. 79, no. 2, pp. 242-246.
- Rodríguez, R., R. Woodman, B. Balsley, A. Mabres y R. Phipps (1993), "Avances sobre estudios dendrocronológicos en la región costera norte del Perú para obtener un registro pasado del fenómeno el Niño", *Bull. Inst. Fr. d'Etudes Andines*, vol. 22, núm. 1, pp. 267-281.
- Roig, F., M. Fernández, E. Gareca, S. Altamirano y S. Monge (2001), "Estudios dendrocronológicos en los ambientes húmedos de la puna boliviana", *Artículos científicos-Técnicos, Rev Bol. de Ecol.*, núm. 9, pp. 3-13.
- Schulman, E. (1944), "Dendrochronology in Mexico 1", *Tree-Ring Bulletin*, núm. 10, pp. 18-24.
- Schulman, E. (1956), *Dendroclimatic changes in semiarid America*, Univ. of Arizona Press, Tucson.
- Scott, S. D. (1966), *Dendrochronology in Mexico*, Papers of the Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona Press, Tucson.
- SEMARNAP (1998), *Ordenamiento ecológico para la región de la Mariposa Monarca*, Instituto Nacional de Ecología, Colegio de México, A.C., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Shugart, H. H. (1984), *A Theory of Forest Dynamics*, Springer-Verlag, New York.
- Skoufias, E., V. Katja and V. Héctor (2011), *The Impacts of Climate Variability on Welfare in Rural Mexico*, Policy Research Working Paper 5555, TheWorld Bank, Poverty Reduction and Economic Management Network, Poverty Reduction and Equity Unit.
- Smith, T. M., H. H. Shugart, G. B. Bonan and J. B. Smith (1992), "Modeling the Potential Response of

- Vegetation to Global Climate Change”, *Advances in Ecological Research*, 22, pp. 13-113.
- Stahle, D. W. and M. K. Cleaveland (1993), “Southern Oscillation extremes reconstructed from tree rings of the Sierra Madre Occidental and southern Great Plains”, *Journal of Climate*, no. 6, pp. 129-140.
- Stockes, M. and T. Smiley (1968), *An introduction to tree-ring dating*, University of Chicago Press, Chicago.
- Suzan, H. y M. Franco (1981), “Estudios dendrocronológicos en México en poblaciones de *P. hartwegii*”, en *Memorias VIII Congreso de Botánica*, México, pp. 277-278.
- Suzan, H. F. y M. González (1984), “Estudios autoecológicos-dendrocronológicos en *Pinus nelsonii*”, en Lavin, S. (ed.), Informe 1984, Desarrollo Tecnológico y Científico, Universidad Autónoma de Tamaulipas, pp. 127-140.
- Tapia, L. M., A. Larios, I. Vidales, M. E. Pedraza y V. Luis (2011), “Cambio climático en la zona Aguacatera de Michoacán: Análisis de precipitación y temperatura a largo plazo”, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, núm. 2, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México, pp. 325-335.
- Therrell, M., D. Stahle, M. Cleaveland and J. Villanueva (2002), “Warm season tree growth and precipitation over Mexico”, *Journal of Geophysical Research*, no. 107, pp. 14-24.
- Thomas, C., A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, I. C. Collingham, M. Erasmus, Bfn. Ferreira De Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Milers, M. A. Ortega Horta, A. T. Peterson, O. L. Phillips and E. S. Williams (2004), “Extinction risk from climate change”, *Nature*, no. 427, pp. 145-149.
- Trejo, I., J. Hernández y L. Villers (2007), “Afectación de las comunidades vegetales de México ante el cambio climático”, en *XI Encuentro de Geógrafos de América*.
- Uriarte, S. (2003), *Historia del clima de la tierra*, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasvo.
- Villanueva, J., J. Cerano, D. Stahle, M. Therrell y M. Cleaveland (2008), “Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* y reconstrucciones de precipitación y flujo en México”, Folleto Técnico, núm. 23, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, pp. 1-49.
- Villanueva, J. and G. R. McPherson (1996), “Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New Mexico, USA and Sonora, Mexico”, *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*, no. 26, pp. 45-54.
- Villanueva, J., J. Cerano, D. Stahle, M. Therrell, M. Cleaveland e I. Sánchez (2004), “Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México”, Folleto Técnico, núm. 2, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, pp. 1-37.
- Villers, L. e I. Trejo (1998), “El impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México”, *Interciencia*, núm. 23, pp. 10-19.
- Villers, L. e I. Trejo (2000), “El Cambio climático y la vegetación en México”, Capítulo IV, Ecosistemas forestales, en Gay, C. (comp.), *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, Instituto Nacional de Ecología, UNAM, US Country Studies Program, México.
- Wigley Tml, 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*, no. 23, pp. 201-213.