

# ESTADO ACTUAL DE LA DENDROCROLOGÍA EN MÉXICO

José Villanueva Díaz<sup>1</sup>, Dave W. Stahle<sup>2</sup>,  
Malcom K. Cleaveland<sup>2</sup> y Mathew D. Therrell<sup>2</sup>

## RESUMEN

México es un país con amplia diversidad florística; sin embargo los estudios dendrocronológicos han sido poco desarrollados. En la actualidad, se han realizado más de 40 cronologías, principalmente, de los géneros *Pinus* y *Pseudotsuga*, generadas en su mayoría por instituciones extranjeras (Universidad de Arizona y Universidad de Arkansas). La dendrocronología se puede aplicar a solucionar problemas de índole ecológico, hidrológico, climático y arqueológico, entre otros. Estudios recientes indican que las cronologías mexicanas (Chihuahua y Durango) detectan a escala mundial la señal más fuerte de El Niño/Oscilación del Sur. Estas cronologías son particularmente sensibles al "monzón mexicano", fenómeno climático que afecta lo mismo, a la agricultura y ganadería del norte de México, que a las porciones del sur de los Estados Unidos de Norteamérica. Reconstrucciones de la precipitación indican que el estado de Durango ha tenido sequías prolongadas en las décadas de 1560-1570, 1850-1860 y 1950-1960. En fechas recientes se han generado cronologías de ahuehuete en los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí. En un futuro, se planea extender estas cronologías al Valle de México, cuna de importantes civilizaciones prehispánicas. Ciertas especies de los géneros *Prosopis* en áreas semidesérticas y de *Quercus*, *Cedrela*, *Liquidambar* y otras especies en áreas subtropicales, muestran potencial dendrocronológico y serán motivo de mayor investigación.

**Palabras clave:** Anillos de árboles, cronologías, dendrocronología, ENSO, monzón mexicano, reconstrucción de precipitación.

Fecha de recepción: 10 de febrero de 1999.

Fecha de aceptación: 01 de septiembre de 2003.

---

<sup>1</sup> INIFAP, CENID-RASPA. Km. 6.5 Canal Sacramento, C.P. 35150 Gómez Palacio, Durango.  
Correo-e: pepevill@raspa.inifap.conacyt.mx

<sup>2</sup> Laboratorio de Dendrocronología, Universidad de Arkansas, AR.

## ABSTRACT

Mexico is one of the countries with higher biodiversity worldwide. However, dendrochronological studies have been poorly developed. More than 40 tree-ring chronologies mainly from pines and Douglas-fir have been made in Mexico by foreign research institutions (The University of Arizona and The University of Arkansas). Many interesting climatological, ecological, and archeological problems could be addressed in Mexico with tree-ring data. Mexican tree-ring chronologies are particularly important due to their high sensitivity to climatic anomalies e.g., ENSO and the Mexican Monsoon which have great impact in the Mexican economy. A 600-year precipitation reconstruction from tree-rings suggests that Durango has been afflicted by three prolonged droughts occurred during the periods 1560-1570's, 1850-1860's, and 1950's. Two long tree-ring chronologies from Montezuma baldcypress or "ahuehuete" located at the Río Sabinas, Tamaulipas and Rio Verde, San Luis Potosi have been recently accomplished. Montezuma baldcypress is widely distributed in the Valley of Mexico, land of important prehispanic civilizations. There is interest to expand tree-ring chronologies of Montezuma baldcypress in that region. Species from the genus *Prosopis* in dryland ecosystems and from *Quercus*, *Cedrela*, and *Liquidambar* in subtropical ecosystems may have potential for dendrochronological purposes.

**Key words:** Chronologies, dendrochronology, ENSO, Mexican monsoon, precipitation reconstruction, tree rings.

## INTRODUCCIÓN

La República Mexicana forma un corredor que permite la migración de flora y fauna en el Continente Americano. La diversidad florística de México es el resultado de su compleja fisiografía, su amplia variedad de climas regionales así como su posición geográfica que conecta el norte y sur de América. La flora es rica tanto en sus áreas tropicales y subtropicales, como en sus zonas desérticas y semidesérticas; además es el centro de dispersión de importantes géneros como: *Bussera*, *Pinus* L. y *Quercus* L. Estos últimos, son muy utilizados para propósitos dendrocronológicos en varias partes del mundo. No obstante la diversidad biológica de especies con potencial dendrocronológico en el país, se ha generado poca investigación con relación a los anillos de crecimiento. Muchos problemas de índole ecológico, climatológico y arqueológico, pudieran solucionarse con el estudio de anillos de crecimiento, en especial al considerar que ya existen cronologías de árboles obtenidas en bosques de pinos y abetos en las regiones norte y centro, así como también de ahuehuete o sabino en el noreste y centro de México.

Este artículo tiene como objetivo fundamental, informar de manera general

sobre los trabajos dendrocronológicos que en México se han realizado en los últimos 30 años. La mayoría de estos estudios han sido desarrollados por personal del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas, en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México.

## Breve historia de la dendrocronología

Dendrocronología o fechado de anillos de árboles, se define como el estudio de la secuencia cronológica de anillos de crecimiento anual en árboles (Stokes y Smiley, 1968).

Andrew Douglas, "Padre de la Dendrocronología", inició su carrera como asociado al Observatorio del Colegio de Harvard. Posteriormente, a partir de 1904, se desempeñó como asistente del director del Observatorio Astronómico en Flagstaff, Arizona.

Una línea de investigación de Douglas consistía en el estudio de las manchas solares, que consideraba afectaban las condiciones climáticas de la tierra, por lo que buscaba una relación entre la actividad cíclica de éstas y el comportamiento del clima. En 1901, Douglas observó en un corte de madera de pino, variaciones en el ancho de sus anillos, lo cual parecía estar influenciado por deficiencias de humedad; razonó que si lo anterior era verídico, entonces los años secos se registrarían como anillos angostos y por lo tanto podrían utilizarse como "proxy" (aproximación indirecta) para reconstrucciones climáticas.

El mismo autor en 1911 estableció el principio de fechamiento cruzado o "crossdating", técnica que consiste en estudiar los patrones de anillos anchos y angostos, comportamiento que puede ser usado como herramienta cronológica para identificar el año exacto en el que los anillos fueron formados (Douglas, 1941). Una segunda implicación de este descubrimiento fue que el patrón de ancho de anillos por sí mismo, representa un registro de condiciones ambientales en una región determinada. Para 1914, Douglas había generado una cronología de *Pinus ponderosa* P. & C. Lawson con una extensión aproximada de 500 años, con la que demostró que el ancho de anillos estaba relacionado directamente a la precipitación invernal, en especial, aquella que se almacena en el perfil del suelo antes del inicio de la estación de crecimiento.

En el año de 1937 fundó el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona, que se convirtió a partir de entonces, en la primera institución educativa dedicada al estudio de anillos de los árboles. En esa etapa, dos estudiantes sobresalieron en el desarrollo y aplicación de los análisis de anillos de árboles a otros problemas, nuevas especies y a una amplia variedad de condiciones ecológicas: Waldo S. Glock, geólogo, que se dedicó a la

producción de técnicas cualitativas analíticas y Edmund Schulman, astrónomo y climatólogo que se enfocó hacia los análisis estadísticos y desarrollo de técnicas dendrocronológicas (Fritts, 1976).

Un sinnúmero de científicos alrededor del mundo en los últimos 20 años, han contribuido a mejorar los análisis dendrocronológicos y a extender su aplicación práctica a diversos campos de la ciencia, como: la ecología, la climatología, la arqueología, etc. (Holmes, 1983; Cook y Holmes, 1984; Cook *et al.*, 1996).

## Investigación histórica de la dendrocronología en México

Las primeras cronologías de anillos de árboles en México fueron producidas en el periodo 1940-1950 (Schulman, 1944; Schulman, 1956; Scott, 1966). Estas cronologías se derivaron de rodales de *Pinus* sp., *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco y *Abies durangensis* Martínez ubicados cerca del Salto, Durango. Schulman (1944) examinó de manera similar, una variedad de especies y muestras arqueológicas de *Cupressus* L., *Taxodium mucronatum* Ten y *Abies religiosa* (HBK) Schltdl. et Cham. distribuidas en el centro del país; no obstante, sólo fue capaz de desarrollar una cronología corta de un rodal de *A. religiosa*, localizado al sur de la Ciudad de México. Schulman no fue optimista acerca del potencial dendrocronológico de *T. mucronatum*. Sin embargo, otra especie muy emparentada, *Taxodium distichum* (L) L.C. Rich, produce anillos de crecimiento sensibles a variaciones anuales de precipitación. En el sureste de los Estados Unidos, esta especie ha sido utilizada para reconstrucciones históricas de precipitación (Stahle y Cleaveland, 1992). Por otra parte, dos cronologías de *T. mucronatum* con una longitud 300 y 500 años de edad fueron derivadas para sitios en Sabinas, Tamaulipas y Río Verde, San Luis Potosí, respectivamente.

Los esfuerzos de Schulman para desarrollar cronologías en México fueron mejorados de manera considerable a consecuencia de varias expediciones de investigación realizadas en la década de 1970, como parte del "Proyecto mexicano de anillos de árboles" de la Universidad de Arizona. En dicho proyecto se generaron 20 cronologías de árboles, que además incluyeron varias cronologías cortas, procedentes de madera encontrada en iglesias de misiones Jesuitas y Franciscanas de la región Tarahumara de Chihuahua y Durango. Estas cronologías están archivadas en el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona, y algunas de ellas se pueden consultar a través del Banco Internacional de Anillos de Árboles (ITRDB, por sus siglas en inglés) con sede en el Centro Nacional Geofísico de Datos en Boulder, Colorado. Sin embargo, muchas de esas cronologías no se han usado para propósitos de reconstrucción paleoclimática en México.

El único registro de uso de anillos de árboles con fines arqueológicos se refiere al fechado de las ruinas prehistóricas de Casas Grandes, Chihuahua

(Scott, 1966). Este investigador tuvo éxito en desarrollar una cronología flotante (perdida en el tiempo) de 485 años de longitud con madera de coníferas procedente del sitio de Casas Grandes. La falta de cronologías modernas de suficiente longitud en sitios cercanos a las ruinas, obligó a Scott a realizar comparaciones estadísticas entre su cronología flotante de Casas Grandes y las cronologías disponibles para el norte de Arizona y Nuevo México. Después de múltiples análisis de correlación simple, entre todos los posibles segmentos de comparación de las series de tiempo disponibles, Scott (1966) concluyó que la cronología flotante de Casas Grandes databa para el período 851 a 1336 D.C.

La gran mayoría de las cronologías de anillos de árboles disponibles para México, se han generado en los bosques templados y subtropicales del noroeste. No obstante la abundancia, distribución y diversidad de los bosques tropicales presentes en el territorio nacional, muy poca investigación dendrocronológica se ha desarrollado en estos ecosistemas. El problema fundamental es que sólo unas cuantas especies tropicales producen verdaderos anillos anuales de crecimiento, susceptibles de ser fechados exactamente al año de su formación.

Naylor (1971) evaluó sin lograr mucho éxito, el potencial dendrocronológico de cuatro especies de pinos oaxaqueños. Sin embargo, Suzan y Franco (1981) pudieron fechar en *Pinus hartwegii* Lindl. localizado en bosques de altura de los volcanes del centro de México, un período de 200 años (1780-1980); encontraron que los anillos de esta especie no son muy sensibles a cambios climáticos (poca variabilidad en el ancho de anillo o especies complacientes). Suzan y González (1984) y Suzan (1985) investigaron la respuesta climática de cronologías cortas de *P. nelsonii* Shaw en la región Miquihuana de Tamaulipas. Serrano *et al.* (1990) analizaron el potencial dendrocronológico de *Abies religiosa* para reconstruir la precipitación y temperatura en el Desierto de los Leones, México. No obstante, fueron Huante *et al.* (1991) quienes demostraron la capacidad dendrocronológica de esta especie en Michoacán, al generar una cronología corta, pero climáticamente sensitiva, que data del período 1922-1986.

Esfuerzos adicionales para hacer reconstrucción climática con el uso de anillos de crecimiento, han sido citados por Valiente-Banuet y Ezcurra (1990), al usar incrementos diamétricos de madera de mezquite (*Prosopis laevigata*) (Humb. and Bonpl. ex Wild) M.C. Johnston y relacionarlos con eventos de precipitación y características de la vegetación en el Valle de Tehuacán, Puebla.

En este trabajo se presenta el desarrollo exitoso de cronologías de *Pinus montezumae* Lamb. y *Taxodium mucronatum* localizados en latitudes tropicales de los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí. Con base en estos resultados, existe alta posibilidad de que especies tropicales del género *Quercus*, *Liquidambar* y *Cedrela* entre otras, puedan ser aptas para fines dendrocronológicos.

En las regiones templadas y subtropicales del norte de México se generaron más de 40 cronologías (sin considerar las series dendrocronológicas de crecimiento temprano y tardío desarrolladas en 10 de esos sitios) (Cuadros 1 y 2; Figura 1). Resulta sorprendente que estos excelentes "proxy" del clima no hayan sido utilizados en reconstrucciones cuantitativas de la precipitación o de variaciones de temperatura en México. Algunas de estas series se han usado para reconstrucciones climáticas a gran escala, que cubren el oeste de Estados Unidos e incluyen porciones del norte de México (Fritts, 1965).

Las únicas reconstrucciones climáticas realizadas específicamente para México a partir de anillos de árboles, son estimaciones de precipitación y del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés) para el área fronteriza del norte de Sonora (Villanueva-Díaz, 1996; Villanueva-Díaz y McPherson, 1995; 1996). Sin embargo, Douglas (1980) usó las cronologías más extensas de California, Baja California, Chihuahua y Durango para reconstruir variaciones en temperatura de la superficie del mar (SST, por sus siglas en inglés) en el este del Océano Pacífico, cerca de Baja California. Los trabajos de Douglas son muy interesantes y permanecen como una de las reconstrucciones dendrocronológicas de SST de mejor calidad científica.

Las cronologías de anillos de árboles de México resultan particularmente importantes, debido a que la mayoría de ellas están bien correlacionadas con la precipitación invernal y con índices de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés). La precipitación invernal en el norte del país con frecuencia es modulada por el ENSO, con inviernos húmedos, típicos de eventos cálidos (El Niño), e inviernos secos prevaletentes durante sucesos fríos (Douglas y Englehart, 1981; Ropelewski y Halpert, 1986; 1989; Cavazos y Hasterath, 1990; Allan *et al.*, 1996).

La influencia climática del ENSO se refleja en cronologías de anillos de árboles derivadas de coníferas del noroeste de México. Diversos estudios han usado los datos de dendrocronologías mexicanas en el intento de reconstruir índices de ENSO (Lough y Fritts, 1985; Michaelsen, 1989; Michaelsen y Thompson, 1992; Cleaveland *et al.*, 1992; Lough, 1992; Stahle y Cleaveland, 1993; Stahle *et al.*, 1998). Con base en estos estudios, resulta claro que las cronologías de anillos de árboles del norte de México detectan a nivel mundial la señal más clara del ENSO.

El fuego es un elemento clave en la dinámica de los ecosistemas forestales de coníferas del oeste de Norte América, incluyendo los bosques templados del norte de México. Fulé y Covington (1996), al hacer el análisis de anillos de crecimiento de árboles con cicatrices producidas por incendios, establecieron que los bosques de pino y los bosques mixtos de pino-encino del noroeste de Durango, presentaron un régimen similar o frecuente de incendios de baja

Cuadro 1. Cronologías mexicanas de anillos de árboles desarrolladas principalmente por personal del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona.

Nombre del sitio	SP <sup>1</sup>	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Periodo
Baja/N/Pond, B.C.	PQ	32° 15'	115 50	1500	1659-1960
Baja/C/Vallecito, B.C.	PJ	32° 05'	115 25	2151	1564-1971
San Pedro Mártir, E, B.C.	PJ	31° 10'	115 30	2133	1449-1971
San Pedro Mártir Observatorio, B.C.	AC	31° 03'	115 28	2700	1650-1995
Baja/C/Tasajera-LIDE, B.C.	LD	31° 00'	115 24	2286	1473-1972
Baja/C/Tasajera-ABCO, B.C.	AC	31° 00'	115 24	2286	1664-1971
Baja/Tasajera-PIJE, B.C.	PJ	31° 00'	115 00	2134	1560-1971
Tasajera, B.C.	PJ	30° 59'	115 31	2440	1450-1993
Tasajera, B.C.	PL	30° 59'	115 31	2440	1409-1993
Tasajera, B.C.	AC	30° 59'	115 31	2440	1601-1993
Sierra los Ajos, Son.	PP	31° 55'	109 55	2400	1838-1992
Sierra los Ajos, Son.	PM	31° 55'	109 55	2400	1838-1992
Sierra los Ajos, Son.	PD	31° 55'	109 55	2400	1838-1992
Cañón Grande, Chih.	PM	30° 32'	108 35	2300	1678-1969
Tres Ríos, Chih.	PP	30° 20'	108 30	2347	1636-1965
Rancho Escondido, Chih.	PP	30° 10'	108 15	2121	1630-1965
Sierra del Nido, Chih.	PM	29° 31'	106 49	2333	1569-1971
Sierra del Nido, Chih.	PF	29° 31'	106 49	2333	1634-1971
Tomochic, Chih.	PM	28° 25'	107 50	2250	1680-1973
Creel, Chih.	PM	27° 42'	107 36	2200	1643-1973
Río Verde, Chih.	PM	26° 18'	106 30	2500	1634-1973
Sierra del Carmen, Coah.	PM	28° 56'	106 30	2030	1675-1971
Sierra del Carmen, Los Cojos, Coah.	PC	28° 56'	102 37	2000	1827-1971
El Vergel, Dgo.	PC	26° 45'	106 06	2000	1763-1965
Cerro Baraja, Dgo.	PM	26° 22'	106 04	3170	1595-1973
Los Ángeles, Aserradero, Dgo.	PM	26° 05'	106 05	2800	1489-1973
Cuevecillas, Dgo.	PM	25° 09'	106 23	2500	1651-1973
Ciénega N.S. Guadalupe, Dgo.	PI	25° 04'	106 18	2300	1676-1973
Túnel de Santa Rita, Dgo.	PM	23° 45'	105 31	2590	1668-1965
Región este El Salto, Dgo.	PM	23° 45'	105 31	2500	1483-1972
Región oeste El Salto, Dgo.	PM	23° 20'	105 36	2590	1592-1965
Sierra Chincua, Mich.	AR	19° 40'	100 20	2800	1922-1983

<sup>1</sup>SP= Especies; Periodo = Primer y último año de estas cronologías de ancho total de anillo. PQ = *Pinus quadrifolia*; PJ = *Pinus jeffreyi*; AC = *Abies concolor*; LD = *Libocedrus decurrens*; PL = *Pinus lambertiana*; PP = *Pinus ponderosa*; PM = *Pseudotsuga menziesii*; PD = *Pinus discolor*; PF = *Pinus flexilis*; PC = *P. cembroides*; PI = *Pinus durangensis*; AR = *A. religiosa*.

Cuadro 2. Cronologías mexicanas de anillos de árboles desarrolladas por personal del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas (U.A.).

Nombre del sitio	TC <sup>1</sup>	SP	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Periodo
Mesa del Campanero, Son.	RW, EW, LW	AC	28° 20'	109° 02'	2100	1806-1993
Las Tinajas, Chih.	RW, EW, LW	PM	30° 24'	108° 24'	2070	1621-1993
El Tabacote, Chih. (actualiza cronología Tomochic)	RW, EW, LW	PM	28° 20'	108° 00'	2250	1583-1993
Creel Airstrip, Chih. (actualiza cronología Creel)	RW, EW, LW	PM	27° 42'	107° 36'	2200	1644-1993
Cerro Potosi, N. L.	RW, EW, LW	PM	24° 50'	100° 04'	2800	1845-1995
C. Baraja, Dgo. (actualiza cronologías C. Baraja y Los Angeles)	RW, EW, LW	PM	26° 24'	106° 05'	3170	1376-1993
Cuevecillas, Dgo. (actualiza cronología Cuevecillas)	RW, EW, LW	PM	25° 09'	106° 23'	2500	1651-1993
Ciénega N.S. Guadalupe, Dgo. (actualiza cronología Guadalupe)	RW, EW, LW	PI	25° 04'	106° 18'	2500	1675-1993
El Salto, Dgo. (actualiza cronologías El Salto y Sta. Rita Tunnel)	RW, EW, LW	PM	23° 45'	105° 31'	2590	1481-1993
Rancho del Cielo, Tamps.	RW	PM	23° 04'	099° 16'	1800	1772-1995
Río Sabinas, Tamps.	RW	MB	23° 09'	099° 08'	0317	1474-1995
Río Verde, S. L. P.	RW	MB	21° 41'	099° 47'	0820	1574-1996
Pinal de Amole, Qro.	RW, EW, LW	PM	21° 10'	099° 24'	2560	1731-1998
Las Bateas, Coah.	RW, EW, LW	PM	25° 16'	100° 29'	3300	1780-2000
Cerro la Peña, Oax.	RW, EW, LW	PM	17° 10'	96° 38'	2550	1561-2001
El Maipaso, Ver.	RW, EW, LW	PM	20° 24'	98° 08'	2580	1730-1999

<sup>1</sup>TC = Tipo de cronología (RW = Ancho total de anillo, EW = madera temprana, LW = madera tardía), SP = especies, Periodo = Primer y último anillo de las cronologías. AC = *Abies concolor*, PM = *Pseudotsuga menziesii*, PI = *Pinus durangensis*, MB = *Pinus montezumae*, TM = *Taxodium mucronatum*.



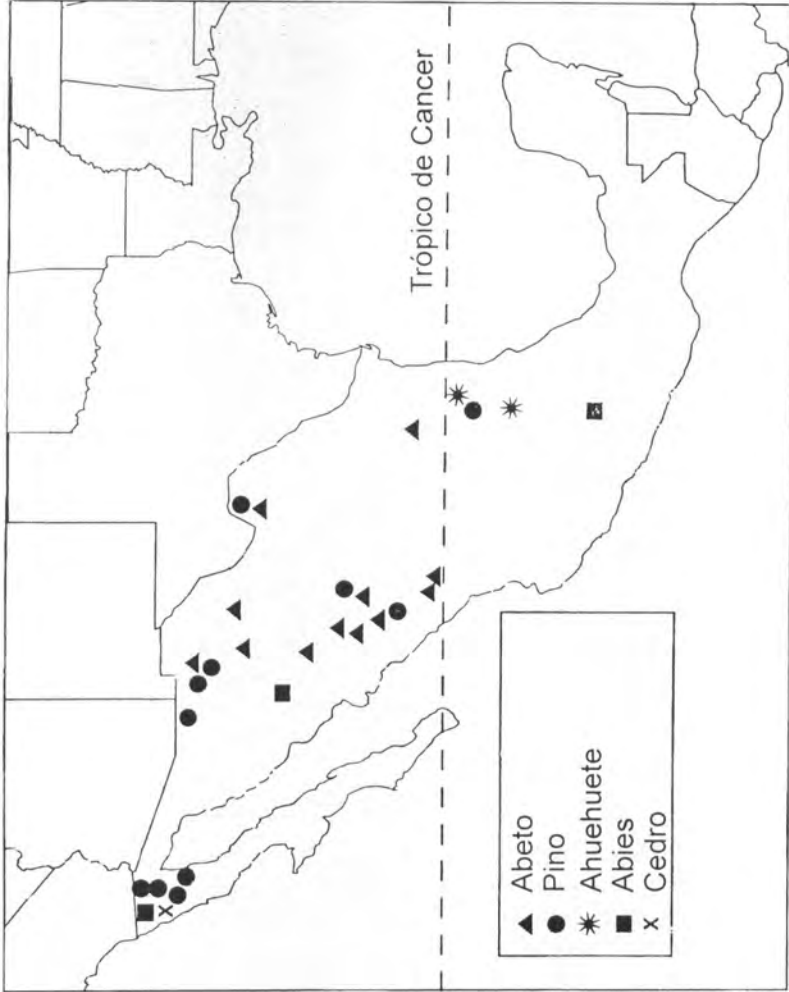


Figura 1. Localización de cronologías de anillos de árboles en México, desarrolladas por Instituciones de investigación extranjeras. Cada símbolo puede representar más de una cronología.

intensidad, hasta antes del inicio del aprovechamiento de estos bosques, que ocurrió alrededor de 1950.

El régimen de incendios modificado por la acción del hombre, por lo general conlleva a un incremento en la densidad del bosque, acumulación de material muerto, modifica la composición de especies y favorece mayor intensidad del fuego, sobre todo, cuando ocurre un incendio después de un periodo prolongado de control o supresión. Patrones similares al indicado se observaron en bosques mixtos de pino-encino en las vertientes secas de la Sierra Madre Occidental en Durango (Fulé y Covington, 1998). Unos cuantos bosques mexicanos en esta región, todavía están sujetos a un régimen frecuente e ininterrumpido de incendios; sin embargo, el cambio en el uso del suelo y la alteración de este último puede poner en peligro la conservación de estos ecosistemas, ricos en biodiversidad (Fulé y Covington, 1999).

Villanueva-Díaz y McPherson (1995; 1996) y Villanueva-Díaz (1996) usaron anillos anuales de crecimiento en una investigación de patrones de uso del suelo, al norte y al sur de la frontera México-Estados Unidos. Los resultados indican que las diferencias en la supresión de incendios, sobrepastoreo y aprovechamientos forestales tuvieron un marcado impacto en la dinámica de las especies forestales en ambos lados de la frontera. Estos investigadores, también desarrollaron cronologías climáticamente sensitivas de abeto o Douglas-fir (*Pseudotsuga mensiezii*), pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) y pino piñonero (*Pinus discolor* D. K. Bailey & Hawksworth) en la Sierra de Ajos, ubicada en el noreste de Sonora (Cuadro 1). Kaib (1998) usó anillos de crecimiento e información histórica, para investigar el historial de incendios en los bosques de pino-encino y pastizales adyacentes, en la misma región fronteriza del norte de Sonora y sur de los Estados Unidos. Los resultados evidencian una estrecha relación entre la ocurrencia de incendios y el periodo de guerra entre las tribus americanas.

## Investigación dendrocronológica actual en México

El interés por la dendrocronología en México ha aumentado en los últimos cinco años. Un factor importante ha sido el soporte técnico y económico otorgado por organismos internacionales y nacionales para estudios de variabilidad histórica del clima; estudios del comportamiento histórico de patrones de circulación atmosférica, y frecuencia e impacto ecológico de incendios, en términos de dinámica de poblaciones y tasas de crecimiento anual.

Nuevos estudios con anillos de árboles analizan la variabilidad histórica del clima en México. Por ejemplo, Biondi (2001) en una cronología de *P. hartwegii* de 400.

años de longitud procedente del Nevado de Colima, indica que la precipitación del verano debido al "monzón" es la que más influye en el crecimiento de la especie. Therrel *et al.* (2002), con el uso de cronologías de árboles de las regiones centro y norte de México definieron el inicio del periodo de lluvias en estas regiones y su relación con el "monzón mexicano".

Reconstrucciones de precipitación como las de Díaz (2002), en Baja California Sur, muestran la variabilidad de la precipitación en el periodo 1833-1996 y la presencia de periodos secos (1939-1958) y húmedos (1983); así como su relación con el fenómeno de El Niño.

Las cuencas del norte de México son áreas tributarias de sistemas fluviales de importancia socioeconómica para la región; caso específico son los ríos Nazas y Aguanaval en el estado de Durango y el río Bravo en el área fronteriza de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. La deforestación acelerada en las cuencas altas de la Sierra Madre Occidental, aunada a la presencia de una sequía que se ha prolongado desde 1993, han afectado seriamente la disponibilidad de agua para el desarrollo social y económico de la Comarca Lagunera; caso similar ocurre en las cuencas del río Bravo, donde la disminución en el caudal del agua ha provocado conflictos transfronterizos con las dotaciones de agua entre México y EUA.

Díaz (2002) y Cleaveland *et al.* (s/f), en reconstrucciones de la precipitación invierno-primavera de 346 años para Chihuahua y de 600 años para Durango, citan la presencia de sequías aun más prolongadas y extremas que la actual en particular para los periodos 1540-1579, 1751-1765, 1798-1810, 1850-1860 y 1950-1965.

Además de los estudios dendrocronológicos publicados en México, se tienen en marcha algunos proyectos de investigación. Nora Martineja del Centro de Investigaciones Científicas de Ensenada, Baja California (CICESE) está involucrada en un proyecto de investigación en el estado de Jalisco, para determinar el potencial dendrocronológico de *Celaenodendron mexicanum*. Standl. Con el fin de estudiar variaciones climáticas en la región del Desierto Sonorense, Dave Meko, del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona, desarrolló nuevas cronologías de *Pinus lambertiana* Dougl., *Abies concolor* (Gard & Glend.) Lindl. ex Hilderbr. y actualizó colecciones de cronologías previas de las montañas del norte de Baja California; F. Biondi de la Universidad de Nevada y colaboradores de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, trabajan para extender la red de cronologías de anillos de árboles a lo largo de la costa oeste de los Estados Unidos y México, con el fin de estudiar la interacción del clima con la corriente californiana, ENSO y otros patrones de circulación atmosférica que influyen el clima en esa región.

El Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas y el Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en México, con financiamiento del Instituto Inter-Americano (IAI, por sus siglas en inglés) están colaborando en un esfuerzo conjunto, para ampliar en área y tiempo las cronologías de árboles sensitivas al clima en México. El interés principal se centra en desarrollar un mayor número de "proxys" dendrocronológicos, para reconstrucciones de precipitación de invierno y de verano, así como para mejorar el registro paleoclimático de ENSO y analizar otros patrones de circulación atmosférica que afectan el clima en México. De manera similar, se pretende extender la red de cronologías de ahuehuete y de otras especies en el trópico mexicano. A continuación se discuten los resultados preliminares derivados de dicha colaboración.

Las cronologías de anillos de árboles que se han desarrollado y registrado en México se resumen en los cuadros 1 y 2 y en la figura 1. Muchas de las cronologías mexicanas muestran una correlación estadística significativa con el Índice de Oscilación del Sur (SOI, por sus siglas en inglés) en el periodo invernal; recientemente se ha trabajado en la actualización y extensión de las procedentes de la Sierra Madre Occidental. Cinco, actualizadas o nuevas de abeto, se han compilado en Chihuahua, Durango, Coahuila, Querétaro, Tlaxcala y Oaxaca, e incluyen cronologías de madera temprana (EW, por sus siglas en inglés), madera tardía (LW, por sus siglas en inglés) y de ancho total de anillo (RW, por sus siglas en inglés) (Cuadro 2).

Las cronologías (EW, LW, RW) de Chihuahua, Durango y de las Montañas Guadalupe al suroeste de Texas presentan una fuerte señal climática regional. Por ejemplo, el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) indica que las cronologías de madera temprana (EW), se agrupan con mayor intensidad en el primer componente principal (PC, por sus siglas en inglés), el cual representa la señal climática regional y explica 62% de la varianza en este arreglo cronológico. Los valores de las cronologías de madera temprana obtenidas en el primer componente se extienden de 1647 a 1993. Estos valores están correlacionados significativamente con la precipitación invernal promediada para varias estaciones meteorológicas ubicadas en el oeste de Chihuahua y Durango. Los valores denotan que la sequía para la década de 1950 fue la más severa en el siglo XX, pero fue igualada y superada en severidad por la sequía prolongada de las décadas de 1850 y 1860 (Figura 2). Un análisis reciente de reconstrucción de precipitación de invierno y de verano, con cronologías generadas en el estado de Durango, sugiere que la sequía más severa que impactó a ese estado en los últimos 600 años, ocurrió en los periodos 1560-1570, 1850-1860 y el último en la década de 1950-1960 (Stahle *et al.*, 1999) (Figuras 3 y 4).

El noroeste de México tiene un régimen de precipitación marcadamente

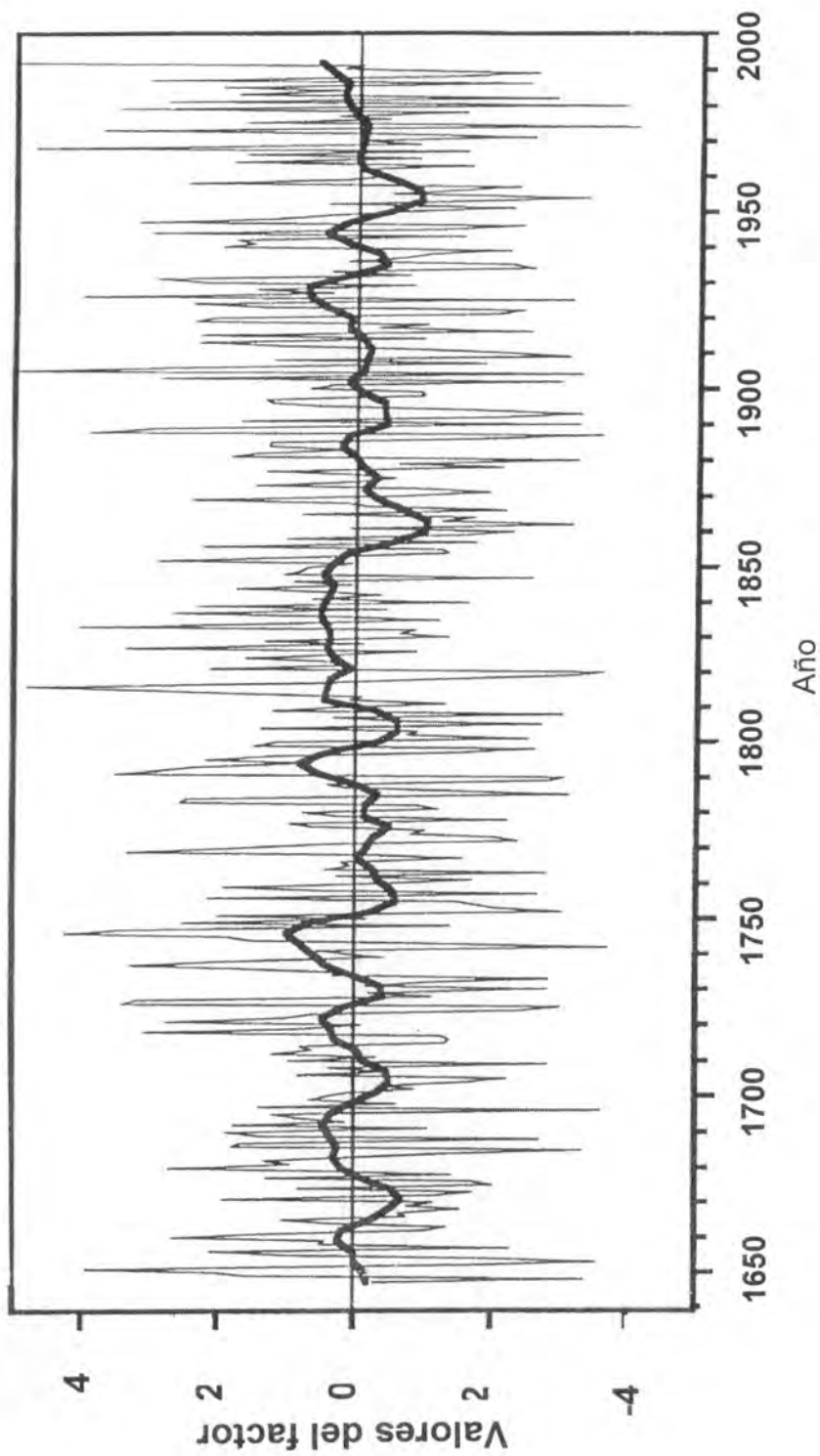


Figura 2. Valores del factor del primer componente principal, calculado para un grupo de seis cronologías de madera temprana de abeto en México y oeste de Texas, USA. Las cronologías incluidas en este análisis fueron: El Salto y Cerro Baraja, Durango; Creei, El Tabacote y Las Tinajas, Chihuahua; y Guadalupe Peak, Texas.

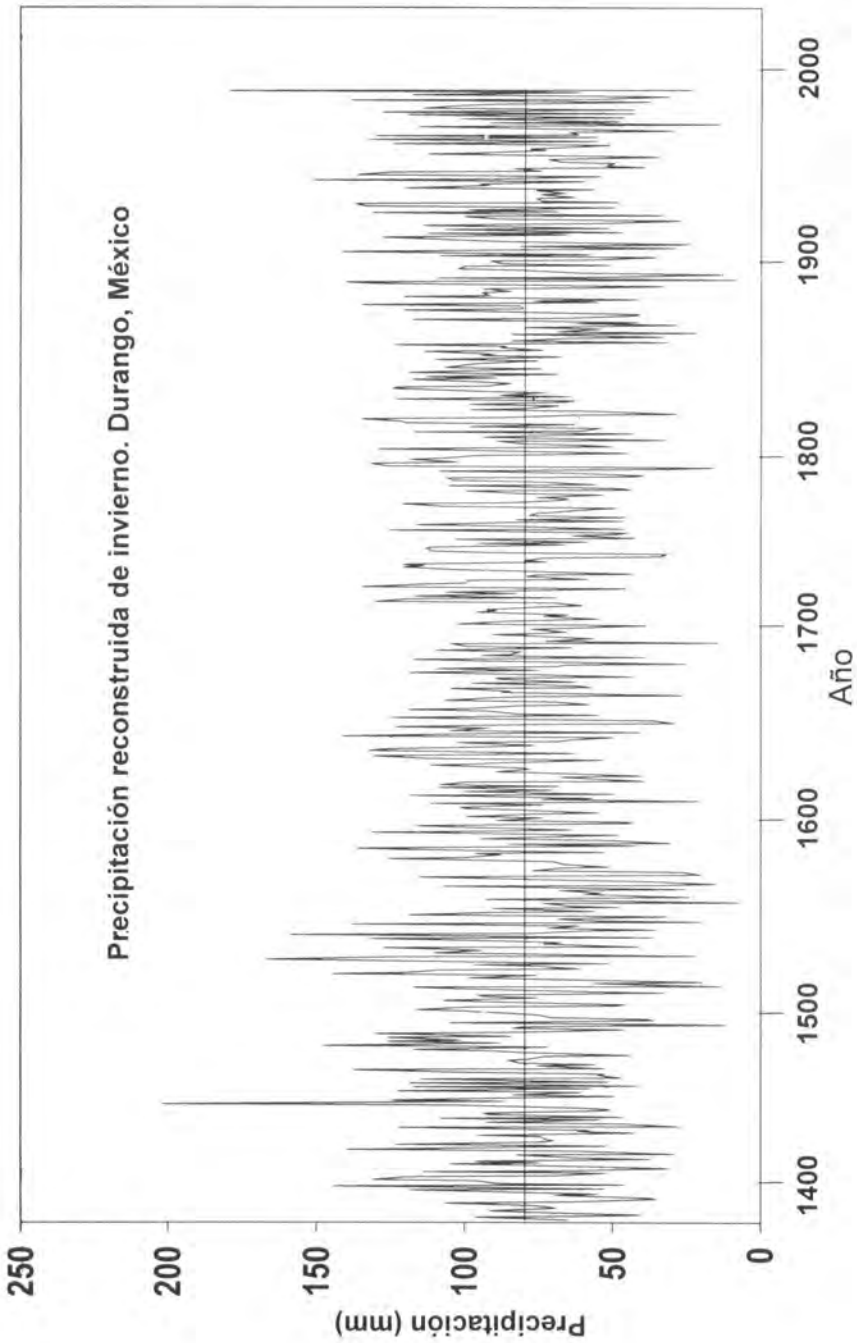


Figura 3. Seiscientos años de reconstrucción de precipitación de invierno en Durango, México con el uso de cronologías de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii*.

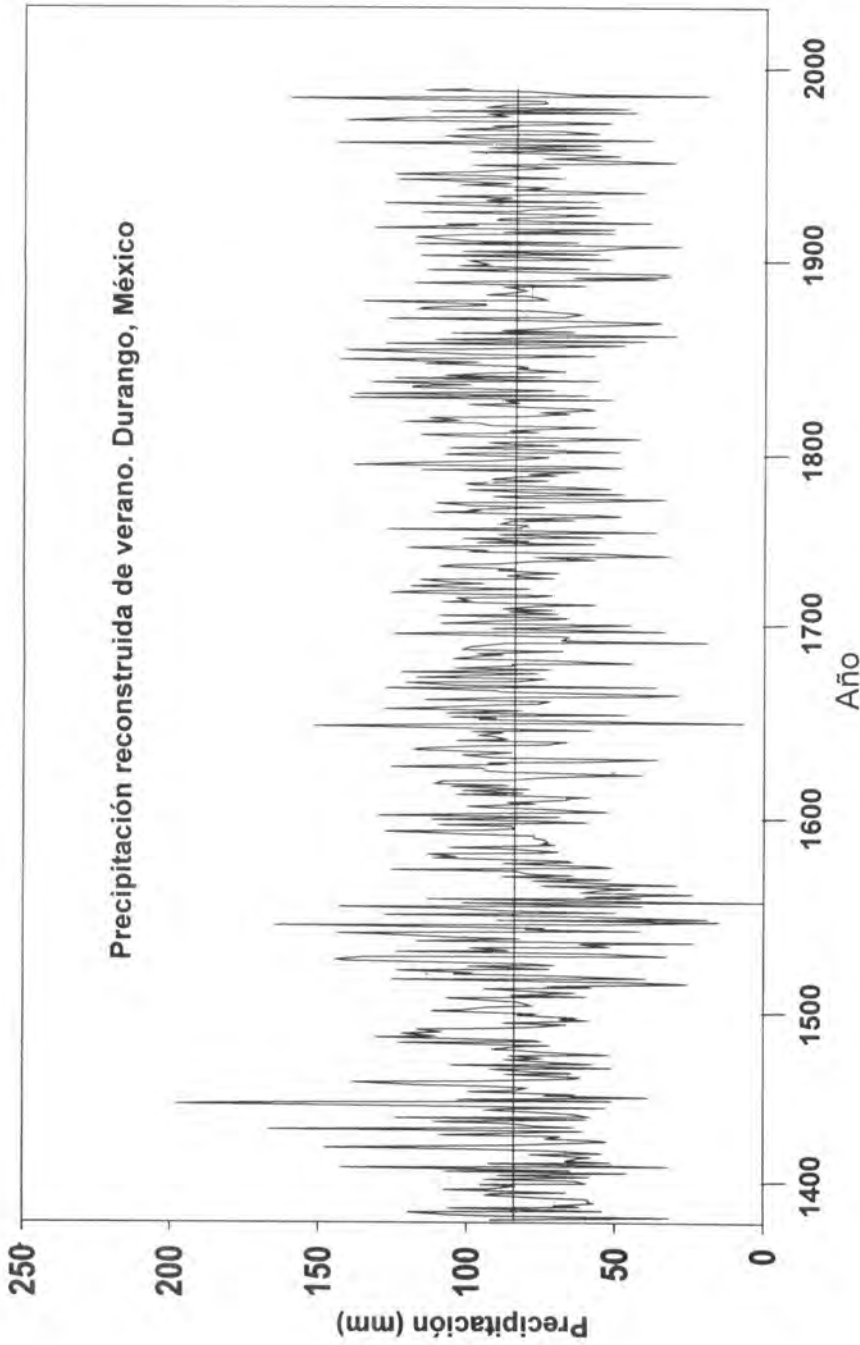


Figura 4. Seiscientos años de reconstrucción de verano en Durango, México con el uso de cronologías de madera tardía de *Pseudotsuga menziesii*.

estacional, con más del 60% de la precipitación total anual en los meses de verano (junio-agosto), conocido como "monzón mexicano" (Douglas *et al.*, 1993). Los patrones de circulación atmosférica que originan la precipitación de verano en esta zona del país, no son idénticos a los patrones a gran escala responsables de la precipitación invernal.

En los árboles de abeto de esta región, se diferencian los eventos de precipitación invernal y de verano con la formación en el anillo de crecimiento anual, de madera temprana y tardía. Estos muestran una separación visible entre las células relativamente largas y de pared celular delgada del xilema de la madera temprana y las células más pequeñas y de pared celular más gruesa de la madera tardía. Estos dos componentes del anillo anual integran las distintas bandas claras de madera primaveral (EW) y madera veraniega (LW), que pueden ser medidas y fechadas con exactitud al periodo de formación.

Para discriminar de manera objetiva entre las porciones de EW y LW se usó el criterio óptico. Cuando la división entre EW y LW fue abrupta, los dos componentes del anillo se separaron exactamente en esa línea divisoria; pero cuando la separación entre ambos fue gradual o difusa, primero se identificó la zona de transición y luego se consideró la línea divisoria entre EW y LW en el centro de la zona de transición. Si un anillo, en particular, mostraba múltiples bandas de crecimiento intraanual (anillos dobles o falsos anillos), el límite entre EW y LW se midió al inicio del primer anillo falso. Las propiedades estadísticas de estas cronologías (EW, LW) son excelentes, como se evidencia por el error estándar tan pequeño y por una alta relación señal-ruido, lo cual avala la confiabilidad del criterio de discriminación utilizado para diferenciar ambas bandas de crecimiento. Desde el punto de vista dendroclimático, señal se define como la variación en el ancho de los anillos debido a factores climáticos; por otra parte, ruido es la variación en ancho de anillos no atribuible a factores climáticos.

La Figura 5 ilustra las cronologías EW y LW de abeto en su límite de distribución al sur de la Sierra Madre Occidental. Los dos tipos de cronologías se generaron de muestras maderables procedentes de los mismos árboles, pero la correlación entre las cronologías EW y LW fue solo  $r = 0.52$  ( $p < 0.0001$  para 501 años). La correlación entre cronologías de EW y LW procedentes del sitio "Las Tinajas", Chihuahua disminuyó notablemente,  $r = 0.15$  ( $p < 0.01$  para 367 años). La baja correlación entre cronologías EW y LW de la Sierra Madre Occidental sugiere que estos "proxys" de clima estacional, quizás respondan a diferentes condiciones ambientales en las estaciones de invierno y de verano.

La Figura 6 muestra la respuesta climática estacional de cinco cronologías EW y LW de abeto procedentes de la Sierra Madre Occidental. La cronología EW está correlacionada significativamente con la precipitación acumulada de octubre a marzo, que precede a la estación de crecimiento, cuando las células de la



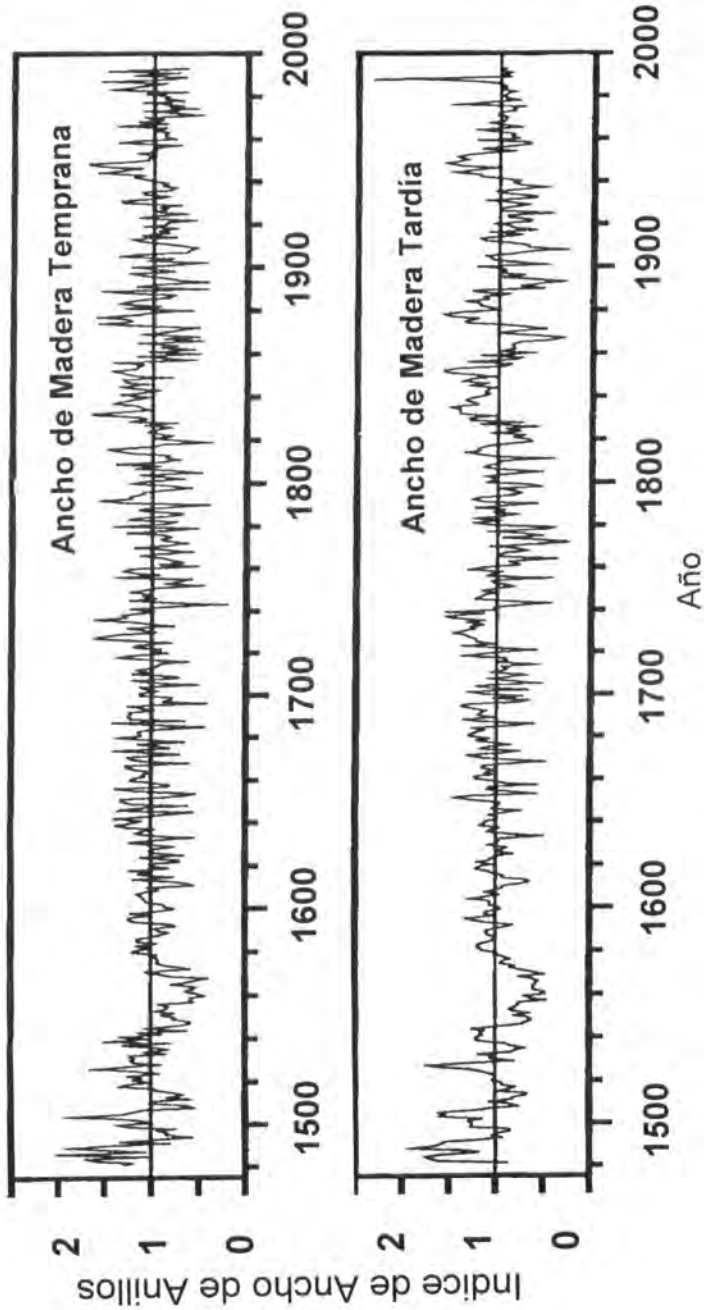


Figura 5. Cronologías de madera temprana y tardía derivadas de árboles de abeto cerca de El Salto, Durango ( $r = 0.52$ ,  $p < 0.0001$ ), para el período común de 501 años.

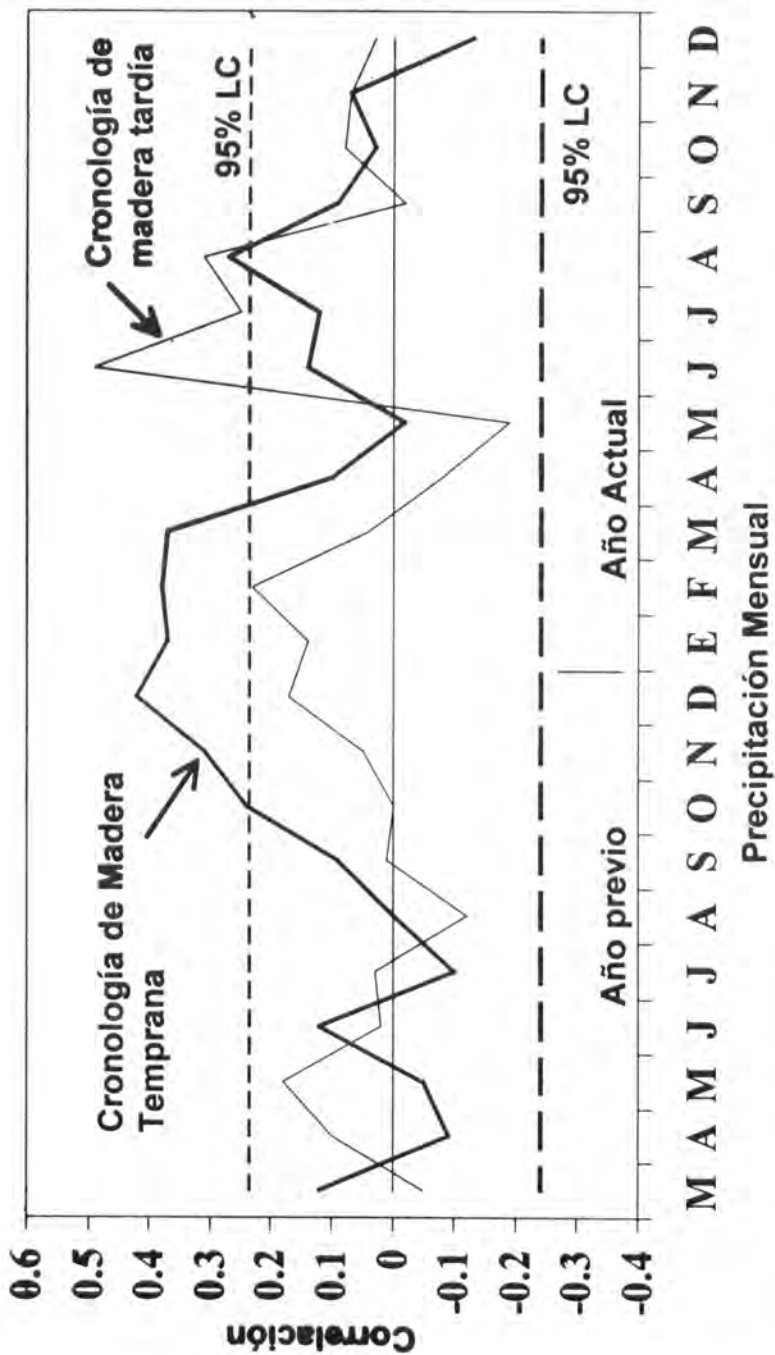


Figura 6. Respuesta climática mensual de cronologías de madera temprana y tardía de árboles de *Pseudotsuga menziesii* localizados en la Sierra Madre Occidental de México.

madera temprana típicamente inician su crecimiento. Esta correlación se piensa que es producto de la recarga de humedad del suelo o bien de la ausencia de almacenamiento durante inviernos secos. La cronología LW está correlacionada significativamente con la precipitación estacional de junio a agosto (la estación cálida en esta región de México). Dicha figura indica una adecuada discriminación entre la precipitación de invierno y de verano y las cronologías promedio regionales de EW y LW del norte de México, e implica que información importante relacionada a la precipitación estacional puede perderse con el uso de cronologías que involucran el ancho total de anillos (RW). Esta conclusión se fundamenta en el hecho de que las cronologías EW del norte de México producen la más alta y estable correlación con el SOI de invierno, que la registrada con cronologías RW de los mismos sitios (Stahle *et al.*, 1998).

La teleconexión regional de ENSO, con las cronologías EW de abeto disponibles para México y para el suroeste de los Estados Unidos, se presenta en la Figura 7. El rango de correlaciones significativas fluctúa entre 0.36 y 0.55 y sugiere que quizás de 10 a 30% de la variabilidad en crecimiento de los bosques de coníferas a lo largo de la Sierra Madre Occidental pudiese originarse por un gradiente de presión sobre el Océano Pacífico Ecuatorial. Si esta teoría se confirma, representaría grandes oportunidades de manejo para bosques comerciales debido, principalmente, a la habilidad actual de predecir el clima regional basado en información de ENSO.

Las cronologías mexicanas EW en combinación con información dendrocronológica del sureste de los Estados Unidos y Java, Indonesia, se usaron en años recientes para desarrollar una reconstrucción del SOI para la estación invernal en el período 1706-1977 D.C. (Stahle *et al.*, 1998.). La reconstrucción indica un incremento significativo en la frecuencia de eventos cálidos y fríos después de 1870. Este resultado es una fuerte motivación para un mayor desarrollo y análisis de "proxys" dendrocronológicos de ENSO en el país.

Las cronologías LW de abeto en México y del suroeste de Texas están bien correlacionadas con la precipitación de verano registrada en Durango (Figura 8). Aunque el grado y significancia de la señal de precipitación de verano no es tan marcada como cuando las cronologías EW se comparan con la precipitación invernal, o con los índices de oscilación del sur (Figura 7), refleja la baja coherencia espacial de precipitación convectiva durante el verano. La señal espacial de la precipitación de verano en Durango registrada por las cronologías LW, se extiende aproximadamente 700 km. Estas nuevas cronologías LW deben por lo tanto, proporcionar un importante registro de la variabilidad a largo plazo del "monzón mexicano".

La cronología de árboles más extensa desarrollada en México cubre el período de 1373 a 1993 D.C y procede de Cerro Baraja, Durango; sin embargo, existe

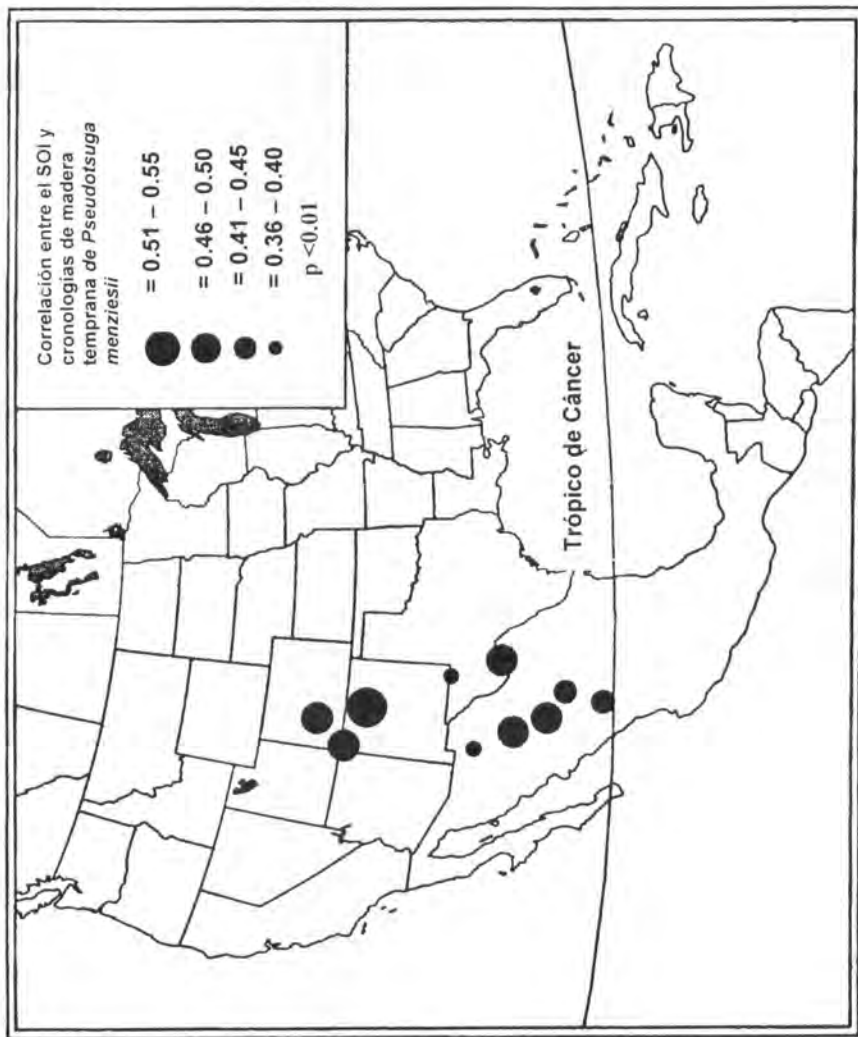


Figura 7. Teleconexión de ENSO con las cronologías de madera temprana de abeto, en el suroeste de Estados Unidos y norte de México [Todos los símbolos indican correlaciones significativas ( $p < 0.01$ )].

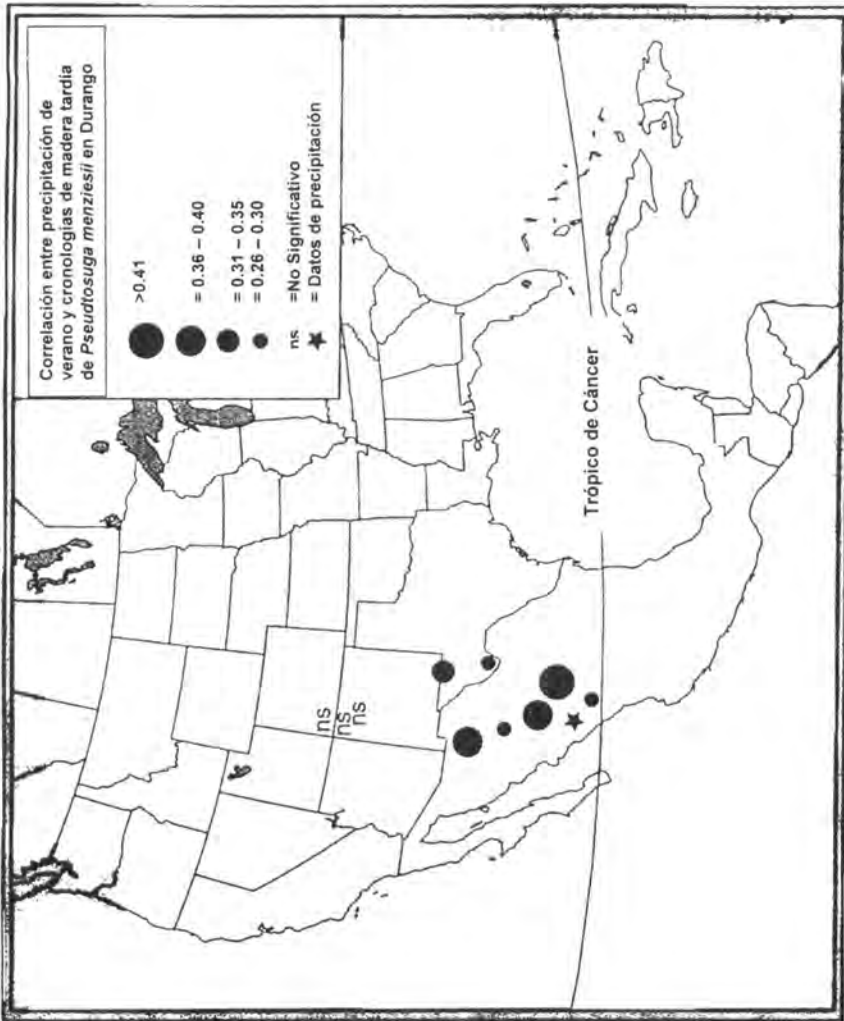


Figura 8. Correlación entre cronologías de madera tardía de árboles de abeto localizados en México y suroeste de Estados Unidos.

gran potencial para ampliar en el tiempo estos valiosos "proxys" del clima. Una extensa área de bosques de abeto se localiza en Cerro Baraja, y deben existir árboles más viejos en muchos de los sitios rocosos, escarpados y de suelo somero que son abundantes en la región.

Madera subfósil bien preservada se ha recuperado de sitios secos en áreas con mucha pendiente en el "Tabacote", Chihuahua. Una muestra maderable de abeto encontrada en ese sitio tiene 240 anillos anuales, pero es más antigua que la cronología disponible para el "Tabacote" la cual data del período 1583-1993 D.C. En el caso de que muestras adicionales se pudieran recuperar de esos sitios, se tendría el potencial para extender la cronología en el tiempo hasta 1200 D.C. o quizás antes, lo que permitiría realizar pruebas de fechado arqueológico basado en anillos de árboles, como lo registrado por Scott (1966) para las ruinas de Casas Grandes, sitio ubicado al norte del "Tabacote", a sólo 140 km de distancia.

El oyamel también se localiza en Zacatecas; en sitios elevados de la Sierra Madre Oriental en Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León, existen poblaciones pequeñas en las partes altas de la Sierra de Pachuca, Hidalgo y en las sierras elevadas del centro de Puebla y Oaxaca (Rezedowski, 1983). Recientemente se describió la estructura de un bosque relicto con árboles que superan los 300 años de edad, localizado en la Sierra Norte del estado de Oaxaca (Acevedo, 1998). Se colectaron muestras en el Cerro Potosí, Nuevo León generando una cronología corta, pero muy sensitiva que data del período 1845-1995 (Figura 9). El muestreo de estos rodales en la Sierra Madre Oriental es muy importante para extender la reconstrucción de precipitación de invierno y de verano y generar "proxys" de ENSO en el noreste de México.

No obstante que se han obtenido muestras maderables de varias especies nativas del área tropical de México, y que se han desarrollado las primeras cronologías de *Pinus montezumae* Lamb. y *Taxodium mucronatum*, resulta apremiante localizar nuevas especies para propósitos dendrocronológicos. La cronología de *P. montezumae* (Figura 10) fue generada de un bosque virgen ubicado en la reserva de la biosfera "Rancho del Cielo", cerca de Gómez Farías, Tamaulipas (Martín y Harrell, 1957; Suzán y Fragoso, 1989). En la misma localidad, se obtuvieron muestras de los géneros *Fraxinus* L. y *Carya* P. Mill. con anillos bien definidos y con buen potencial dendrocronológico.

El ahuehuete o sabino (*T. mucronatum*) es el árbol nacional de México, especie de hábitat ripario que crece en toda la República. Es sin duda, uno de los árboles más populares de la flora del país debido a su importancia histórica, grandes dimensiones y longevidad (Martínez, 1963). Los longevos especímenes de *T. mucronatum* recolectados en las orillas del Río Sabinas, Tamaulipas, poseen anillos de crecimiento anual bien definidos y se han

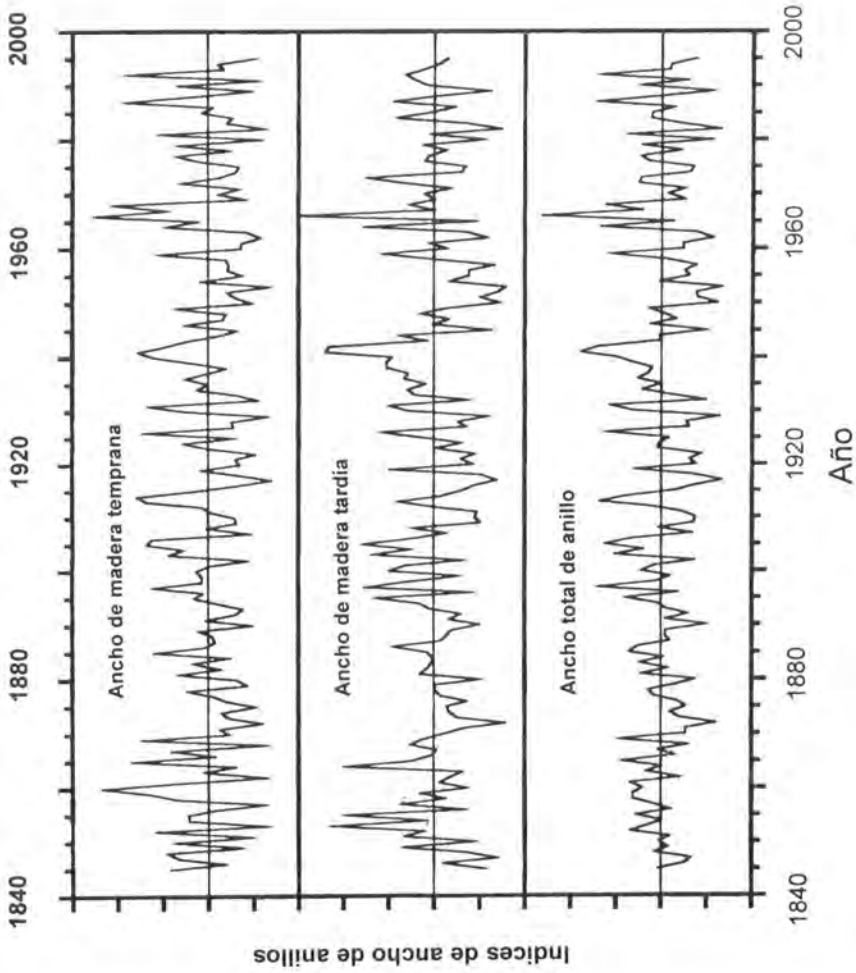


Figura 9. Tipos de cronologías derivadas de árboles de abeto, localizados en la exposición este del Cerro Potosí, Nuevo León.

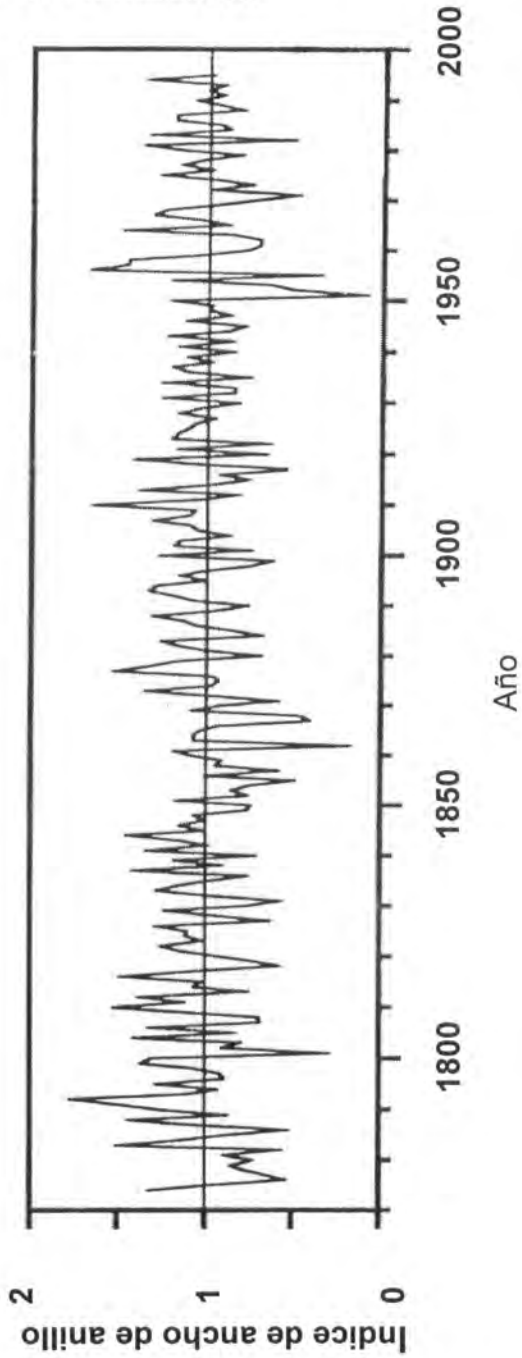


Figura 10. Cronología residual de un rodal de *Pinus montezumae*, localizado en un bosque de altura en el Rancho del Cielo, Tamaulipas.



usado para desarrollar una excelente cronología para el período 1474-1995, la cual representa una de las más largas cronologías desarrolladas en el trópico mexicano, que a pesar de las marcadas diferencias en los regímenes de precipitación estacional tuvieron una respuesta climática similar a las cronologías de *T. distichum* del suroeste de los Estados Unidos (Cuadro 2, Figura 11) (Stahle y Cleaveland, 1992).

A finales del siglo XX se generó una segunda cronología del ahuehuate procedente de Río Verde, San Luis Potosí, la cual data en el período 1574-1996 D.C. (Figura 12). Sin embargo, en la misma región, en el sitio denominado Los Peroles, Río Verde, S.L.P., se localiza un rodal con árboles de *T. mucronatum*, que sobrepasan los 1,000 años de edad.

La cronología procedente de Río Sabinas se comparó con datos promedios de precipitación mensual de dos estaciones climatológicas cercanas al sitio de recolecta (Hacienda Santa Elena y El Barretal, Tamaulipas), para el periodo disponible de registro (1941-1983). Esta cronología correlaciona significativamente la precipitación total mensual para los meses de mayo y junio ( $r = 0.69$ ,  $p < 0.0001$ ) al inicio de la estación húmeda en Tamaulipas (Figura 13).

Actualmente, se trabaja de forma intensa en la recolecta de virutas y secciones transversales de abeto en sitios de la Sierra Madre Occidental y Oriental; así como de ahuehuate en el río Nazas, "El Bajío", Valle de México, Golfo y Sur de la República Mexicana. La integración de una red dendrocronológica que cubra la mayor parte del país es esencial para un análisis integral de la variabilidad hidroclimática en México. De esta base de datos dendrocronológica se puede derivar un sinnúmero de aplicaciones prácticas para solucionar problemas ecológicos, arqueológicos, de planeación del aprovechamiento del recurso agua, etc.

### **Agradecimientos:**

Se agradece la participación de las siguientes personas, quienes apoyaron con información que se integró en el presente artículo: G. P. Paull, Physical Science Department, University of Texas at Brownsville, Brownsville, TX 78520 USA; B.T. Burns, Native Seeds/SEARCH, 2509 N. Campbell Ave. 325, Tucson, AZ 85719 USA; W. Salinas, Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamps, C.P. 87149, México; H. Suzan, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n, Querétaro, Qro., C.P. 76017, México; P.Z. Fulé, School of Forestry, Northern Arizona University, P.O. Box 15018, Flagstaff, AZ, USA.

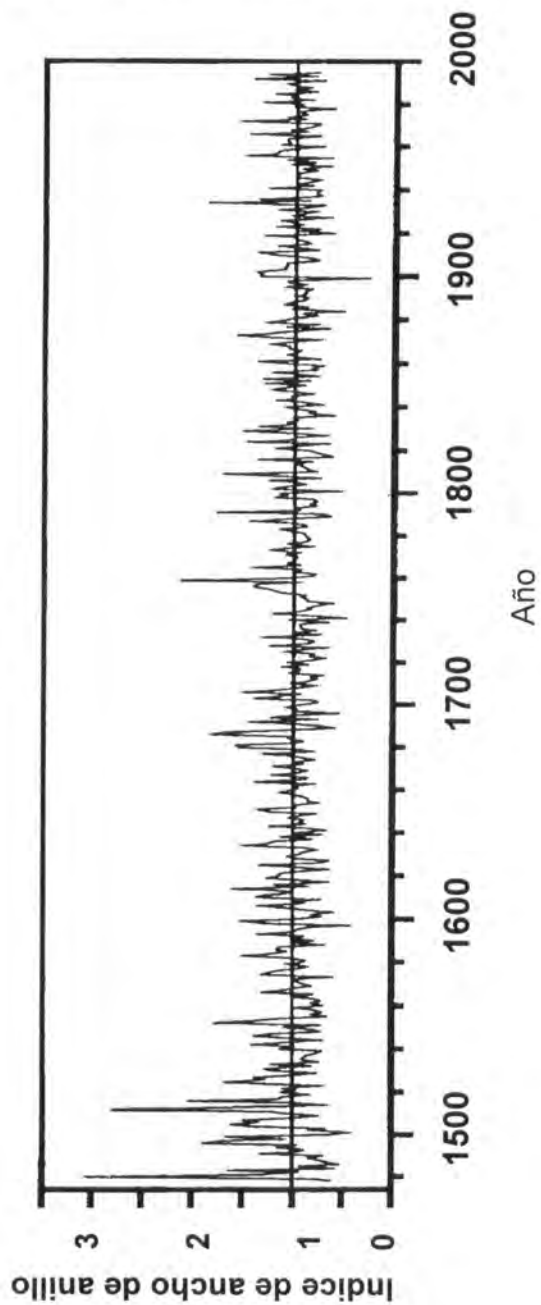


Figura 11. Cronología residual de *Taxodium mucronatum*, localizado en Río Sabinas, Tamaulipas.

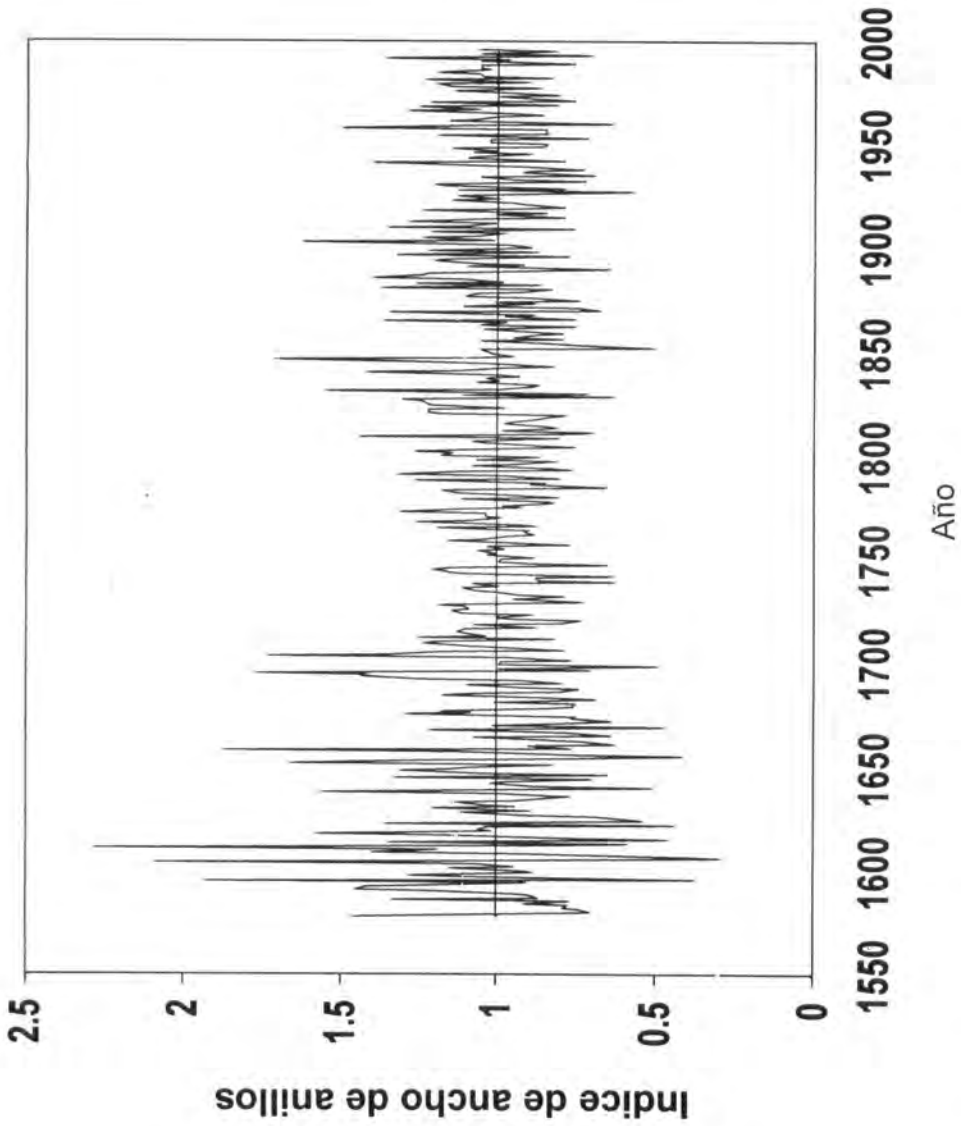


Figura 12. Cronología residual de *Taxodium mucronatum*, localizado en Río Verde, San Luis Potosí.

— Cronología de *Taxodium mucronatum*. Río Sabinas  
- - - - - Promedio de precipitación total para dos estaciones

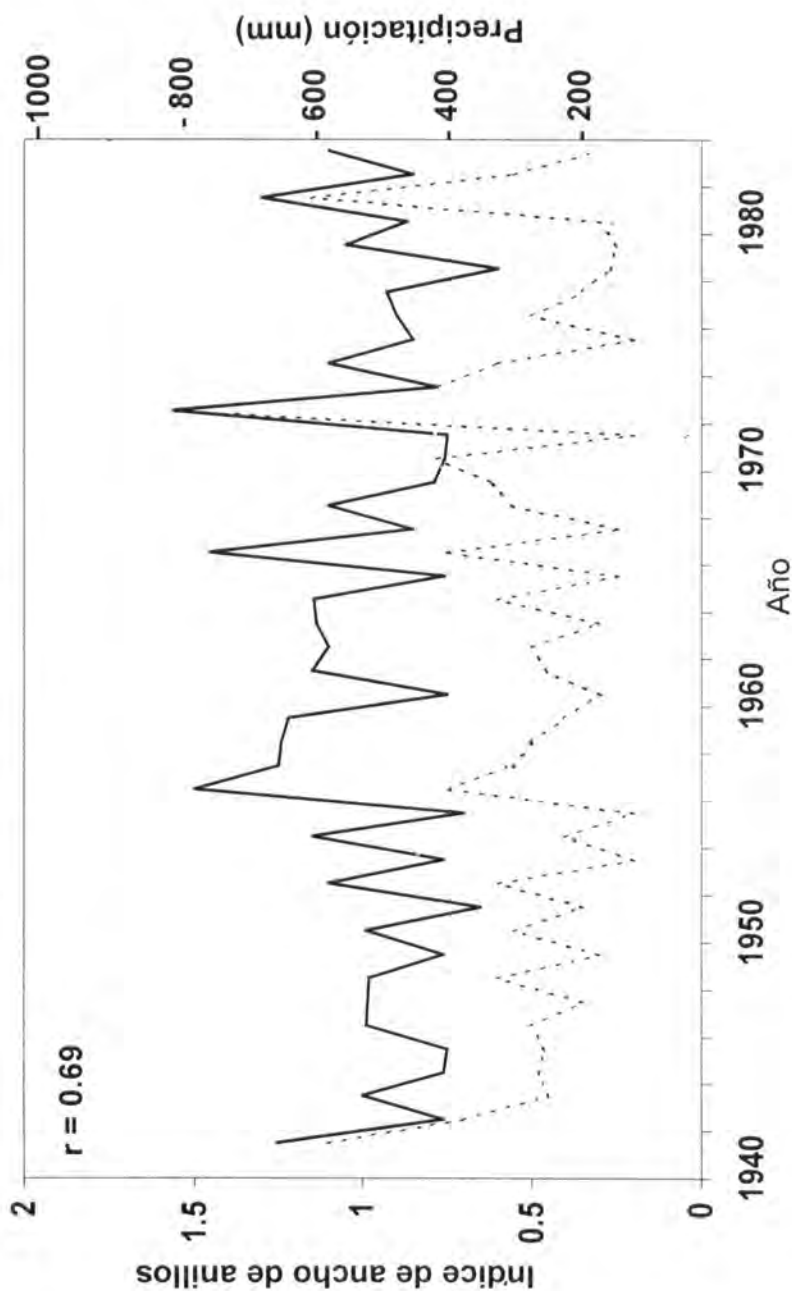


Figura 13. Correlación de series de tiempo entre la cronología de *Taxodium mucronatum* de Río Sabinas y la precipitación total mayo-junio, promediada para dos estaciones climatológicas de Tamaulipas ( $r = 0.69$ ,  $p < 0.001$ ).

## REFERENCIAS

- Acevedo Rodríguez, Ramiro. 1998. Estudio ginecológico del bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *Oaxacana* Debreczy & Ráez, en la zona de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Texcoco, Edo. de México. 105 pp.
- Allan, R., J. Lindesay, and D. Parker. 1996. El Niño southern oscillation and climatic variability. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 405 p.
- Biondi, F. 2001. A 400-year tree-ring chronology from the tropical treeline of North America. *Royal Swedish Academy of Sciences* 30: 162 – 166.
- Cavazos, T. and S. Hasterath. 1990. Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology* 10:377-386.
- Cleaveland, M. K., E. R. Cook and D. W. Stahle. 1992. Secular variability of the Southern Oscillation detected in tree-ring data from Mexico and the southern United States. *In: Diaz H.F. and V. Markgraf (eds.). 1992. El Niño: Historical and paleoclimatic aspects of the southern oscillation. Cambridge University Press. pp. 271-291.*
- Cleaveland, M. K., D. W. Stahle, M. D. Therrell, J. Villanueva-Díaz and B. T. Burns. (Datos no publicados). Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, Mexico. s.f.
- Cook, E. R. and R. H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and users manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- Cook, E. R., D. M. Meko, D. W. Stahle and M. K. Cleaveland. 1996. Tree-ring reconstruction of past drought across the coterminous United States: tests of the regression method and calibration/verification results. *In: Dean J. S., D. M. Meko and T. W. Swetnam (Eds.). 1996. Tree Rings Environment and Humanity. Radicarbon. University of Arizona, Tucson. pp. 155-169.*
- Díaz C., S. C. 2002. Paleoclimatología del noroeste mexicano. Tesis Doctoral. Uso y preservación de los recursos naturales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur. 71 p.
- Douglas, A. E. 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry* 39:825-828.
- Douglas, A. V. 1980. Geophysical estimates of sea-surface temperatures of western North America since 1671. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Report 21. pp. 102-112*
- Douglas, A. V. and P. J. Englehart. 1981. On a statistical relationship between autumn rainfall in the central Equatorial Pacific and subsequent winter precipitation in Florida. *Monthly Weather Review* 109:2377-2382.
- Douglas, M. W., R. A. Maddox, K. Howard and S. Reyes. 1993. The mexican monsoon. *Journal of Climate* 6:1665-1677.

- Fulé, P. Z. and W. W. Covington. 1996. Changing fire regimes in Mexican pine forests: ecological and management implications. *Journal of Forestry* 94:33-38.
- Fulé, P. Z. and W. W. Covington. 1998. Spatial patterns of Mexican pine-oak forests under different recent fire regimes. *Plant Ecology* 134: 197-209.
- Fulé, P. Z. and W. W. Covington. 1999. Fire regime changes in La Michilia Biosphere Reserve, Durango, Mexico. *Conservation Biology* 13: 640-652.
- Fritts, H. C. 1965. Tree-ring evidence for climatic changes in western North America. *Monthly Weather Review* 93:421-443.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press Inc. (London). 567 pp.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43:69-78.
- Huante, P., E. Rincón and T. W. Swetnam. 1991. Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacan, Mexico. *Tree-Ring Bulletin* 51:15-27.
- Kaib, M. 1998. Fire history in canyon pine-oak forests and the intervening desert grasslands of the southwest borderlands. M. Sc. Thesis. University of Arizona. Tucson. 85 p.
- Lough, J. M., 1992. An index of the Southern Oscillation reconstructed from western North America tree-ring chronologies. In: Diaz, H. F. and V. Markgraf (Eds.). 1992. *El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the southern oscillation*. Cambridge University Press. pp. 215-226.
- Lough, J. M. and H. C. Fritts. 1985. The Southern oscillation and tree rings: 1600-1961. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 24:952-966.
- Martin, P. S. and B. E. Harrel. 1957. The Pleistocene history of temperate biotas in Mexico and eastern United States. *Ecology* 38:468-480.
- Martinez, M. 1963. *Las pináceas mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 361 p.
- Michaelsen, J. 1989. Long period fluctuations in El Niño amplitude and frequency reconstructed from tree rings. In: Peterson, D. H. (ed.). 1989. *Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas*. AGU, Washington, D.C. Geophysical Monograph 55, pp. 69-74.
- Michaelsen, J. and L. G. Thompson. 1992. A comparison of proxy records of El Niño/Southern Oscillation. In: Diaz, H.F. and V. Markgraf (eds.). 1992. *El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the southern oscillation*. Cambridge University Press. pp. 326-348.
- Naylor, T. H. 1971. Dendrochronology in Oaxaca, Mexico: A preliminary study. *Tree-Ring Bulletin* 31:25-29.
- Ropelewski, C. F. and M. S. Halpert. 1986. North American precipitation and temperature patterns associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Monthly Weather Review* 114:2352-2362.
- Ropelewski, C. F. and M. S. Halpert. 1989. Precipitation patterns associated with the high phase of the Southern Oscillation. *Journal of Climate* 1:172-182.

- Rzedowski, J. 1983. Vegetación de México. Editorial LIMUSA, México, D.F. 432 p.
- Schulman, E. 1944. Dendrochronology in Mexico, I. Tree-Ring Bulletin 10:18-24.
- Schulman, E. 1956. Dendroclimatic Changes in Semiarid America. University of Arizona Press, Tucson. 142 p.
- Scott, S. D. 1966. Dendrochronology in Mexico. Papers of the Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona Press, Tucson. 80 p.
- Serrano, J., L. Rodríguez y Y. Vargas. 1990. Análisis estadístico de datos dendrocronológicos para el Desierto de los Leones, México, D.F. In: XI Congreso de Botánica: Programas y Resúmenes. Oaxtepec, Morelos. 30 de septiembre al 5 de octubre. pp. 184.
- Stahle, D. W. and M. K. Cleaveland. 1992. Reconstruction and analysis of spring rainfall over the southeastern United States for the past 1000 years. Bulletin of the American Meteorological Society 73:1947-1961.
- 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 6:129-140.
- Stahle, D. W., P. D'Arrigo, J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. B. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Gay, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, J. Villanueva-Díaz and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. Bulletin of the American Meteorological Society 79(10): 2137 – 2152.
- Stahle, D. W., M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, and J. Villanueva-Díaz. 1999. Tree-ring reconstruction of winter and summer precipitation in Durango, Mexico, for the past 600 years. In: 10<sup>th</sup> Conference on Global Change Studies. Preprint volume, American Meteorological Society, 79<sup>th</sup> Annual Meeting. January 10-15. Dallas, Texas.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press. 73 p.
- Suzan, H. 1985. Estudios autoecológico-dendrocronológicos en *Pinus nelsonii*. In: J. Flores (Ed.). 1985. Memorias del primer simposium nacional de pinos piñoneros. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. pp. 137-149.
- Suzan, H. y M. Franco. 1981. Estudios dendrocronológicos en México en poblaciones de *Pinus hartwegii*. In: Memorias del VII Congreso Mexicano de Botánica. México, D.F. pp. 277-278.
- Suzan, H. y F. González. 1984. Estudios autoecológicos-dendrocronológicos de *Pinus nelsonii*. In: S. Lavin (Ed.). Informe 1984. Desarrollo Tecnológico y Científico. Universidad Autónoma de Tamaulipas. pp. 127-140
- Suzan, H. y C. Frago. 1989. Investigación y conservación de la reserva de la biosfera "El Cielo", Tamaulipas, México. BIOTAM 1:48-53.
- Therrell, M.D., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland, and J. Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. Journal of Geophysical Research 107 (D14): ACL 6-1 – ACL 6-8.

- Valiente-Banuet, L. y E. Ezcurra. 1990. Patrones de precipitación y reconstrucción climática en El Valle de Tehuacán, México. *In*: Memorias del XI Congreso de Botánica: Programas y Resúmenes. Oaxtepec, Morelos. 30 de septiembre al 5 de octubre. pp. 180.
- Villanueva-Díaz, J. 1996. Influence of Land-use and Climate on Soils and Forest Structure in Mountains of the Southwestern United States and Northern Mexico. Ph.D. Dissertation. University of Arizona, Tucson. 203 p.
- Villanueva-Díaz, J. and G. R. McPherson. 1995. Forest stand structure in mountains of Sonora, Mexico and New Mexico, USA. *In*: DeBano, L.F., P.E. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G. J. Gottfried, R. H. Hamre and C. E. Edminster (tech. coord.). 1995. Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico. USDA-Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264. pp. 416-423.
- Villanueva-Díaz 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. Hydrology Section, Arizona-Nevada Academy of Science 26:45-54.