

The background of the cover is a photograph of a lush green landscape. In the foreground, there is a field of tall grass. In the middle ground, a dense forest of tall, thin trees is visible. In the background, a small village with several buildings is nestled on a hillside under a clear sky.

**Potencial Dendrocronológico de
Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco
y Reconstrucciones de Precipitación
y Flujo en México**

Dr. José Villanueva Díaz
M. C. Julián Cerano Paredes
Dr. D. W. Stahle
Dr. Juan Estrada Ávalos
Ing. Vicenta Constante García

ISBN: 978-607-425-002-2

Folleto Científico 23

Gómez Palacio, Dgo.

Agosto del 2008

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Ing. Alberto Cárdenas Jiménez
Secretario

Ing. Francisco López Tostado
Subsecretario de Agricultura

Ing. Antonio Ruiz García
Subsecretario de Desarrollo Rural

Lic. Jeffrey Max Jones Jones

Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Enrique Astengo López
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA- SUELO-PLANTA-ATMOSFERA

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director del CENID-RASPA

POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE
Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco
Y RECONSTRUCCIONES DE
PRECIPITACIÓN
Y FLUJO EN MÉXICO

Dr. José Villanueva Díaz
M. C. Julián Cerano Paredes
Dr. D.W. Stahle
Dr. Juan Estrada Ávalos
Ing. Vicenta Constante García

CENID-RASPA

2008

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Av. Progreso No. 5 Barrio de Santa Catarina,
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 México, D. F.
Teléfono: (55) 38718700

ISBN: 978-607-425-002-2

Primera Edición 2008

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Presentación

Una de las especies de mayor importancia forestal en Norteamérica es sin duda alguna el Abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco), especie que se distribuye desde el sur de Canadá hasta la Sierra Madre del Sur en el estado de Oaxaca, México. En este amplio rango de distribución latitudinal, la especie llega a conformar verdaderos bosques puros, principalmente en la región del noroeste del Pacífico en los Estados Unidos de América, donde las condiciones geográficas y climáticas permiten que la especie exprese su máximo potencial de desarrollo o su estado clímax. En nuestro país, por constituir el límite latitudinal de distribución de la especie, sólo se observan rodales aislados y dispersos en superficies pequeñas y asociada con otras coníferas y latifoliadas, lo cual les hace de alta biodiversidad. Estos rodales se ubican en cañadas y sitios sombreados con exposiciones norte y mayor disponibilidad de humedad, aunque en suelos de baja fertilidad y generalmente en sitios de pobre calidad, que limitan su desarrollo.

Lo limitado de la especie en términos de superficie ocupada y número de poblaciones existentes en México ha obligado a que el Instituto Nacional de Ecología (INE) la haya incluido en la lista de la NOM-059-ECOL-2001 como especie «*en riesgo*»; situación que en teoría le otorga cierta protección y la excluye de cualquier aprovechamiento forestal. No obstante lo anterior, el cambio de uso del suelo asociado a presiones sociales para expandir la frontera agrícola, tala ilegal, incendios de origen antropogénico, sobrepastoreo y problemas de plagas y enfermedades han hecho que muchas de las poblaciones de esta especie hayan desaparecido, estén en proceso de desaparecer o se encuentren en condiciones muy degradadas.

El abeto Douglas es de las coníferas más longevas en México, puede llegar a vivir más de 550 años, lapso en el cual desarrolla relaciones ecológicas muy estrechas con otros organismos bióticos, de tal manera que al romper esta relación puede dar lugar a la desaparición de las especies asociadas tanto animales como vegetales. Por otra parte, sus anillos de crecimiento responden a las condiciones climáticas dominantes durante su formación y por ende

pueden usarse como una fuente indirecta del clima y para el análisis del impacto de patrones atmosféricos circulatorios.

En este folleto científico el lector encontrará información relacionada a la red de cronologías o series de tiempo dendrocronológicas que el INIFAP CENID RASPA ha generado con esta especie en los últimos cinco años; reconstrucciones de precipitación por más de 600 años y frecuencia de eventos hidroclimáticos extremos; influencia histórica de patrones atmosféricos circulatorios, así como acciones sugeridas para su conservación. La información aquí plasmada es de gran relevancia científica, y puede constituir una referencia para tomadores de decisiones en aspectos de conservación de ecosistemas, uso sustentable de los recursos hídricos, generación y pago de servicios ambientales, uso sustentable del bosque, entre otras aplicaciones.

La conservación de especies como el abeto Douglas es responsabilidad de todos, y estudios científicos que coadyuven a su conocimiento son de gran importancia para fundamentar técnicamente acciones que conduzcan a su protección y conservación.

Contenido

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
Distribución Geográfica del <i>Pseudotsuga menziesii</i>	3
Importancia Ecológica de la Especie	6
Estructura de los Anillos de Crecimiento con Fines Dendrocronológicos	8
CRONOLOGÍAS DE <i>Pseudotsuga menziesii</i>	
DESARROLLADAS EN MÉXICO	12
Parámetros Dendrocronológicos de las Cronologías Mexicanas de <i>P. menziesii</i>	17
RECONSTRUCCIONES PALEOCLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y DE FLUJO CON <i>P. menziesii</i>	20
ACCIONES REQUERIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES DE <i>P. menziesii</i> EN MÉXICO	36
CONCLUSIONES	39
LITERATURA CONSULTADA	43

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del clima del pasado es fundamental para determinar su variabilidad en el tiempo, tendencias y posible comportamiento futuro. Los datos instrumentales, es decir, aquellos procedentes de registros de estaciones climatológicas tienen la limitante de su corta extensión, falta de calidad y de representatividad tanto en espacio como en tiempo.

Muchas de las decisiones técnicas en términos de manejo de agua, hidrología, aprovechamiento de recursos naturales, protección de ecosistemas, producción de cultivos, etc., se fundamentan en esta información climática, situación que conlleva a cometer errores que repercuten seriamente en la sustentabilidad de los recursos mismos.

La toma de decisiones soportada por datos climatológicos e hidrológicos muy cortos ha demostrado la necesidad de disponer de información más extensa de este tipo, particularmente cuando se desconoce la intensidad y frecuencia con que se han presentado históricamente eventos climáticos extremos, situación que algunas veces ha provocado la destrucción de infraestructura hidrológica, problemas de dotación de gastos de agua en corrientes perennes, sobreexplotación del acuífero, problemas transfronterizos de agua e inclusive muertes humanas y pérdidas económicas de alto costo social y ecológico.

El estudio del calentamiento global atribuido a causas antropogénicas también requiere del conocimiento de la variabilidad hidroclimática pasada, con el fin de discernir las posibles causas de estos cambios y el grado de afectación local, regional y nacional en el ámbito productivo, social, económico e impacto en la estabilidad de los ecosistemas, de tal suerte que sea factible diseñar estrategias de prevención, mitigación y adaptación.

Información de la variación histórica de alta y de baja frecuencia del clima, sin embargo, sólo puede obtenerse a través del uso de fuentes «proxy», también conocidas como fuentes indirectas; una de ellas la constituye el crecimiento de los anillos de árboles fechados exactamente al año de su formación, técnica de alta resolución anual conocida comúnmente como Dendrocronología. Con los estudios dendrocronológicos es factible determinar la variabilidad hidroclimática de alta y baja frecuencia ocurrida a nivel de siglos e inclusive milenios y así mismo analizar la influencia histórica de patrones atmosféricos circulatorios que han afectado el clima a nivel regional.

México es uno de los cinco países en el mundo con más alta biodiversidad, no obstante lo anterior, los estudios dendrocronológicos han sido muy limitados en tiempo y espacio, probablemente por la creencia errónea de que los árboles en latitudes tropicales no producen anillos de crecimiento anual bien definidos.

Una de las especies presentes en México y que es considerada dendrocronológicamente como de las más importantes a nivel mundial es el abeto Douglas, ayarín, cahuite, pinabete, pino de Oregon, palo ocote o Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), especie con capas de crecimiento anual bien diferenciadas que almacenan en sus estructuras celulares información climática tanto de la época fría como cálida del año.

El objetivo de este trabajo es describir el potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* en México, exponer la red actualizada de cronologías de *Pseudotsuga* desarrolladas en términos de su ubicación, extensión, período cubierto; su respuesta climática y reconstrucciones paleoclimáticas generadas (precipitación, flujo); impacto de patrones atmosféricos circulatorios y requerimientos futuros de investigación, así como acciones de conservación requeridas.

Distribución Geográfica del *Pseudotsuga menziesii*

El abeto Douglas muestra una amplia distribución en el continente americano, en un rango latitudinal que desciende en Norteamérica de los 55° hasta los 17° de latitud norte. Está presente desde Columbia Británica y Alberta, Canadá y se distribuye en todo el sistema de las Montañas Rocallosas, montañas del oeste de Texas, sur de Nuevo México y Arizona en los Estados Unidos de América (Fowells, 1965; Herman y Lavander, 1999). En

México se presenta en la Sierra Madre Occidental, en rodales pequeños y aislados de bosques mixtos en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Jalisco, Zacatecas; en la Sierra Madre Oriental está presente en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Querétaro; en el Eje Neovolcánico en Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y Veracruz y en la Sierra Madre del Sur en el estado de Oaxaca, en un rango de elevación que fluctúa de 1,800 hasta 3,600 m (Martínez, 1963; Domínguez, 1986; Rzedowski, 1986; Cornejo, 1987; Acevedo, 1998; Villanueva y McPherson, 2002; Domínguez *et al.*, 2004) (Figura 1).

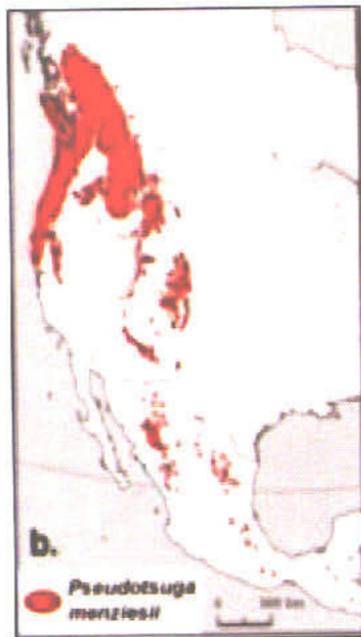


Figura 1. Distribución geográfica de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en el continente americano.

La especie raramente constituye bosques puros y se encuentra asociada con otras coníferas de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Picea*, así como latifoliadas de los géneros *Quercus*, *Arbutus*, *Alnus*, *Populus*, *Cuppressus*, *Juniperus*, *Prunus*, *Acer*, etc. (Figura 2). Prefiere sitios sombríos y húmedos en laderas de cañadas, barrancas y valles muy pronunciados y exposiciones preferentemente norte, noreste y noroeste, donde la insolación es menor y, por ende, la temperatura y evaporación también decrecen. Esta situación crea un microclima especial favorable para el desarrollo de la especie, situación que está altamente influenciada por cuestiones fisiográficas y de exposición (Domínguez, 1994).

Los tipos climáticos donde se ha detectado a *Pseudotsuga* varían de Cw_{bm} (frío subhúmedo), Cw_b (subhúmedo, C(w₂) templado subhúmedo en los estados de Sonora, Durango y Chihuahua a Bw y C(w₁) con clima seco y mésico en los estados de Coahuila y Nuevo León (Cornejo, 1987; Villanueva y McPherson, 2002).

La especie prospera en suelos someros, pedregosos, poco desarrollados, de pH ácido a alcalino, textura media con un contenido de materia orgánica de pobre a rico y fertilidad de baja a mediana (Domínguez, 1994).



Figura 2. Bosque mixto con *Pseudotsuga menziesii* en un rodal ubicado en el ejido «El Cócono», Guanaceví, Durango. El hábitat de la especie son sitios húmedos y fríos con suelos someros y se asocia a otras coníferas y latifoliadas.

Importancia Ecológica de la Especie

El género *Pseudotsuga* es uno de los mejor definidos ecológicamente en norteamérica, debido a su amplia distribución, así como por formar parte de rodales con características específicas que lo hacen de gran importancia botánica. El género también representa un gran valor fitogeográfico para explicar la evolución y distribución de las coníferas en México (Rzedowski, 1986; Domínguez, 1994). En la república mexicana y particularmente en el estado de Coahuila, los registros fósiles del género *Pseudotsuga* datan del Cretácico Superior, hace

aproximadamente 90 millones de años, mientras que en EUA y Canadá inician en el Terciario reciente, aproximadamente 50 millones de años y en el este de Asia y Europa se encuentran registros fósiles con menos de 50 millones de años, lo que hace suponer que nuestro país pudiera ser el centro de origen de esta especie, de donde posteriormente se dispersó a norteamérica y de ahí al continente europeo y asiático (Rueda-Gaxiola, 1967).

En términos forestales *Pseudotsuga menziesii* posee alto valor maderable al constituir una de las coníferas de mayor importancia económica a nivel mundial, particularmente en la región del noroeste del Pacífico en los Estados Unidos de América, donde hasta hace poco todavía constituía la base de una de las industrias de aprovechamiento forestal de gran impacto económico en esa región; la especie también es muy utilizada como árbol de navidad, y en México los árboles de *Pseudotsuga* para este fin son en su mayoría importados de EUA, aunque actualmente en varios estados de la república se promueve la plantación de abeto Douglas para el mismo propósito.

En México, debido al tamaño tan reducido de sus poblaciones naturales, la especie se encuentra dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, catalogada como especie rara y aunque en el pasado se reportan aprovechamientos legales en rodales del estado de Chihuahua (Domínguez, 1994), actualmente no se otorgan permisos para su aprovechamiento forestal, a

excepción de casos especiales como muerte masiva de la especie por una plaga, enfermedad o un incendio de alta intensidad, en cuya situación se puede autorizar la remoción del arbolado muerto, como ha sido el caso de ciertos rodales de abeto Douglas afectados por plagas en los estados de Durango y Chihuahua; no obstante lo anterior, la tala clandestina de esta especie ya sea para uso de su madera en forma de vigas, leña o para ampliar la frontera agrícola es una práctica común en gran parte de los rodales donde se distribuye la especie, lo cual pone en peligro su permanencia en sitios de los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y Veracruz, donde el cambio de uso del suelo ya ha eliminado por completo algunos de estos rodales y algunos otros están en serio peligro de desaparecer.

Estructura de los Anillos de Crecimiento con Fines Dendrocronológicos

Las capas de crecimiento anual (anillos) del abeto Douglas, se dividen anatómicamente en dos bandas distintas de crecimiento; la primera banda llamada madera temprana es de baja densidad y está constituida por células (traqueidas) relativamente grandes de color claro, que contiene un diámetro radial mayor y una membrana secundaria más fina (lúmen); los canales resiníferos poseen células epiteliales con paredes celulares gruesas. La segunda capa de crecimiento llamada madera tardía es de mayor densidad, posee células más pequeñas de color

más oscuro con un diámetro radial reducido y paredes celulares más lignificadas (Figura 3). La zona de transición entre ambas bandas de crecimiento ocurre generalmente de manera abrupta (aunque en ocasiones y particularmente en árboles jóvenes esta transición puede ser difusa), lo que permite con un microscopio de alta resolución diferenciar estas zonas de crecimiento y medirlas por separado (Panshin y De Zeeuw, 1970).

El grosor de estas zonas puede estar influenciado por condiciones climáticas distintas presentes previo o durante la formación de las mismas. De esta manera, el desarrollo de cronologías separadas de madera temprana y tardía, proporcionan información más detallada de la variación climática intraanual e interanual que la que podría derivarse al considerar sólo cronologías de anillo total (Cleaveland 1988, Stahle *et al.*, 1998).

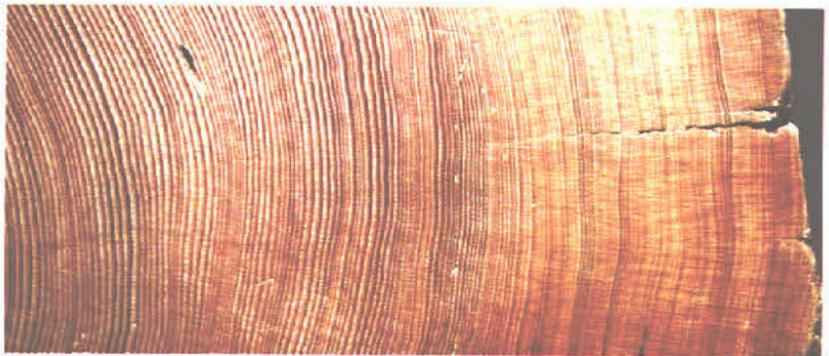


Figura 3. Sección transversal de *Pseudotsuga menziesii* donde muestra crecimientos anuales con la presencia de madera temprana (clara) y madera tardía (oscura). El crecimiento anual es de izquierda a derecha.

Uno de los problemas que se presenta con frecuencia en esta especie es la presencia de anillos falsos o dobles, cuya formación está influenciada por cambios abruptos en las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento. En coníferas como *Pseudotsuga*, la presencia de condiciones severas de sequía al inicio de la estación de crecimiento, seguido por condiciones normales de precipitación, origina la presencia de anillos falsos. Condiciones de sequía temprana predispone a la especie a la formación de madera tardía y el retorno a condiciones normales de precipitación, favorece la formación de células de madera temprana (Figura 4).

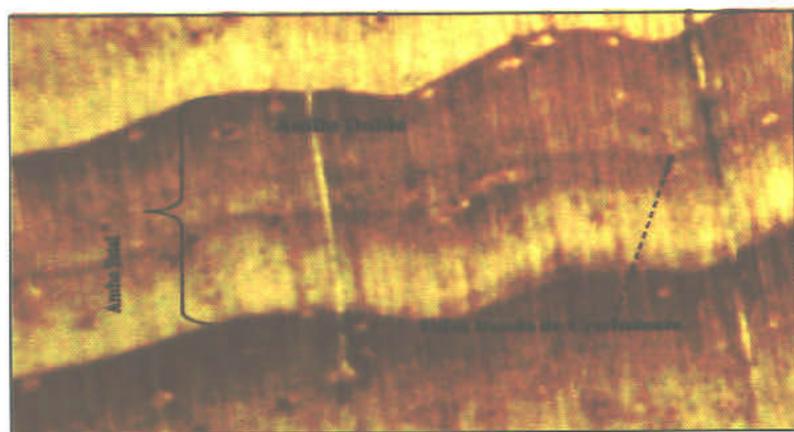


Figura 4. Representación de un anillo doble en un crecimiento anual. La madera temprana (parte inferior del anillo intermedio) es de coloración blanca y la madera tardía (parte terminal del anillo intermedio) es de coloración más oscura. En la parte intermedia de dicho crecimiento se observa una línea oscura más tenue (banda falsa de crecimiento), que indica la presencia de un anillo falso o doble.

Un problema adicional en *Pseudotsuga* son los anillos perdidos, que representan la falta de crecimiento posterior a un daño físico (Figura 5). El estrés es la causa principal de la presencia de anillos perdidos, situación que puede ser producida por condiciones limitantes de precipitación, ataque de plagas, enfermedades, incendios, daño por viento, competencia, etc. La presencia de anillos perdidos solo puede detectarse mediante el cofechado o fechado cruzado, es decir, al comparar radios de crecimiento de varios árboles y analizar sus patrones de crecimiento con el uso de técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968).

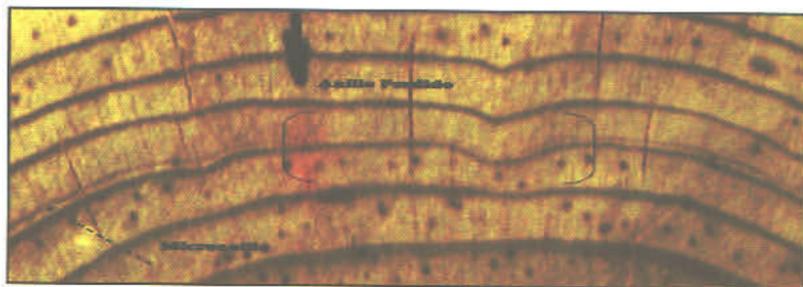


Figura 5. Representación de un anillo perdido. La sección transversal indica un crecimiento anual muy pequeño (microanillo) y que al seguir su contorno (izquierda a derecha) se pierde posteriormente (anillo perdido). Si por alguna razón se toma un núcleo de crecimiento con un taladro de Pressler en la parte donde se pierde el anillo de crecimiento, estará faltando este anillo que en dendrocronología se le conoce como anillo perdido o ausente.

CRONOLOGÍAS DE *Pseudotsuga menziesii* DESARROLLADAS EN MÉXICO

Los estudios dendrocronológicos en México avocados a *Pseudotsuga menziesii*, no obstante ser escasos (con relación a su potencial) se iniciaron hace más de 50 años por Edmund Schulman, Profesor Investigador del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona, particularmente en las décadas de 1940 y 1950 (Stahle *et al.*, 2000). Posteriormente en la década de 1970, Stokes y Naylor continuaron con este esfuerzo para el norte de México y generaron 20 cronologías adicionales con esta y otras especies de coníferas. Transcurrieron casi 30 años para que nuevamente a finales del siglo XX, investigadores del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas desarrollaran nuevas cronologías de anillos de árboles en México. Sin embargo, en los últimos siete años y en un esfuerzo sin precedente originado por el establecimiento de un Laboratorio de Dendrocronología en México con sede en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y con el apoyo de proyectos de investigación con financiamiento nacional e internacional, principalmente a través del Instituto Interamericano para el Cambio Climático Global (IAI, por sus siglas en inglés), se han generado más de 30 cronologías adicionales de *Pseudotsuga*, sin considerar cronologías producidas con *Taxodium mucronatum* y otras especies de coníferas presentes en bosques mixtos del norte y centro del país. Actualmente, la

cantidad total de cronologías de *Pseudotsuga menziesii* supera las 50, algunas de las cuales se extienden por más de 600 años y proporcionan información climática de gran utilidad para entender la variabilidad hidroclimática histórica en dicho período (Villanueva *et al.*, 2006) (Cuadro 1, Figura 6).

Las cronologías de *Pseudotsuga* resultan de gran importancia paleoclimática para el norte de México, ya que la gran mayoría están altamente correlacionadas con la precipitación invierno-primavera y con índices de la fase cálida del Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) (Stahle *et al.*, 1998). Debido a este fenómeno se presentan inviernos húmedos con eventos cálidos de ENSO e inviernos secos durante su fase fría. Los árboles de *Pseudotsuga* también producen cicatrices de incendios, particularmente cuando éstos son superficiales o de baja intensidad, que al ser fechados exactamente al año de su formación es factible reconstruir la frecuencia histórica de incendios y analizar su relación con las condiciones climáticas dominantes previo, durante y posterior a su ocurrencia. Esta información es de gran relevancia para el manejo y conservación de bosques mixtos y restauración de ecosistemas degradados donde la supresión de incendios o incendios provocados y de alta intensidad han deteriorado el hábitat de esta especie (Fulé *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Cronologías de *Pseudotsuga menziesii* desarrolladas por el INIFAP y por otras instituciones de investigación.

Estado	Nombre del Sitio	Clave	Coordenadas	Longitud de Cronología	Tipo de Cronología ¹
Cronologías producidas por el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP					
Coahuila	Viga	VIG	25.238, 100.372; 3,400 m	1659-2001	RW, EW, LW
	Cuahuilón	COA	25.234, 100.333; 3,200 m	1700-2001	RW, EW, LW
	Pilares	PIL	25.275, 100.492; 3,150 m	1775-2000	RW, EW, LW
	Morro	MOR	25.201, 100.355; 3,500 m	1855-2000	RW, EW, LW
	Tarilal	TAR	25.440, 100.551; 3,200 m	1872-2000	RW, EW, LW
	Sierra la Madera	SMD	27.017, 102.287; 2,180 m	1719-2003	RW, EW
	Maderas del Carmen	MDC	29.024, 102.568; 1,700 m	1761-2002	RW
	El Pajarito	PAJ	27.038, 102.358; 2,050 m	1780-2003	RW, EW, LW
	Sierra de Zapalinamé	SAZ	25.353, 100.90; 2,700 m	1746-2005	RW, EW, LW
	Bayas	BAY	23.453, 104.841; 2,980 m	1681-2001	RW, EW
	Ciénega de la Vaca	CVC	25.543, 105.592; 2,800 m	1763-2002	RW, F.W, LW
	Cerro Bandeira	RAN	24.609, 105.108; 3,170 m	1675-2001	RW, F.W, LW
	El Cócono	COC	25.951, 106.356; 1,950 m	1450-2002	RW, EW
Durango	Tarahumar	TAR	25.571, 106.341; 2,580 m	1724-2003	RW, EW, LW
	San Diego Tenzáenz	SDT	25.053, 106.074; 3,039 m	1777-2004	RW, EW, LW
	Pitoréal	PIT	25.559, 105.954; 2,730 m	1693-2003	RW, EW, LW
	San Andrés	AND	25.418, 105.538; 2,790 m	1700-2004	RW, EW, LW
	Chiqueros	CHI	26.186, 106.342; 2,900 m	1418-2005	RW, EW, LW
	Cerro Barajas	CBA	26.394, 106.082; 3,180 m	1436-2006	RW, EW, LW
	Cerro Huehuento	CHU	24.076, 105.738; 2,970 m	1552-2006	RW, EW, LW
	Puenteceñas	PUE	24.318, 105.919; 2,680 m	1573-2007	RW, EW, LW
	Brillante	BRI	23.661, 105.437; 2,700 m	1605-2004	RW, EW, LW

Continúa...

Chihuahua	Bisabatchi	HIS	28 657, 108 788, 2 744 m	1472 - 2002	RW, EW
	Cebadillas de Ocampo	CDO	28 122, 107 950; 2,781 m	1588 - 2002	RW, EW, LW
	Masa las Guacamayas	MDG	30 543, 108 619, 2 665 m	1636 - 2002	RW, F-W, LW
	Madera	MAD	29 308, 108 190, 2 820 m	1774 - 2001	RW, EW, LW
	Cerro Mohimora	MOH	25 933, 107 01, 2 900 m	1657 - 2005	RW, EW, LW
Nuevo León	Piña Nevada	PNE	23 817, 99 841; 3,200 m	1400 - 2002	RW, EW, LW
Sonora	Sierra los Ajos	SLA	30 900, 109 950; 2,400 m	1838 - 1992	RW
Zacatecas	Jiménez del Teul	JIM	23 210, 103 953, 2 758 m	1758 - 2001	RW, EW, LW
Cronologías producidas por Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas					
Durango	Cerro Baraja	BAR	26 400, 106 083; 3,170 m	1376 - 1993	RW, EW, LW
	Cuevecillas	CUE	25 150, 106 383; 2,500 m	1651 - 1993	RW, EW, LW
	Ciénega de Guadalupe	CNG	25 067, 105 300; 2,500 m	1675 - 1993	RW, EW, LW
	El Salto	SAL	23 750, 99 517; 2,590 m	1481 - 1993	RW, EW, LW
Chihuahua	Las Tinajas Tabacote	TIN TAB	30 400, 108 400, 2 070 m 28 333, 108 000, 2 250 m	1621 1993 1583 - 1993	RW, EW, LW RW, EW, LW
	Creel Airstrip	CIA	27 700, 107 600; 2,200 m	1644 - 1993	RW, CW, LW
Nuevo León	Cerro Potosí	POT	24 833, 100 067; 2,800 m	1845 - 1995	RW, EW, LW
Oaxaca	Cerro la Peña	CPN	17 167, 98 633; 2,550 m	1561 - 2001	RW, EW, LW
Puebla	Cuahtémoc la Fragua	CUA	19 173, 97 312; 3,154 m	1740 - 2004	RW, EW, LW
Querétaro	Pinal de Anoles	AMO	21 167, 100 400; 2,560 m	1731 - 1998	RW, EW, LW
Tlaxcala	Villareal	TER	19 533, 97 883; 3,120	1710 - 1998	RW, EW, LW
Veracruz	El Malpaso	MAL	20 400, 98 133; 2,580 m	1730 - 1999	RW, EW, LW

Continúa...

Cronologías producidas por el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona

Chihuahua	Canyon Grande	30,533, 108,533; 2,300 m	1678 - 1969	RW
	Sierra del Nido	29,517, 106,817; 2,333 m	1569 - 1971	RW
	Tomochic	28,417, 107,833; 2,250 m	1680 - 1973	RW
	Cireel	27,700, 107,600; 2,200 m	1643 - 1973	RW
	Rio Verde	26,300, 106,500; 2,500 m	1634 - 1973	RW
Coahuila	Sierra del Carmen	28,933, 106,500; 2,030 m	1675 - 1991	RW
	Cerro Baraja	26,367, 106,067; 3,170 m	1595 - 1973	RW
Durango	Los Angeles Sawmill	26,083, 106,083; 2,800 m	1489 - 1973	RW
	Cuevecillas	25,150, 106,383; 2,500 m	1651 - 1973	RW
	Santa Rita Tunnel	23,750, 105,517; 2,590 m	1668 - 1965	RW
	El Salto-East	23,750, 105,517; 2,500 m	1483 - 1972	RW
	El Salto West	23,333, 105,600; 2,590 m	1592 - 1965	RW

RW: Ancho de anillo total; EW: Madera temprana; LW: Madera tardía.

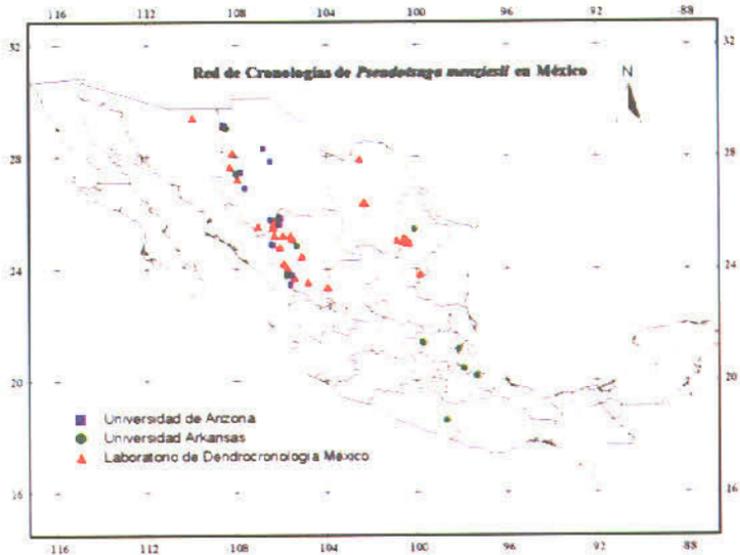


Figura 6. Distribución geográfica de cronologías de *Pseudotsuga menziesii* en la República Mexicana.

Parámetros Dendrocronológicos de las Cronologías Mexicanas de *P. menziesii*

Determinados parámetros estadísticos específicos para series de tiempo dendrocronológicas derivados del proceso de estandarización o generación de índices con anillos de árboles, pueden utilizarse para definir su calidad en términos de respuesta climática (Fritts, 1976). El estadístico más simple es la «Media» y proporciona el valor más cercano a todos los valores del set de datos y que es análogo al centro de gravedad; el valor de este parámetro es muy cercano a 1.0 debido al proceso de normalización o estandarización. Otro parámetro es la «Varianza» que

determina la dispersión de los índices dendrocronológicos con relación a la *Media*; mientras que la «*Desviación Estándar*» es sólo la raíz cuadrada de la *Varianza*. El «*Coefficiente de Correlación*» mide la asociación entre dos variables o series de tiempo para pares de valores en períodos similares o desfasados en el tiempo, en cuyo caso se denomina «*Autocorrelación*» o «*Correlación Serial*». De esta manera, el grosor de un anillo para un año particular (t) puede estar correlacionado con el ancho de anillo del año previo (t-1) o con el año siguiente (t+1) o con varios años antes (t-n) y después (t+n).

Uno de los parámetros más importantes en series dendrocronológicas es la «*Sensitividad Media*», que determina la diferencia relativa en anchura o grosor de un anillo con relación al próximo; es decir, el cambio porcentual en grosor de un anillo al siguiente. Este valor fluctúa de 0 a 2, donde el valor de 0 indica que no existe diferencia en grosor de un anillo al siguiente y un valor de 2 significa que un anillo de los dos comparados en una secuencia de serie de tiempo tiene un crecimiento nulo (como es el caso de anillos perdidos o microanillos con muy escaso crecimiento); entre menor sea el valor de la «*Sensitividad Media*» también será menor la varianza de alta frecuencia y la presencia de más varianza de baja frecuencia se refleja como mayor autocorrelación. Por otra parte, entre más grande sea la «*Sensitividad Media*» la variabilidad interanual o de alta frecuencia será también mayor. Algunas

características de las cronologías de *Pseudotsuga* para las Sierras Madre Occidental, Oriental y Centro de México se encuentran descritas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas y su rango para cronologías de anillos de crecimiento de *P. menziesii* en diversos sitios del norte y centro de México.

Estadístico	Sierra Madre Occidental	Sierra Madre Oriental	Valle de México
Media	0.99–1.0	0.99–1.0	0.99–1.0
Mediana	0.97–1.0	0.96–1.0	0.98–1.0
Sensitividad media ¹	0.13–0.34	0.23–0.38	0.21–0.35
Desviación estándar	0.20–0.31	0.27–0.33	0.22–0.24
Skewness ²	0.07–0.47	0.05–0.62	0.05–0.25
Kurtosis ³	-0.06–2.32	-0.04–2.10	-0.05–0.54
Autocorrelación de 1er orden	0.03–0.39	0.05–0.49	0.07–0.35
Autocorrelación de 2º Order	0.02–0.16	0.02–0.17	0.09–0.10
Varianza debida a autoregresión (%)	0.2–19.0	3.5–23.0	0.0–15.0

¹La sensitividad media fluctuó aun para una misma zona, lo cual indica que la respuesta climática de la especie depende más de las condiciones del sitio donde se desarrolle la especie, que de las condiciones climáticas de la región misma. ²Skewness es una medida de simetría en una distribución normal y este valor es cero o cerca de cero cuando los datos se ajustan a una distribución normal. Un valor negativo indica que los datos se desvían hacia la izquierda y uno positivo hacia la derecha; para la mayoría de las cronologías analizadas en este estudio los índices se acercaron mucho a una distribución normal o estuvieron algo sesgados hacia la derecha; ³Kurtosis se refiere a si los datos se concentran (hacen pico) o tienen un comportamiento más uniforme (aplanado) en una distribución normal. Este valor es de cero cuando los datos se distribuyen normalmente y valores positivos indican que los datos forman un pico y negativos una distribución de forma aplanada; ⁴Autocorrelación es una medición de la tendencia de una especie arbórea a producir crecimientos similares de un año a otro, esta tendencia disminuye con el tiempo. De esta manera la autocorrelación de segundo orden fue menor que la de primer orden para todas las cronologías analizadas e inclusive llegó a ser nula.

RECONSTRUCCIONES PALEOCLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y DE FLUJO CON *P. menziesii*

En el norte de México el crecimiento de los árboles y en particular de las coníferas está influenciado por la precipitación que ocurre en el período invierno-primavera. La lluvia que se presenta en este período, generalmente es de baja intensidad, y gran parte de las veces no llega a sobrepasar la capacidad de infiltración del suelo, por lo que un alto porcentaje de esta lluvia se considera efectiva y queda almacenada en la matriz del suelo para que posteriormente la aproveche la especie durante la estación de crecimiento. En sitios más elevados de sistema montañosos de esta región se presentan en el invierno nevadas continuas, a veces de alta intensidad, que de igual manera al derretirse contribuyen a incrementar la humedad disponible para el crecimiento de los árboles, especialmente en exposiciones norte o sitios con poca luminosidad preferidos por *Pseudotsuga menziesii*.

Dentro de las primeras reconstrucciones de precipitación estacional en México figuran las de Villanueva y McPherson (1996) para el norte de Sonora y suroeste de Nuevo Mexico; la de Cleaveland *et al.*, (2003) para el estado de Durango y de Díaz *et al.*, (2002) para Chihuahua. La reconstrucción de precipitación invernal (noviembre-marzo) para Durango se extiende por 608 años (1386–1993). La reconstrucción indica la presencia de sequías severas en los períodos 1540–1579, 1857–1872 y 1950–1965. El período más húmedo en la reconstrucción se presentó de 1831 a 1856, período que también se reporta como el más húmedo en los últimos 500 años para el

suroeste de los Estados Unidos de América (Fye *et al.*, 2003).

Algunas de estas sequías, específicamente la del período 1540–1579, conocida como «mega sequía» (Stahle *et al.*, 2000), se ha relacionado con brotes epidémicos que diezmaron notablemente la población indígena del Valle de México, posterior a la colonización española (Acuña-Soto *et al.*, 2002; Therrell *et al.*, 2004, 2006). La sequía del período 1950–1965 fue la más intensa del siglo XX y causó severos daños socioeconómicos, no sólo a la población de Durango, si no también a diversos asentamientos humanos del norte y centro del país (Díaz *et al.*, 2002). Algunos de los períodos secos observados en esta reconstrucción también fueron detectados en reconstrucciones de precipitación para Guanaceví, Durango y de flujo para la parte alta de la cuenca del Nazas (Figuras 7, 8) (Villanueva *et al.*, 2005).

Reconstrucciones de gastos (flujos) en sistemas fluviales amalgaman diversas variables climáticas, de vegetación, fisiográficas, cambios de uso del suelo, etc., y, por ende, proporcionan una mejor respuesta a la variabilidad hidrológica y climática que caracteriza a una región determinada. Una de las limitantes para hacer extensivo este tipo de estudios, es la falta de datos hidrometeorológicos con quien comparar la respuesta en crecimiento de los árboles, ya que muchas de las corrientes perennes carecen de datos hidrométricos, o algunos sitios donde se han implementado estas mediciones son relativamente recientes, por lo que no es factible desarrollar comparaciones que deriven en reconstrucciones estadísticamente

confiables. La reconstrucción de flujo para la parte alta de la cuenca del río Nazas se derivó al integrar una red regional de nueve cronologías de *P. menziesii* en la Región Hidrológica 36 con datos hidrométricos de la estación Sardinias, Guanaceví, Durango. Esta reconstrucción es una de las pocas de este tipo, y aunque es de corta duración indica con claridad la presencia de sequías y períodos húmedos que han afectado esta cuenca hidrológica en los últimos 250 años.

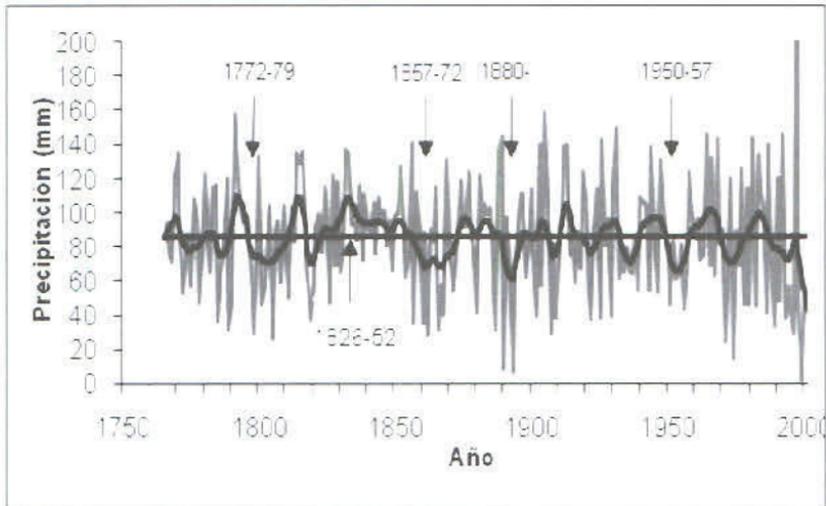


Figura 7. Precipitación reconstruida de las estaciones primavera-verano (noviembre–mayo), período de 1765 a 2001 en Guanaceví, Durango con el uso de nueve cronologías de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* procedentes de la Sierra Madre Occidental en los estados de Durango y Zacatecas. La curva flexible suavizada representa eventos de precipitación de baja frecuencia ocurridos a lo largo de la reconstrucción. Algunas sequías severas se observaron en los períodos 1772–1779, 1818–1822, 1857–1872, 1880–1896, 1950–1957 y 1988–2001; el período más húmedo se presentó de 1826 a 1852 (Villanueva *et al.*, 2005).

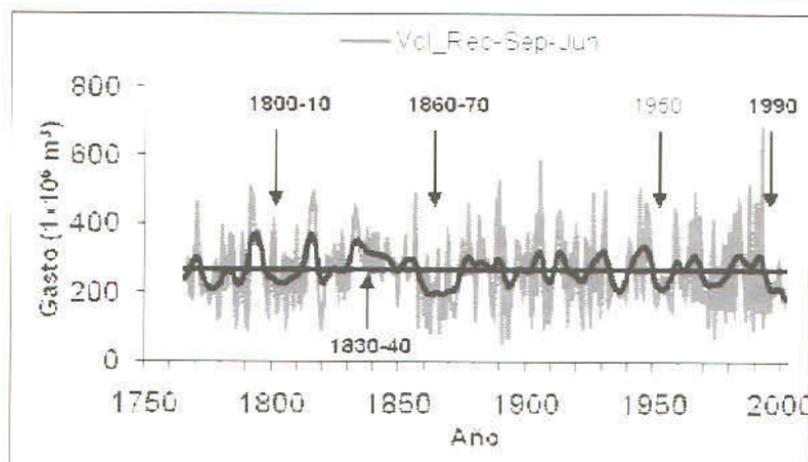


Figura 8. Flujo estacional reconstruido (gasto) de septiembre del año previo a junio del año actual de crecimiento, con una cronología regional de madera temprana de *P. menziesii* para la estación hidrométrica «Sardinas», ubicada en la parte alta de la cuenca del Nazas en el estado de Durango. La reconstrucción cubre el período 1765–2002. Sequías muy severas se detectaron en los períodos 1800–1810, 1860–1870, 1950 y 1990. Un período húmedo se presentó en las décadas de 1830 y 1840; este último también presente en el norte de México y sur de los Estados Unidos de América (Villanueva *et al.*, 2005).

Dentro de las reconstrucciones de precipitación invierno-primavera (octubre–mayo) de extensión muy similar a la de Durango, es la realizada para la región que comprende el noroeste de Chihuahua y este de Sonora, con una cronología de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* procedente del sitio Bisalochi, Chihuahua (Figura 9). Esta reconstrucción de 531 años de extensión (1472–2002), indica la presencia de eventos secos similares a los detectados en Durango; aunque con una intensidad y duración menor, posiblemente influenciado por condiciones locales atribuidas a la longitud del período

estacional reconstruido y a variaciones fisiográficas propias de la región.

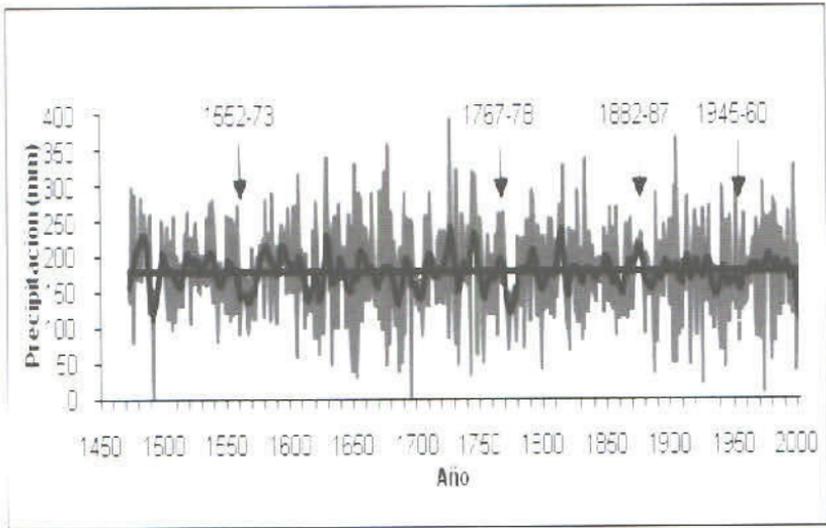


Figura 9. Precipitación estacional reconstruida invierno-primavera (octubre–mayo), periodo 1472-2002 para el noroeste de Chihuahua y este de Sonora, desarrollada con una cronología EW de *Pseudotsuga menziesii*, procedente del sitio Bisaloachi, Chihuahua, en la Sierra Madre Occidental. Sequías severas se observan en los periodos 1488-1496, 1552-1573, 1611-1626, 1767-1778, 1882-1887, 1945-1960 y 1993-2002; periodos húmedos estuvieron presentes en 1477-1486, 1590-1598, 1649-1661, 1736-1750, 1820-1824, 1873-1878, 1940-1944 y 1972-1979. La línea gruesa es una curva decenal flexible, que enfatiza eventos a nivel década (Villanueva *et al.*, en prensa).

Una cronología de *Pseudotsuga* generada en la comunidad del «Cócono», Guanaceví, Durango se utilizó para el desarrollo de una reconstrucción de precipitación estacional de la región limítrofe que comprende los estados de Durango, Chihuahua y Sinaloa (Figura 10). El

entendimiento de la variabilidad hidrológica en esta zona tiene gran importancia hidrológica, ya que en esta parte de la Sierra Madre Occidental es donde se genera el agua que alimenta las presas y mantos freáticos, con los que se riegan los grandes distritos de riego ubicados en la planicie costera del Pacífico, cuya agricultura se avoca en alto grado a la producción de cultivos industriales con fines de exportación.

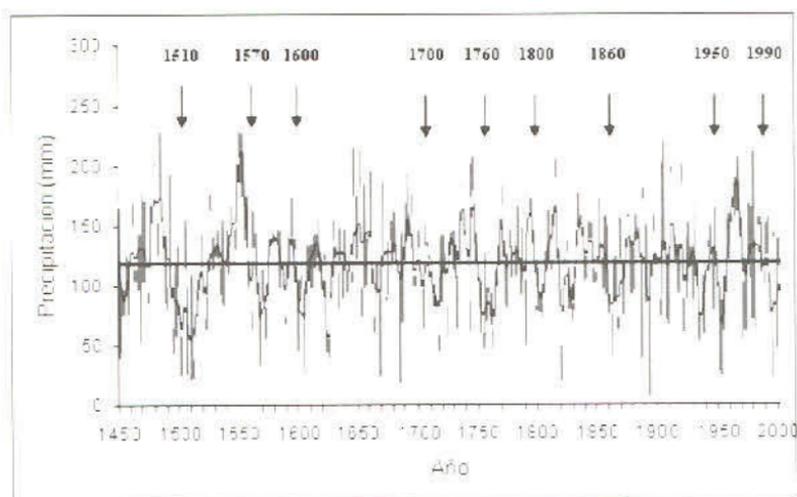


Figura 10. Serie de la precipitación reconstruida invierno-primavera (noviembre–mayo) para el periodo de 1450–2002 para la región que comprende el área limítrofe de los estados de Durango, Chihuahua y Sinaloa con una cronología de madera temprana de *P. menziesii* del sitio «El Cócono», Guanaceví, Durango. En los 553 años de la reconstrucción se observan sequías recurrentes como las acontecidas en los periodos 1500-1517, 1566-1573, 1599-1606, 1702-1717, 1751-1768, 1785-1790, 1797-1805, 1859-1868, 1950-1957 y 1993 a 2000. Periodos húmedos de más de 10 años se presentaron en los periodos 1478-1486, 1543-1556, 1474-1586 y 1960-1970. La línea oscura es una curva decenal flexible, que enfatiza eventos a nivel década (Villanueva *et al.*, en prensa).

El agua disponible en esta región se utiliza en alto porcentaje con fines agropecuarios y se tiene un problema fuerte para el suministro de agua a la población, así como para fines industriales. El conocimiento de la variabilidad hidroclimática histórica es por lo tanto fundamental para el desarrollo de planes que permitan un uso sustentable de este recurso.

Una reconstrucción de precipitación con una cronología de *Pseudotsuga menziesii* para el norte de Chihuahua, indica eventos de sequía muy similares a los detectados para otras reconstrucciones del norte de México. Algunas sequías severas, como las de las décadas de 1860, 1890, 1950 y 1970, parece que no fueron tan intensas en este sitio o estuvieron desfasadas en el tiempo, lo cual puede deberse a condiciones microclimáticas dominantes o al movimiento paulatino de patrones circulatorios que afectaron primero cierta parte de México y se fueron desplazando paulatinamente a otras regiones del país (Figura 11).

Muchos de los períodos secos se han detectado simultáneamente en reconstrucciones de precipitación para el norte de México y específicamente para reconstrucciones con anillos de árboles en las Sierras Madre Oriental y Occidental. De esta manera, los períodos secos de las décadas de 1660, 1690, 1790, 1810, 1860, 1890, 1920, 1950, 1970 y 1990, se encuentran presentes en reconstrucciones para Saltillo, Nuevo León y Tamaulipas en el noreste

de México (Pohl *et al.*, 2003; Cerano, 2004; Villanueva *et al.*, 2007) y episodios muy secos como el de las décadas de 1660, 1760, 1860 y 1950 también se encuentran presentes en reconstrucciones para el norte y noroeste de México (Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; González-Elizondo *et al.*, 2005; Villanueva *et al.*, 2005) (Figuras 12 y 13).

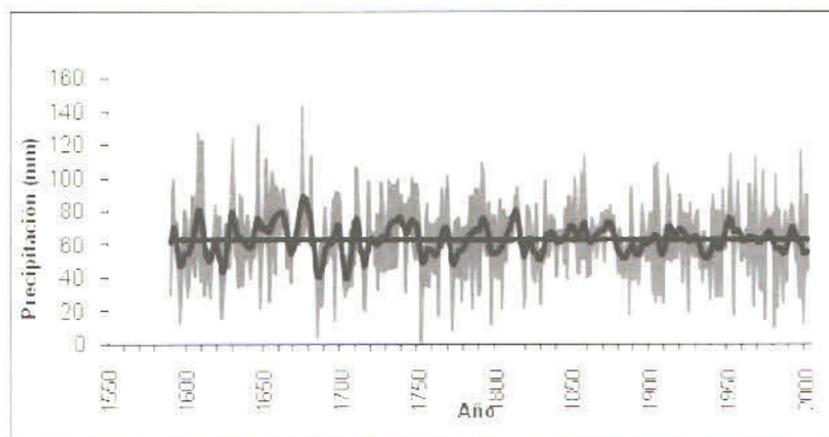


Figura 11. Reconstrucción de precipitación estacional enero-mayo para el norte de Chihuahua con una cronología de *Pseudotsuga menziesii* generada para el sitio Cebadillas de Ocampo, Chihuahua. En los 413 años de la reconstrucción (1590-2002) se observan sequías recurrentes como las acontecidas en las décadas de 1590, 1680, 1710, 1750, 1810, 1890, 1940 y 1980. La línea oscura es una curva decenal flexible que enfatiza eventos a nivel década (Villanueva *et al.*, en prensa).

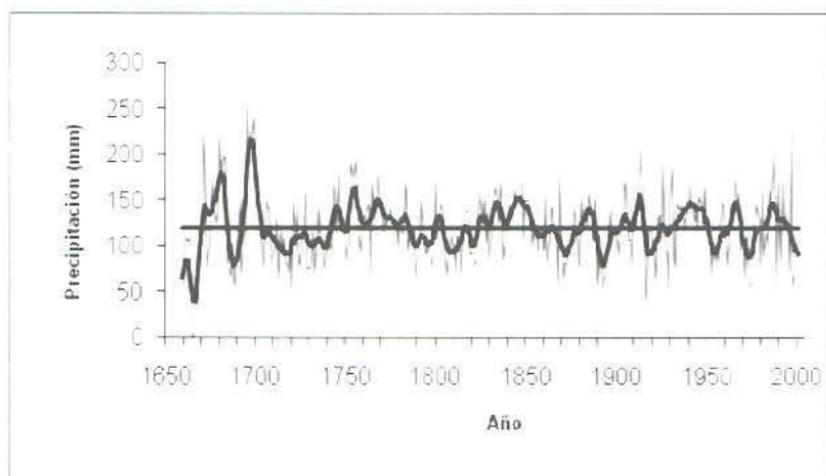


Figura 12. Reconstrucción de precipitación estacional invierno-primavera (enero-junio) para Saltillo, Coahuila, al utilizar una cronología regional de madera temprana de *P. menziesii* desarrollada para la Sierra de Arteaga, Coahuila. En los 342 años de la reconstrucción se observan sequías recurrentes para los períodos 1663-1670, 1685-1695, 1705-1743, 1789-1810, 1857-1875, 1890-1895, 1950-1965 y 1969-1980 (Cerano, 2004).

La intensidad de estas sequías comunes ha variado de región en región acorde a las características fisiográficas propias de cada localidad, distanciamiento al océano, patrones circulatorios dominantes, etc.; sin embargo, es evidente que estas sequías de impacto generalizado han estado influenciadas de manera común por patrones circulatorios de gran magnitud, caso específico El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en Inglés), Monzón de Norteamérica o Monzón Mexicano (NAMS, por sus siglas en Inglés), entre otros (Stahle *et al.*, 1998, 2000b; Magaña *et al.*, 1999; Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2005, 2007). Es importante sin embargo, analizar a detalle la extensión de estas sequías y los

probables mecanismos circulatorios que les dieron origen; de esta manera será posible explicar los eventos de baja frecuencia que se han presentado de manera frecuente cada 50 ó 100 años en el norte-centro de México.

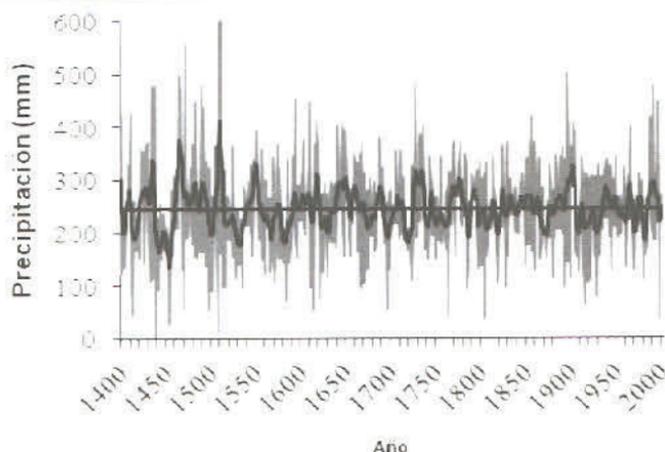


Figura 13. Precipitación reconstruida invierno-primavera (diciembre-abril) con una cronología de madera temprana de *P. menziesii* procedente del sitio Peña Nevada, Nuevo León. La reconstrucción abarca el período de 1402–2002 y cubre la región centro y sur de Nuevo León. En los 602 años de la reconstrucción se observan sequías recurrentes como las que se presentaron en los períodos 1444-1455, 1520-1535, 1563-1573, 1611-1615, 1685-1698, 1748-1761, 1805-1810, 1866-1874, 1952-1956 y 1969-1971. La línea gruesa es una curva decenal flexible, que enfatiza eventos a nivel década (Villanueva et al., 2007).

Comportamiento de Eventos de Baja Frecuencia para las Reconstrucciones de Precipitación Analizadas

Al comparar para un mismo período las tendencias de baja frecuencia (>10 años) para las diversas reconstrucciones desarrolladas, se observa la presencia de eventos comunes, lo cual es indicativo de que patrones circulatorios de gran magnitud han impactado históricamente y de manera similar una amplia zona de la República Mexicana (Figura 14). De esta manera, se observan sequías comunes para estas reconstrucciones en las décadas de 1780, 1810, 1860, 1950 y al final de 1990. En el siglo XX, la sequía de mayor intensidad se presentó en la década de 1950, lo cual se ha verificado tanto con datos instrumentales como con documentos históricos y reconstrucciones paleoclimáticas. Los diversos períodos secos y húmedos detectados en las reconstrucciones existentes con cronologías de anillos de árboles en la Sierras Madre Occidental y Oriental, muestran períodos semejantes para un alto porcentaje de ellas; las discrepancias entre reconstrucciones son producto de condiciones microclimáticas locales influenciadas por aspectos fisiográficos, continentalidad y aspectos topográficos, entre otros (Cuadro 3).

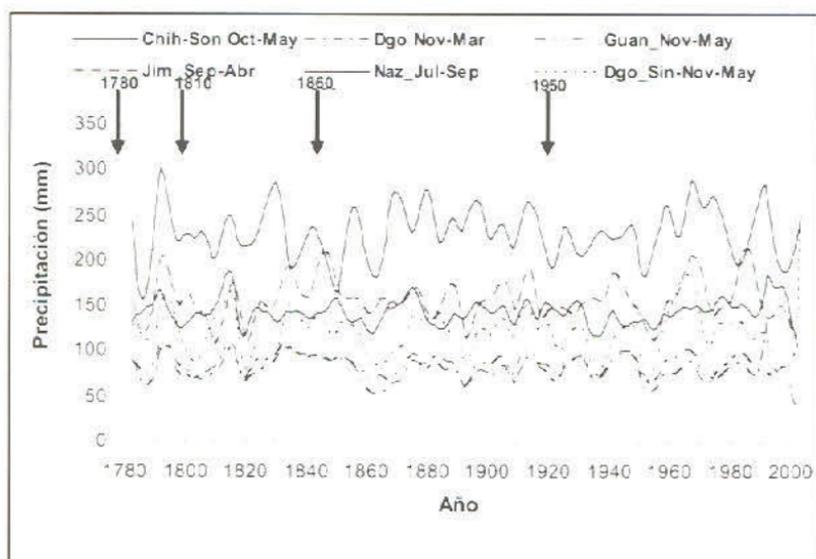


Figura 14. Comportamiento de las líneas flexibles decenales que resaltan eventos de baja frecuencia para las reconstrucciones estacionales de precipitación en la Sierra Madre Occidental. Se observa que las reconstrucciones más relacionadas fueron las desarrolladas para Durango (Dgo Nov-Mar), Guanaceví (Guan_Nov-May) y región de Durango y Sinaloa (Dgo_Sin-Nov-May), con correlaciones de 0.81, 0.77 y 0.61, respectivamente). La correlación entre las reconstrucciones de Guanaceví (Guan_Nov-May) y de la parte media-baja del río Aguanaval (Jim_Sep_Abr) tuvieron una correlación de 0.65, no obstante que el período reconstruido fue diferente; lo cual indica que la lluvia en esta región está influenciada por patrones circulatorios comunes. Diversos períodos de sequía fueron similares para las reconstrucciones realizadas, caso concreto las sequías de las décadas de 1780, 1810, 1860, 1890, 1910, 1950 y últimos años del siglo XX.

Cuadro 3. Periodos secos y húmedos detectados en las reconstrucciones estacionales de precipitación para la Sierra Madre Occidental.

Sito Reconstruido	Periodo	Estación reconstruida	Periodos secos	Periodos húmedos	Fuente
Durango	1386-1993	Nov-Mar	1540-79, 1857-72, 1950-65	1831-56	Cleaveland <i>et al.</i> , 2003
Guanacevi, Dgo.	1765-2001	Nov-May	1772-79, 1818-27, 1857-72, 1880-96, 1950-57, 1988- 2001	1826-52	Villanueva <i>et al.</i> , 2005
NF Chihuahua- Sonora	1472-2002	Oct-May	1488-96, 1552-73, 1611-26, 1767-78, 1882-87, 1945-60, 1993 2002	1477-86, 1590-98, 1649-61, 1736-50, 1820-24, 1873-78, 1940-44, 1972-79	Villanueva <i>et al.</i> , en prensa

NW	México	1449-2002	Nov-May	1493- 1528, 1560-75, 1542-57, 1620-30, 1645-61, 1698- 1725, 1727-49, 1750-68, 1798- 1807, 1818-30, 1859-73, 1947-57, 1993- 2002	1542-57, 1645-61, 1727-49, 1833-45, 1958-69	Villanueva et al., en prensa
(Dgo., Sim.)	Chih.,					
	Nazas, Dgo.	1500-2003	Jul-Sep	1509-20, 1548-59, 1684-91, 1758-63, 1784-89, 1809-11, 1800-65, 1949-56, 1981-85, 1995- 2000	1524-28, 1647-51, 1679-85, 1740-50, 1871-80, 1966-70, 1988-92	Villanueva et al., en prensa

Aguanaval, Dgo	1641-2002	Sep-Abr	1658-68, 1698- 1705, 1761-65, 1772-75, 1785-90, 1803-13, 1819-23, 1860-63, 1890-99, 1908-10, 1946-57, 1971-76, 1998- 2002	1833-37	Villanueva <i>et al.</i> , en prensa
Chihuahua	1647-1992	Nov-Abr	1751-65, 1798- 1810, 1952-57	1790s, 1830s, 1905-32	Diaz <i>et al.</i> , 2002
Norte de Chihuahua	1590-2002	Ene-May	1590, 1680, 1710, 1750, 1810, 1890, 1940, 1980	1610s, 1730s, 1790s, 1870s, 1950s	Villanueva <i>et al.</i> , en prensa

Sur de Dgo.	1681-2001	Nove-May	1096- 1709 1739-43, 1749-55, 1772-79, 1797 1805, 1857-76, 1907-10 1916-22, 1932-39, 1969- 2001	1831-47, 1953-68, 1983-85	González- Elizondo <i>et</i> <i>al.</i> , 2005
-------------	-----------	----------	--	---------------------------------	--

El desarrollo de nuevas reconstrucciones (en proceso) con anillos de crecimiento de abeto Douglas para sitios en Chihuahua, Durango y Tlaxcala, proporcionará información más detallada de la variabilidad hidroclimática que ha caracterizado históricamente a la región norte-centro de México al menos en los últimos tres siglos. Esta información es de suma importancia para definir la frecuencia de eventos climáticos extremos y el impacto de patrones circulatorios que afectan en especial esta región de México. En este aspecto, no sólo las cronologías de *P. menziesii* están involucradas, si no que también se trabaja conjuntamente con otras cronologías derivadas de especies como en el caso de *Taxodium mucronatum*, *Pinus cembroides*, *Pinus pinxana*, *Pinus lumholtzii*, entre otras, con lo cual se espera generar un conocimiento más detallado de la variabilidad interanual y de baja frecuencia en esta región de México.

ACCIONES REQUERIDAS PARA LA CONSERVACIÓN DE RODALES DE *P. menziesii* EN MÉXICO

El *Pseudotsuga menziesii* es la conífera más longeva en México con ejemplares vivos cercanos a los 600 años de edad, aunque estos especímenes son muy raros de ubicar debido a su aislamiento y a cambios en el uso del suelo, así como a problemas de incendios y ataque de plagas y enfermedades que han originado la desaparición de muchos de estos individuos longevos

(Villanueva *et al.*, 2006). Los estudios científicos para fundamentar técnicamente la conservación de esta especie se deben derivar de estudios que involucren tanto la caracterización físico-biótica de sus poblaciones, así como de un conocimiento detallado de su dinámica, reproducción, tasas de crecimiento, variabilidad genética, producción y viabilidad de su semilla, impacto de plagas y enfermedades, efecto de incendios, entre otros (Domínguez, 1994, Fulé *et al.*, 2005). Desafortunadamente pocos son los estudios de esta índole, generados para esta especie en México, situación que limita seriamente acciones efectivas para promover su conservación.

Existen múltiples razones para desarrollar acciones avocadas a la conservación de esta especie; una de ellas es que sus poblaciones son muy limitadas en cuanto a superficie, el desarrollo de interrelaciones ecológicas con otros individuos con los cuales la especie mantiene una estabilidad ecológica, la captura de información climática en sus anillos de crecimiento anual, que le hacen una de las fuentes «proxy» más importantes y de alta resolución para estudios paleoclimáticos en el último milenio; análisis de impacto de patrones atmosféricos circulatorios, planeación de los recursos hídricos, así como para reconstrucción de incendios y frecuencia histórica de brotes de plagas y enfermedades (Villanueva *et al.*, 2006).

Las acciones legales emprendidas en México para conservar esta especie, como es el caso de declararla

especie rara dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994 (Secretaría de Desarrollo Social, 1994), constituye un avance para su conservación; no obstante, esta acción debe ir aparejada con programas intensivos de investigación en mejoramiento genético, control de plagas y enfermedades, restauración de incendios controlados, técnicas de propagación, plantaciones forestales, exclusión de rodales degradados con abeto Douglas, etc. En sitios donde la presión social es muy fuerte sobre este recurso, las instituciones gubernamentales encargadas de su conservación, deben desarrollar y fomentar estrategias con representantes de organizaciones ejidales y privadas avocadas al aprovechamiento forestal con el fin de fomentar la conservación de esta especie; acciones que pudieran ser muy diversas como el pago de servicios hidrológicos, captura de carbono, fomento de proyectos ecoturísticos, cinegéticos, plantaciones para árboles de navidad, prohibir el cambio de uso del suelo en sitios donde se encuentre presente la especie, etc., así como ejercer acciones legales para desalentar su aprovechamiento clandestino.

Rodales de *P. menziesii* que requieren atención inmediata de conservación son múltiples, particularmente aquellos ubicados en el centro de México. Uno de ellos es el rodal ubicado en el sitio Cuauhtémoc La Fragua, Puebla en las faldas del volcán Pico de Orizaba; rodal que posee árboles vivos de 400 a 500 años, de donde se generó una de las cronologías de mayor importancia paleoclimática

que se haya producido en México y que explica la variación hidroclimática histórica en el Valle de México, con la que fue factible determinar la influencia de la precipitación de verano en el crecimiento de esta especie (Therrell *et al.*, 2002), así como el desarrollo de una reconstrucción histórica de maíz (Therrell *et al.* 2006) y el efecto de la variación climática en la presencia de brotes epidémicos que diezmaron la población indígena posterior a la colonización española (Acuña *et al.*, 2002). Las condiciones actuales de este rodal son de deterioro debido al pastoreo intensivo por ganado vacuno y caprino e incendios frecuentes de origen antropogénico, lo que pone en serio peligro su permanencia en este sitio.

Otros rodales con *Pseudotsuga* de alta importancia ecológica y paleoclimática se ubican en sitios de Tlaxcala (parajes Terrenate, La Rosa, La Caldera, entre otros), Hidalgo, Puebla y Querétaro. En el norte de México resaltan rodales como Cerro Barajas, Guanaceví, El Brillante, Pueblo Nuevo, Puentecillas, San Dimas en el estado de Durango. En Chihuahua se ubican sitios en Madera, Cerro Mohinora, Bisaloachi, etc., y similarmente ocurre con otros sitios en Coahuila (Sierra de Arteaga) y Nuevo León (Cerro Potosí, Peña Nevada) (Villanueva *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

El abeto Douglas es una especie con una amplia distribución en México, pero debido a sus poblaciones tan

reducidas y circunscritas a condiciones fisiográficas muy particulares son altamente afectadas por cambios en el uso del suelo, incendios provocados, plagas y enfermedades. La especie se encuentra considerada dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994 en términos de especie rara; sin embargo, dicha consideración legal no ha evitado que muchas de sus poblaciones hayan desaparecido y otras se encuentren seriamente amenazadas o en alto grado de disturbio ecológico, sobre todo las poblaciones del Valle de México, donde los asentamientos humanos ejercen una fuerte presión social por la demanda de áreas con fines agropecuarios, crecimiento urbano, agua y recursos maderables.

Pseudotsuga menziesii es la conífera más longeva en México e individuos vivos de cerca de 600 años se encuentran dispersos en algunos rodales de la Sierra Madre Occidental en los estados de Durango y Chihuahua. Individuos de 400 a 500 años se localizan en un rodal denominado Cuauhtémoc la Fragua del municipio de Guadalupe Victoria, Puebla y especímenes menores a 300 años en diversos rodales de Tlaxcala, Veracruz, Querétaro. Especímenes de 300 a 500 años se ubican de igual manera en rodales de la Sierra Madre Occidental.

Cronologías de crecimientos anuales de *Pseudotsuga* con más de 600 años se han generado en el norte de México, la especie tiene el potencial

dendroclimático más alto aún detectado en México (en función a parámetros estadísticos como sensibilidad media, autocorrelación, etc.), ya que con sus anillos de crecimiento anual se pueden generar series de tiempo dendrocronológicas de madera temprana, madera tardía y de anillo total, cada una influenciada por condiciones climáticas distintas. De esta manera la madera temprana responde a la precipitación invierno-primavera e inclusive verano y la tardía a la precipitación de verano. Reconstrucciones de precipitación y de flujo con una extensión superior a 600 se han desarrollado para el norte y centro de México, lo que ha permitido definir la variabilidad hidroclimática histórica de alta y baja frecuencia, la extensión de las sequías en términos intensidad, período y área afectada, y el impacto de patrones atmosféricos circulatorios. Un conocimiento más detallado de la variabilidad hidroclimática histórica que caracteriza al norte y centro de México se puede lograr con el desarrollo de una red de cronologías de *Pseudotsuga* más completa, aunado a la generación de series dendrocronológicas con otras especies de coníferas y latifoliadas que pueden captar información climática adicional y contribuir de esta manera a un mejor conocimiento de la variabilidad climática de alta y baja frecuencia.

Acciones de conservación de la especie deben fundamentarse en conocimientos técnicos relacionados con los factores bióticos y abióticos donde habita la

especie; su dinámica, variabilidad genética, sanidad, efecto de incendios, entre otros. Lo anterior deberá reforzarse con exclusiones, acciones de reforestación, programas de manejo para restauración de sitios degradados, proyectos de pago de servicios ambientales y apego estricto a las normas legales que prohíban su aprovechamiento con fines maderables.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento otorgado a través de fondos del Instituto Interamericano para Investigación del Cambio Climático (IAI), proyecto CRN # 2047, a su vez financiado por el US/Nacional Science Foundation (Grant GEO-0452325). La impresión se cubrió con fondos del proyecto Manejo Integral de los Recursos Naturales en el Ámbito de la Ciudad de León, Gto.

LITERATURA CONSULTADA

- Acevedo R., R. 1998. Estudio sinecológico del bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *oaxacana* Debreczy & Rácz, en la zona de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, México. Tesis profesional de Ingeniero Forestal. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 105 p.
- Acuña-Soto, R., D.W. Stahle, M. K. Cleaveland, M.D. Therrell. 2002. Megadrought and megadeath in 16th century Mexico. *Emerging Infectious Diseases* 8(4): 360-362.
- Cerano P., J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 152 p.
- Cleaveland, M. K. 1988. Corrigendum to climate response of densitometric properties in semiarid sites tree rings. *Tree-Ring Bulletin* 48: 41-47.
- _____. D. W. Stahle, M. D. Therrell, J. Villanueva-Diaz, B. T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico, *Climatic change* 59: 369-388.

- Cornejo O., E. H. 1987. Aspectos ecológicos y dasonómicos del bosque de *Pseudotsuga-Pinus-Abies* en la Sierra de la Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 196 p.
- Díaz, S. C., M. D. Therrell, D.W. Sathle, M. K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992. *Climate Research* 22(3): 237-244.
- Domínguez A., F. A. 1986. Estudio ecológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, en la región de Huayacocotla, Veracruz. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 266 p.
- _____. 1994. Análisis histórico-ecológico de los bosques de *Pseudotsuga* en México. INIFAP, Centro de Investigación del Golfo-Centro, Campo Experimental El Palmar, Veracruz, México. Folleto Técnico 23. 43 p.
- _____. J. J. Vargas H., J. López U., P. Ramírez V., E. Guízar N. 2004. Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, *Serie Botánica* 75(2): 191-2003.

- Fowells, H. A. 1965. Silvics of forest trees of the United States. USDA, Forest Service Agriculture Handbook No. 271. Pp. 546-556.
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. London Academic Press. 565 p.
- Fulé, P. Z., J. Villanueva-Díaz, M. Ramos-Gómez. 2005. Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, Mexico. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 320-330.
- Fye, F. K., D. W. Stahle, E. R. Cook. 2003. Paleoclimatic analogs to twentieth-century moisture regimes across the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 84(7): 901-909.
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Navar, M. S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre, J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: A 1681-2001 rain reconstruction, *Forest ecology and management* 213: 39-53.
- Herman, R. H., D. P. Lavander. 1999. Douglas-fir planted forests. *New Forest* 17: 53-70.
- Magaña, V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrizosa, J. Pérez. 1999. El Niño y el clima. En Magaña, V. (editor), *Los impactos de El Niño en México*. SEP-CONACYT. Mexico. Pp. 23-68.

- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Tercera Edición. México, D.F.
- Panshin, A. J., C de Zeeuw. 1970. Textbook of wood technology, Vol 1. Third Edition. MacGraw-Hill. New York. 722 p.
- Pohl, K., M. D. Therrell, J. S. Blay, N. Ayotte, J. G. Cabrera-Hernandez, S. Diaz-Castro, S., E. Cornejo-Oviedo, J. A. Elvir, M. Gonzalez-Elizondo, D. Opland, J. Park, G. Pederson, S. Bernal-Salazar, L. Vasquez-Selem, J. Villanueva-Diaz, D.W. Stahle. 2003. «A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico», *Tree-ring research* 59 (1): 11-19.
- Rueda-Gaxiola, J. 1967. Contribution al étude palynologique et pétrographie du charbon crétacé du Bassin de Sabinas, Coahuila, Mexique. These Docteur de 3^{me} cycle de Gèologie Houillere. Faculté des Sciences de L' Université de Lille. 153 p.
- Rzedowski, J. 1986. Vegetación de México. Ed. LIMUSA. México, D.F. 432 p.
- Secretaría de Desarrollo Social. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres, terrestres y acuáticas en peligro de extinción, raras, amenazadas y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial de la Federación. México, D.F.

- Stahle, D. W., R. D. Dárrigo, P. J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. B. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Guy, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, J. Villanueva-Diaz, and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillatio. *Bulletin of the American Meteorological Society* 70(10): 2137-2152.
- _____. E. R. Cook, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, D. M. Meko, H.D. Grissino-Mayer, E. Watson, B.H. Luckman. 2000a. Tree-ring data document 16th century megadrought over North América. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 81(12): 121-125.
- _____. J. Villanueva, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, G. J. Paull, B. T. Burns, W. Salinas, H. Suzan, and P. Z. Fule. 2000b. Recent tree-ring research in Mexico. En F. A. Roig (compilador). *Dendrocronología en América Latina*. EDIUNC. Mendoza, Argentina. Pp. 285-306.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press. 73 p.
- Therrell, M. D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland, J. Villanueva-D. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107 (D14):6-1-6-7.

- ____ D.W. Stahle, R. Acuña-Soto. 2004. Aztec drought and the curse of one rabbit. *Bulletin of the American Meteorological Society* 85 (9): 1263-1272.
- ____ D. W. Stahle, J. Villanueva D., E. Cornejo O., M. K. Cleaveland. 2006. Tree-ring reconstructed maize yield in central Mexico: 1474-2001. *Climatic Change* 74: 493-504.
- Villanueva-Diaz, J., and G. R. McPherson. 1996. Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies in mountains of New Mexico, USA and Sonora, Mexico. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest* (26):45-53.
- ____ G. R. McPherson. 2002. Impacto del cambio de uso del suelo e incendios en la estructura de tres comunidades forestales. *Ciencia Forestal* 27 (91): 27-53.
- ____ B. H. Luckman, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, J. Cerano-Paredes, G. Gutierrez-Garcia, J. Estrada-Avalos, R. Jasso-Ibarra. 2005. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera. *Dendrocronologia* 22 (3): 215-223.
- ____ J. Cerano P., D W. Stahle, M. D. Therrell, L. Vázquez Selem, R. Morán Martínez, B. H. Luckman. Morán M. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México:

Importancia ecológica y paleoclimática. *Folleto Científico 20*. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 46 p.

- ____ D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano-Paredes, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climatic Change* 83: 117-131.



CENID-RASPA

Km 6.5 margen derecha canal Sacramento

Gómez Palacio, Durango, MÉXICO.

Apdo. Postal 41, Cd. Lerdo, Dgo.

Tels. y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34

e-mail: villanueva.jose@inifap.gob.mx

Editora: Ing. Raquel Anguiano Gallegos

Comité Editorial del CENID-RASPA

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Dr. Miguel A. Velásquez Valle

Vocales: Dr. Juan Estrada Ávalos
M. C. Miguel Rivera González

Revisor Técnico

Dr. Luis Valenzuela Núñez

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de agosto del 2008 en los talleres del Grupo Colorama,

Adolfo Aymes N° 50 Cd. Industrial,
Torreón, Coahuila.

Su tiraje consta de 600 ejemplares