

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Reconstrucción de Precipitación Invierno - Primavera en Base a *Pinus douglasiana* en la
Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco**

POR:

ABIHAIL AMARO SÁNCHEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

**Reconstrucción de Precipitación Invierno - Primavera en Base a *Pinus douglasiana* en la
Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco**

POR:

ABIHAIL AMARO SÁNCHEZ

TESIS

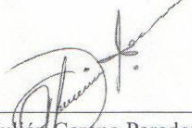
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:



Dr. Jorge Méndez González
Asesor Principal



M.C. Julián Cerano Paredes
Coasesor



Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
JUNIO DE 2012

El presente trabajo se realizó gracias al apoyo obtenido por el Laboratorio de dendrocronología (CENID – RASPA INIFAP) en Gómez Palacio, Durango. A través del proyecto: “Estudio de la Relación Clima - Incendios en el Norte - Centro De México”, financiado con el fondo SEP – CONACYT, cuyo responsable es el suscrito M.C. Julián Cerano Paredes.

DEDICATORIA

A mis padres:

M^a de Lourdes Sánchez Zamarripa

Gracias mamá, por darme la vida, por todo tu esfuerzo que has hecho para sacarme adelante, por todo el amor que he recibido incondicional durante toda mi vida, gracias por esos desvelos junto a mí, por todos los ánimos que me dabas cuando me veías apunto de decaer, Agradezco a Dios por haberme permitido ser tu hija y tener la dicha de tenerte en mi vida, Te Amo.

Juan Ricardo Amaro Rodríguez

Por darme la vida y estar conmigo directa e indirectamente durante todo mi trayecto de vida.

A mis Abuelos

Pablo Sánchez Moreno †.

Gracias papá, por ser mi roca, por educarme, por cuidarme, protegerme y por amarme incondicionalmente. Estarás por siempre en mi corazón.

María del Socorro Zamarripa Vázquez.

Por ser mi madre, por estar conmigo siempre y por haberme educado con tu sabiduría y amor.

Gracias.

A mis hermanos

Arely, Alan y Laura, por darme su cariño, por esos infinitos recuerdos que tenemos juntos y por ser una parte esencial en mi vida, Gracias Arely por ser tan madura siempre y ayudarme incondicionalmente en todo.

A mi sobrina

Marlene Amaro

Que ha llenado de alegría mi vida, con su enorme chispa de carisma y por hacer de mi una persona más sensible y cariñosa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Por permitirme la vida y por dejarme culminar una etapa importante en mi vida, por todas las bendiciones que me has dado y por nunca dejarme.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por la formación profesional que me dio durante cinco maravillosos años, me llevo en mi corazón todos los buenos recuerdos.

Al Dr. Jorge Méndez González

Por guiarme, comprenderme, aconsejarme y alentarme durante toda mi carrera y durante su asesoría en mi trabajo, mi más sincero agradecimiento por darme la oportunidad de trabajar con usted.

Al M.C. Julián Cerano Paredes

Por su apoyo durante este trabajo, por sus enseñanzas, por su paciencia y por haberme iniciado en el campo de la dendrocronología.

A su apreciable esposa Rosalinda Cervantes, por ser tan servicial y aconsejarme siempre y a los adorables gemelitos Julián y Rafael, que siempre tenían una sonrisa y alegraban todos mis días cuando estuve lejos de casa.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo

Por sus grandes enseñanzas durante toda mi carrera, por ser un gran apoyo para mi durante mi estancia en la universidad y por darme la oportunidad de haber trabajado junto a usted.

Al equipo del Laboratorio de dendrocronología (INIFAP CENID – RASPA)

Al Dr. José Villanueva Díaz, por permitirme trabajar con su equipo, por su hospitalidad y sus enseñanzas. A Rosy, por ser tan paciente conmigo durante toda mi capacitación. A Vice por entenderme siempre, alentarme y alegrarme. A Omar, por todas esas risas y esas buenas compañías durante el trabajo, Al Sr. Luis y Sr. Montes, por ayudarme durante mi trabajo y por esas buenas charlas.

Por la compañía, risas, paseos y largas charlas gracias: Gerardo Esquivel, Daniel Carmona, Vicenta Constante y Omar Durán. Los recordaré por siempre.

A mis amigos de la Universidad

Juan Antonio, Víctor, Tomás, Angélica, Sandy, Cristina, Magda y Mónica

Todos los recuerdos junto a ustedes son incomparables, las locuras, las peleas, los apoyos incondicionales, son muestra de un verdadero amigo y le doy gracias a la vida por haberlos conocido. Por siempre estarán en mi corazón.

A mis amigos de toda la vida Karina, Elda, Lizeth y Sergio

Gracias por su incondicionalidad, por estar siempre para mí y ser parte en mi vida durante tantos años.

A mis inigualables maestros de danza

Juan Manuel Molina Aguirre y Hugo Mercado.

Mis infinitas gracias, por haberme educado durante cinco grandiosos años instruyéndome, alentándome y mostrándome, y desarrollando en mi, aptitudes en el hermoso arte de la danza.

A Javier Lucio del Toro

Amor, le doy gracias a la vida el que te haya puesto en mi camino, por haber estado en esta etapa de mi carrera junto a mí, por los ánimos, por las risas y por todo lo bueno que me has dado durante este tiempo.

RESUMEN

En el sureste de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, se desarrolló la primera reconstrucción de precipitación estacional de anillo total para *Pinus douglasiana* con un total de 219 años (1792 - 2010), con el objetivo de analizar la variabilidad hidroclimática histórica de la región y su relación con el Índice Multivariado del ENSO (MEI). Se ha encontrado una alta sensibilidad de la especie ($r = 0.4740$; $p < 0.0004$), en la reconstrucción de precipitación invierno - primavera (enero - marzo) con un buen ajuste del modelo de regresión ($r = 0.7226$; $p < 0.0006$), definiéndose que los patrones de sequías severas ocurrieron durante los períodos de 1773 a 1778; 1806 a 1814; 1819 a 1832; 1872 a 1877; 1879 a 1896; 1921 a 1929; 1950 a 1979, reportadas también en archivos históricos del país, donde se mencionaron hambrunas, epidemias, entre otros. El análisis ENSO – índice ancho del anillo de *Pinus douglasiana*, indicó una correlación significativa ($r = 0.4542$; $p < 0.05$) desde enero - junio, siendo los meses de enero y marzo los más altamente correlacionados indicando que el crecimiento de la especie está determinando parcialmente por las fases del ENSO (cálida / fría (Niño / Niña), registrándose regímenes de lluvia más altos durante la fase cálida (Niño) y menores en la fase negativa (Niña).

Palabras clave : Reconstrucción, dendrocronología, *Pinus douglasiana*, seco/húmedo, México.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DESCRIPCIÓN DEL SITIO.....	3
3. MÉTODOS.....	5
3.1 Trabajo de campo y de laboratorio.....	5
3.2 Desarrollo de la cronología y reconstrucción de precipitación	7
3.3 Relación de MEI y cronología de <i>Pinus douglasiana</i>	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4.1 Fechado entre series	12
4.2 Análisis de precipitación reconstruida.....	13
4.3 Análisis de relación de los índices de ancho de anillo y MEI	27

5. CONCLUSIONES	31
6. BIBLIOGRAFÍA	32

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización geográfica del área de estudio “Cerro Alto las Yeguas” en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México.	3
Figura 2. Localización geográfica de estaciones climatológicas utilizadas para determinar la asociación entre la cronología de <i>Pinus douglasiana</i> y la precipitación.....	9
Figura 3. Coeficiente de correlación entre el índice del ancho del anillo de <i>Pinus douglasiana</i> y precipitación (1961 - 1996) (A), relación entre la cronología de anillo total de <i>Pinus douglasiana</i> y precipitación de enero - mayo (B) y cronología de índice del ancho del anillo con precipitación en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México (C).....	14
Figura 4. Relación entre precipitación observada y reconstruida (A) y valores residuales, entre la precipitación observada y reconstruida en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (B).....	17
Figura 5. Histograma de índice del ancho del anillo de <i>Pinus douglasiana</i> (A) e histograma de precipitación reconstruida, en dos periodos diferentes (B) en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán Jalisco México.....	18
Figura 6. Reconstrucción de precipitación invierno – primavera (enero - mayo), en base a <i>Pinus douglasiana</i> , la línea gruesa representa una curva suavizada a 10 años que permite resaltar los eventos de baja frecuencia (A) y magnificación de eventos de precipitación (húmedos y secos), utilizando una estandarización acumulativa (B).....	26

Figura 7. Relación entre el índice de ancho de anillo de *Pinus douglasiana* y el MEI, en los meses de enero y marzo (A y B) e histograma de precipitación en relación a la fase cálida / fría de los meses del fenómeno del ENSO (C y D)..... 30

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estadísticos de correlación para la cronología de <i>Pinus douglasiana</i> , desarrollada en la RBSM, Jalisco, México.	13
Tabla 2. Estadísticos del modelo de regresión para la reconstrucción de precipitación enero - mayo, en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.	15
Tabla 3. Análisis de la varianza del modelo de regresión generado para reconstrucción de precipitación (enero - mayo) en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.	15
Tabla 4. Calibración y verificación del modelo de regresión.	16
Tabla 5. Períodos secos (cortos y largos) de precipitación reconstruida (enero - mayo) en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.	20
Tabla 6. Períodos húmedos acumulativos registrados durante los 219 años de precipitación reconstruida en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.	22
Tabla 7. Períodos húmedos y duración de precipitación reconstruida (1973 - 2010) para la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.	24
Tabla 8. Períodos secos y duración, de precipitación (1793 - 2010), para la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.	25
Tabla 9. Datos de correlación - regresión para comparación de índices de ancho de anillo de <i>Pinus douglasiana</i> y MEI para los meses de enero - junio.	28

1. INTRODUCCIÓN

La dendrocronología emplea los anillos anuales de coníferas para estudiar los eventos del clima en el pasado (Fritts, 1971). Esta disciplina es cada vez más utilizada para desarrollar historia de las variaciones climáticas (Fritts, 1976), pues el entendimiento de la variabilidad del clima hoy en día es uno de los temas más relevantes de las ciencias ambientales (Cerano *et al.*, 2009), permitiendo determinar su variabilidad espacial, temporal, tendencias y posible comportamiento en el futuro (Villanueva *et al.*, 2008). Para modelar la disponibilidad del agua, es necesario tener un conocimiento previo del comportamiento histórico del clima, así como cuantificar la influencia de patrones circulatorios que lo afectan (Villanueva *et al.*, 2009; Arreola y Navar, 2010). En México, la información climática, es reducida (70 años), lo que limita cualquier intento por conocer el comportamiento climático en un intervalo más prolongado (Cerano *et al.*, 2011). El interés principal de generar una cronología climática se centra en desarrollar un mayor número de “proxys” (fuente indirecta que permite reconstruir eventos climáticos pasados) dendrocronológicos (Villanueva y Cerano, 2004), pues se ha demostrado la necesidad de disponer de información más extensa en el tiempo que permita observar la intensidad y la frecuencia con que se han presentado históricamente eventos climáticos extremos.

La Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (RBSM), constituye el área natural protegida más importante del Occidente de México, debido a su gran extensión (139,500 ha), albergando alta riqueza de especies, destacando bosques tropicales secos y subhúmedos, encinares y pinares, dando un gran valor para la conservación; adicionalmente, sus bosques juegan un papel importante como fuente de recursos hídricos y forestales, pues sus cuencas abastecen de agua a los valles agrícolas y centros urbanos adyacentes, que albergan una población de más

de 400,000 habitantes (INE, 2000). El presente estudio tiene como objetivos (1) desarrollar la primera cronología de *Pinus douglasiana* (2) reconstruir la variabilidad climática histórica para la RBSM y (3) conocer la influencia del fenómeno del ENSO (El Niño Oscilación del Sur), sobre la precipitación empleando el MEI (Índice multivariado del ENSO).

Este estudio es el comienzo de aportaciones de información dendroclimática que ayudarán a comprender la variabilidad histórica de clima a nivel regional, determinando su posible impacto en los ecosistemas. La hipótesis planteada en este trabajo fue, los anillos de crecimiento de *Pinus douglasiana* son un “proxy” que permiten analizar la variabilidad hidroclimática regional a través del tiempo.

2. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

El área de estudio se localiza en el “Cerro Alto las Yeguas” dentro de la RBSM a 2160 msnm en el municipio de Autlán de Navarro a $19^{\circ} 37'$ de latitud norte y $104^{\circ} 14'$ de longitud oeste (INEGI, 2003) (Figura 1).

El área presenta geoformas convexas, pendientes moderadas (10 - 25 %), afloramientos de toba andesítica del Mioceno, suelos lixiviados, relativamente ácidos y de baja fertilidad, horizonte B argílico y suelo tipo Regosol (RGe) (INE, 2000).

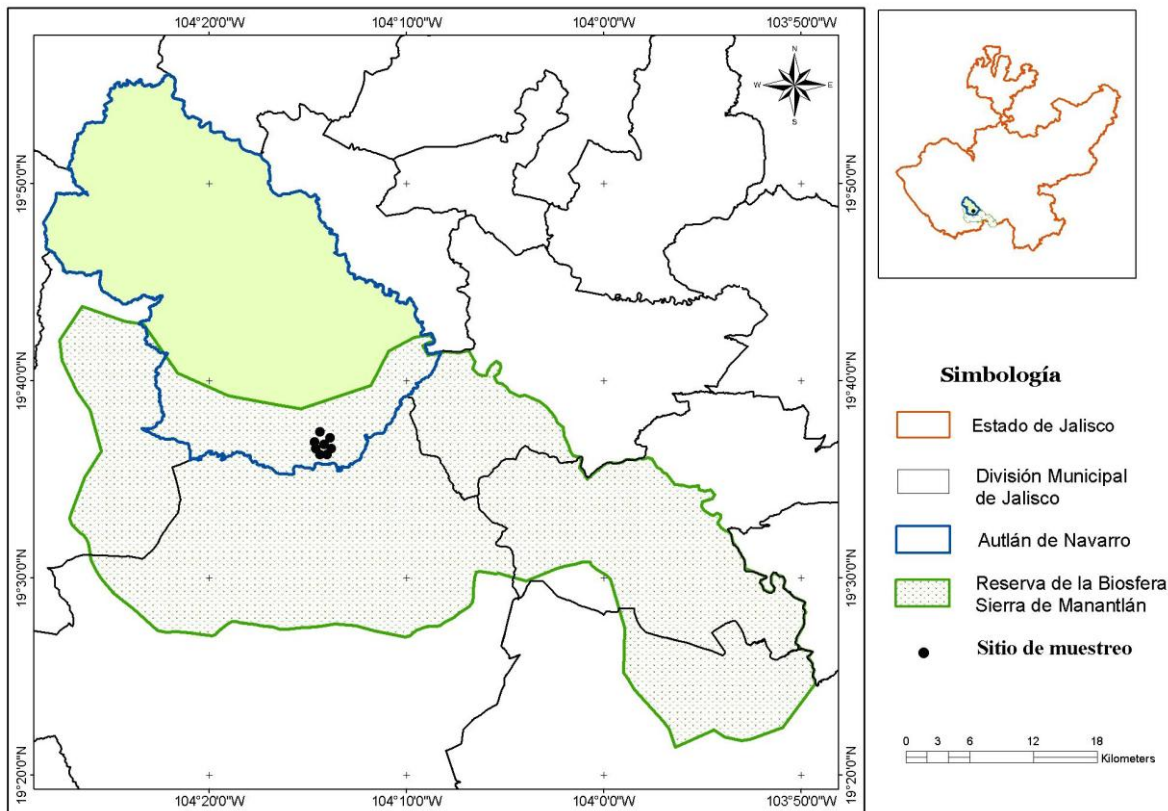


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio “Cerro Alto las Yeguas” en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México.

El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano (Cw2), precipitación anual de 739 mm, los meses que presentan mayor precipitación son: julio (139 mm); agosto (110 mm) y septiembre (170 mm) (INEGI, 2003). La temperatura media anual es de 22.5° C; ocurriendo las más altas en el mes de mayo (25.2° C), julio (26.4° C) y agosto (25.4° C), y los meses más fríos en diciembre (19° C) y enero (19.4° C) (INEGI, 2003).

En el área de estudio se distribuye un bosque de Pino - Encino dominado por *Pinus douglasiana*, *P. oocarpa*, *P. herrerae*, *P. maximinoi*, *P. pseudostrobus*, *Quercus resinosa*, *Q. ellipatica*, *Q. magnolifolia*, *Q. obtusta*, *Q. castanea* y *Q. rugosa* (Vazquez *et al.*, 1995), la distribución de *Pinus douglasiana* abarca los estados de Jalisco, Michoacán, México, Morelos, Nayarit, Sinaloa y Durango, extendiéndose a Guerrero y Oaxaca, en elevaciones de 1400 - 2500 msnm (Farjon y Styles, 1997; Earle, 1997).

3. MÉTODOS

3.1 Trabajo de campo y de laboratorio

En la RBSM, localizaron árboles “sensibles”, distribuidos en suelos pobres, donde su crecimiento dependiera exclusivamente del agua de lluvia almacenada en el perfil del suelo y que no tuviera aportaciones en formas de escurrimientos de otros sitios aledaños; que presentaran el menor daño antropogénico, sin ataque de plagas y enfermedades ni daños físicos (cortes de ramas o heridas producidas por animales al consumir tejidos vasculares) (Villanueva *et al.*, 2004), de tal manera que factores ajenos al clima (“ruido”) tuvieran menor influencia en el crecimiento anual de *Pinus douglasiana* y, lograr captar una mayor señal climática (Fritts, 1976; Villanueva *et al.*, 2009).

La colecta de muestras fue de octubre a noviembre del 2011, con un total de 41 árboles. Las muestras se extrajeron con taladro de Pressler, obteniendo de 2 a 3 virutas o núcleos por árbol, identificando adecuadamente las muestras de cada árbol (Villanueva *et al.*, 2009).

La extracción de los núcleos fue a 1.30 m de altura del árbol, buscando la parte más sana y sólida, perpendicular a la pendiente (Villanueva *et al.*, 2009). Los núcleos fueron almacenados en popotes de plástico, sellados con cinta adhesiva o envueltos en papel periódico con su información respectiva o característica sobresaliente del terreno o daño del árbol (Constante, 2007), que sirvieron para interpretar mejor los análisis de fechado de las virutas.

Las virutas se pegaron con resistol blanco 850 sobre molduras de madera y se ajustaron con cinta adhesiva. Las traqueidas se orientaron de manera perpendicular al incremento anual para una mejor apreciación de los crecimientos anuales (Villanueva *et al.*, 2009), por el contrario, un mal montado de la viruta, ocasionaría que en una buena muestra tomada en campo no se

distinguieran los anillos de crecimiento o que no observaran adecuadamente los límites entre una banda de crecimiento y otra. Posteriormente, se procedió a realizar el lijado para resaltar las estructuras del crecimiento y la identificación de la formación de los anillos. La primera etapa del pulido se hizo de forma mecánica, usando lijas secuenciales en granos de 120 hasta 1200. Para el caso de secciones transversales, por su irregularidad, primero se trabajó con cepillo eléctrico y posteriormente se lijaron siguiendo el mismo procedimiento que para las virutas (Cerano, 2004).

El conteo de anillos se realizó marcando la primera década (un punto), periodos de cincuenta años (dos puntos) y periodos de cien años (tres puntos) (Stokes y Smiley, 1968). Los anillos que mostraban reducción en anchura y solamente parte de la banda de crecimiento, se marcaron como “microanillos” diferenciándolos con dos puntos paralelos, dos puntos alternos para señalar un “anillo perdido” y una línea diagonal para señalar un anillo falso (Villanueva y Cerano, 2004).

Para la medición de los anillos se utilizó un estereoscopio trilocular de alta resolución (10 x); un sistema de medición VELMEX con platina de fase deslizante y de precisión (0.001 mm), conectado a una computadora con el software de medición denominado Measure PJK5 para mac (Robinson y Evans, 1980).

La medición, se realizó deslizando la platina y observando el anillo a través del estereoscopio, colocado la retícula graduada (línea guía) al inicio de la madera temprana y desplazándose hasta al final del límite del anillo, haciendo movimientos secuenciales con la manivela y presionando el botón “print” del micrómetro para guardar el dato obtenido (Cerano, 2004). El

ancho de anillo se registró de manera automática para cada muestra quedando guardada en el software de la computadora.

El programa COFECHA es un software de control de calidad y fechado, siendo uno de los más importantes para el desarrollo de series dendrocronológicas, forma parte del grupo de programas de la librería conocida como Dendrochronology Program Library (DPL, por sus siglas en inglés) (Holmes, 1983). La calidad del fechado se analizó al correlacionar períodos de 50 años con sobreposición de períodos de 25 años entre las series (Holmes, 1983; Grissino - Mayer, 2001).

La técnica del fechado cruzado o cofechado, es utilizada para determinar el año exacto de formación de cada anillo de crecimiento, consiste en la identificación de patrones comunes de la variación interanual de los anillos de crecimiento, que se repiten de una muestra a otra, de tal forma, que a cada anillo de crecimiento, se le asignó una fecha exacta de formación (Villanueva *et al.*, 2009 y Cerano *et al.*, 2009).

Para muestras que presentaron dificultad en su fechado se desarrolló una representación gráfica del crecimiento anual (Skeleton plot) para detectar la ausencia de anillos y/o la presencia de falsos anillos (Arreola *et al.*, 2010).

3.2 Desarrollo de la cronología y reconstrucción de precipitación

Para la generación de cronologías se empleó el programa ARSTAN, que realiza una estandarización de las series individuales de cada árbol, quitando la varianza debida a factores biológicos, como edad, productividad entre sitios, etc., insertando a los valores de medición de cada serie de ancho de anillo una curva exponencial negativa, horizontal o spline, de acuerdo a los crecimientos de cada muestra, las cuales tratan de reproducir las tendencias biológicas del

crecimiento (Cook y Holmes, 1984). Para la reconstrucción de precipitación se empleó la cronología residual, ya que su proceso de generación se elimina la autocorrelación (Fritts, 1976; Cook, 1987).

Los registros de precipitación para el análisis dendroclimático fueron extraídos del programa ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica) (IMTA, 2000). Las estaciones que mejor correlacionaron con el índice del ancho de anillo (IAA) fueron: Alcihuatl, Ayotitlan, Corrinchis y Manántlan (Figura 2). Se desarrollo una combinación entre las cuatro estaciones obteniendo la precipitación regional.

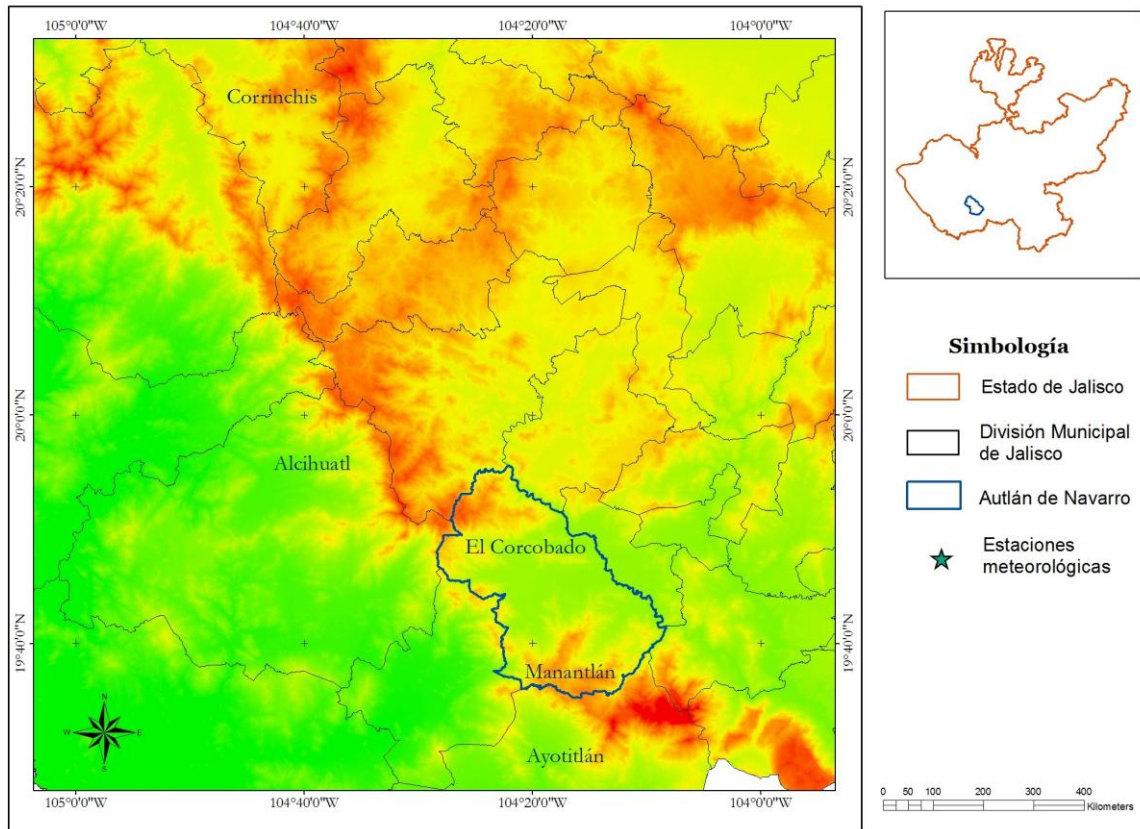


Figura 2. Localización geográfica de estaciones climatológicas utilizadas para determinar la asociación entre la cronología de *Pinus douglasiana* y la precipitación.

Se realizó un análisis de correlación simple (Pearson 95 %), entre el índice de ancho de anillo (cronología residual) y cada uno de los meses de la precipitación regional, se determinó el período de precipitación que mejor correlacionó con el índice de crecimiento para generar un modelo de regresión estadísticamente significativo que permitiera reconstruir la variabilidad de la precipitación en la longitud total de la cronología (Fritts, 1976).

Para la validación estadística del modelo se desarrollaron dos procesos: uno de calibración, realizado a la mitad de los datos climáticos disponibles y otro de verificación, a la mitad restante (Fritts, 1991; Villanueva, 2009).

A la serie de precipitación reconstruida de alta frecuencia (resolución anual) se le ajustó una curva decenal flexible (baja frecuencia) para resaltar los periodos secos ó húmedos presentes en la reconstrucción (Cook y Peters, 1981; Cerano, 2004). Los períodos (secos/húmedos) detectados se validaron con documentos históricos y con estudios dendrocronológicos procedentes de la región norte de México.

Con el fin de magnificar los periodos secos y húmedos de la precipitación resonstruida, se realizó una estandarización acumulativa de precipitación, la cual esta dada por:

$$Z = \sum_{Z_i=1}^{Z_n} Z_i + Z_{i+1} \therefore Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \therefore S = \sqrt{\frac{(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde :

Z = Precipitación estandarizada acumulativa positiva o negativa

X_i = Valor de precipitación en un año (mm)

\bar{X} = Media de la precipitación del período en mm (1792 - 2010)

S = Desviación estándar del período en mm (1792 - 2010)

N = Número de datos

3.3 Relación de MEI y cronología de *Pinus douglasiana*

En este estudio se analizó la relación que existe entre el índice de ancho de anillo de *Pinus douglasiana*, con el MEI (Índice Multivariado del ENSO), mediante análisis de correlación lineal (95 %), lo anterior, con el objeto de determinar la influencia de eventos oceánicos atmosféricos (Niño / Niña) y su relación al crecimiento de las especies del área de estudio, y por ende en la presencia / ausencia de eventos de precipitación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fechado entre series

Con un total de 46 virutas de 24 árboles, se desarrolló una cronología de anillo total de 219 años (1793 - 2010), obteniendo una correlación de $r = 0.4740$ ($p < 0.05$); el programa COFECHA indica como correlación mínima aceptable $r = 0.238$ ($p < 0.05$); por lo tanto la serie muestra una aceptable respuesta climática (Holmes, 1983; Constante *et al.*, 2010). El programa ARSTAN indicó un valor señal - ruido de 9.1880 (Tabla 1).

Los valores resultantes en este estudio son considerados como aceptables para fines de reconstrucción climática (Fritts, 1976). Estudios dendrocronológicos, en la Sierra de las Alazanas en Arteaga y Parque Nacional Cumbres de Monterrey, se encontró una correlación entre series con *Pseudotsuga menziesii* en el estado de Chihuahua, se obtuvo una correlación entre series de $r = 0.70$; $p < 0.05$ (Pohl *et al.*, 2003); también con *Pseudotsuga menziesii* en el estado de Chihuahua, se obtuvo una correlación entre series de $r = 0.61$ ($p < 0.05$) (Cerano *et al.*, 2009); en *Pinus cembroides* var. *lagunae*, en Baja California Sur, se logró una correlación de $r = 0.41$ ($p < 0.05$) (Díaz *et al.*, 2001), mientras que en el estado de Coahuila en la sierra de Zapalinamé se encontró una correlación entre series de *Pinus cembroides* de $r = 0.74$ ($p < 0.05$) (Constante *et al.*, 2009).

Tabla 1. Estadísticos de correlación para la cronología de *Pinus douglasiana*, desarrollada en la RBSM, Jalisco, México.

Parámetros	<i>Pinus douglasiana</i>
Correlación entre series	0.4740
Sensibilidad media	0.2324
Desviación estándar	0.2351
Autocorrelación de primer orden	0.1332
Valor señal - ruido	9.1880

4.2 Análisis de precipitación reconstruida

La precipitación (enero - mayo) mostro la más alta correlación positiva con los índices de ancho de anillo para el período de 1961 - 1996 (Figura 3A). De esta manera el período de precipitación estacional al que corresponde el crecimiento de *Pinus douglasiana* en esta región es invierno - primavera (enero - mayo), lo anterior se atribuye a que la lluvia que cae en la temporada con mas alta precipitación, es torrencial y el agua en gran parte solamente se escurre en lugar de infiltrarse (García, 1978). Por el contrario en el periodo de lluvia enero – mayo aunque la precipitación es menos, es significativa, debido a que las temperaturas más bajas reducen la evaporación y la precipitación no es torrencial, lo que permite que el suelo se sature (Díaz *et al.*, 2001).

Al asociar los datos disponibles de precipitación (1961 - 1996) y los índices de ancho de anillo de *Pinus douglasiana* para el período en común, se encontró una correlación significativa entre las dos variables de ($r = 0.7226$; $p < 0.0006$) (Figura 3B y 3C) (Tablas 2 y 3).

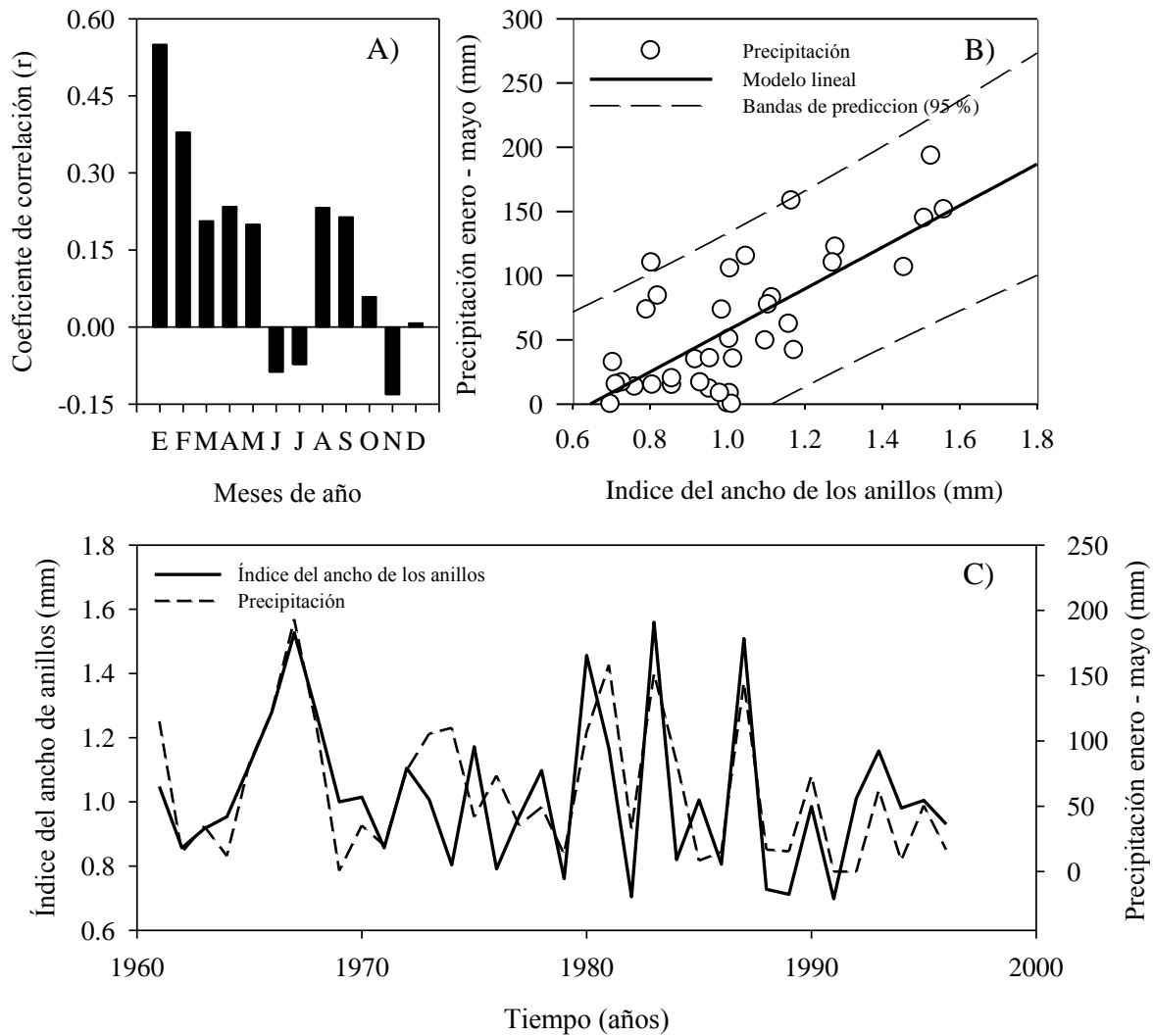


Figura 3. Coeficiente de correlación entre el índice del ancho del anillo de *Pinus douglasiana* y precipitación (1961 - 1996) (A), relación entre la cronología de anillo total de *Pinus douglasiana* y precipitación de enero - mayo (B) y cronología de índice del ancho del anillo con precipitación en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México (C).

Tabla 2. Estadísticos del modelo de regresión para la reconstrucción de precipitación enero - mayo, en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.

Período	r^2	r	Coefficiente	Error estandar	Probabilidad	Prueba de "t"
1961 -	0.5080	0.7226	a	161.7881(26.5445)	6.4863	6.0949
1996			b	-104.3682(27.7945)	0.0006	-3.7549

Tabla 3. Análisis de la varianza del modelo de regresión generado para reconstrucción de precipitación (enero - mayo) en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	50102.2576	50102.2576	37.1485	0.0006
Residuos	34	45855.8554	1348.7016		
Total	35	95958.1130			

El proceso de calibración del modelo generado para reconstrucción de precipitación se desarrollo en el subperíodo 1961 - 1978 y se verificó en el subperíodo 1978 - 1996, los resultados muestran que la cronología de *Pinus douglasiana* es significativa ($p < 0.05$) para las pruebas estadísticas, lo que corrobora que el modelo de regresión obtenido es estadísticamente válido (Tabla 4).

Tabla 4. Calibración y verificación del modelo de regresión.

Período	Correlación Pearson (r)	Reducción del error	Valor de (t)	Prueba de signos	Primera diferencia significativa
1961 - 1996	0.7226*	0.5221*	2.53*	7*	9*

* = Significativos $p < 0.05$

El modelo de regresión obtenido para el periodo total de datos 1961 - 1996 fue considerado estadísticamente válido para reconstruir la variabilidad de la precipitación en el período total de la cronología (1793 - 2010) (Tabla 4):

$$Y_t = 161.7881 - 104.3682 * X_t$$

Donde:

Y_t = Valor reconstruido de precipitación de un año en particular (mm)

X_t = Índice de ancho de anillo (valor anual de la cronología de *Pinus douglasiana*)

Los resultados demuestran que el modelo generado estima adecuadamente la precipitación (enero – mayo) para la RBSM, utilizando la cronología de *Pinus douglasiana* (Figura 4A). Resultados similares al presente estudio han sido reportados por Cerano (2007) y Constante, (2009). Los valores residuales máximos de precipitación reconstruida no son precisamente los eventos de máxima precipitación pues solamente indican hasta que valor llegan los valores residuales máximos (positivos o negativos), puesto que menor sea el valor residual, estará mejor estimada la precipitación reconstruida (Figura 4B).

Los valores negativos: 1962 – 1964, 1969 – 1971, 1975, 1977 – 1979, 1987, 1985 – 1986, 1988 – 1989, 1991 – 1992 y 1994 – 1996 son indicadores de que el modelo predijo más precipitación (en esos años) que los datos de precipitación registrada en la estación

climatológica. Los valores de precipitación mejor estimados se observan de 1969 a 1980, pues la diferencia entre la precipitación observada y reconstruida son mínimos y no sobrepasan los 50 mm.

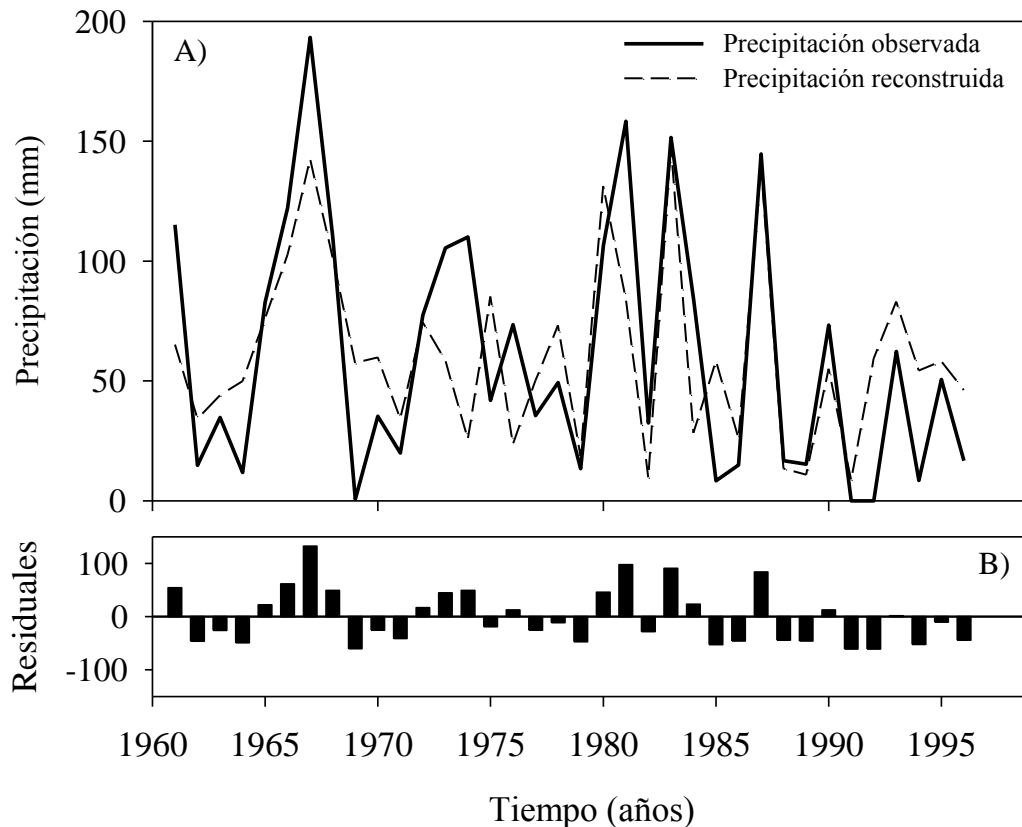


Figura 4. Relación entre precipitación observada y reconstruida (A) y valores residuales, entre la precipitación observada y reconstruida en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (B).

El 27 % de los datos de índice de ancho de anillo se encuentran en un rango de 0.8 a 0.9, indicando un mayor crecimiento de *Pinus douglasiana*, reflejando los años más húmedos para la region (Figura 5 A), así mismo los extreos de la curva indican que el 16 % de los datos de índice de ancho de anillo, representan los años más secos.

Los resultados indican que en el presente siglo se presentan lluvias más torrenciales, puesto que, se tiene hasta un 30 % de las lluvias con mas de 60 mm de precipitación, a comparación del primer siglo, donde la presencia de lluvias era mas homogenea (Figura 5 B). Sin embargo la precipitación promedio de enero - mayo, permanece constante durante los 219 años.

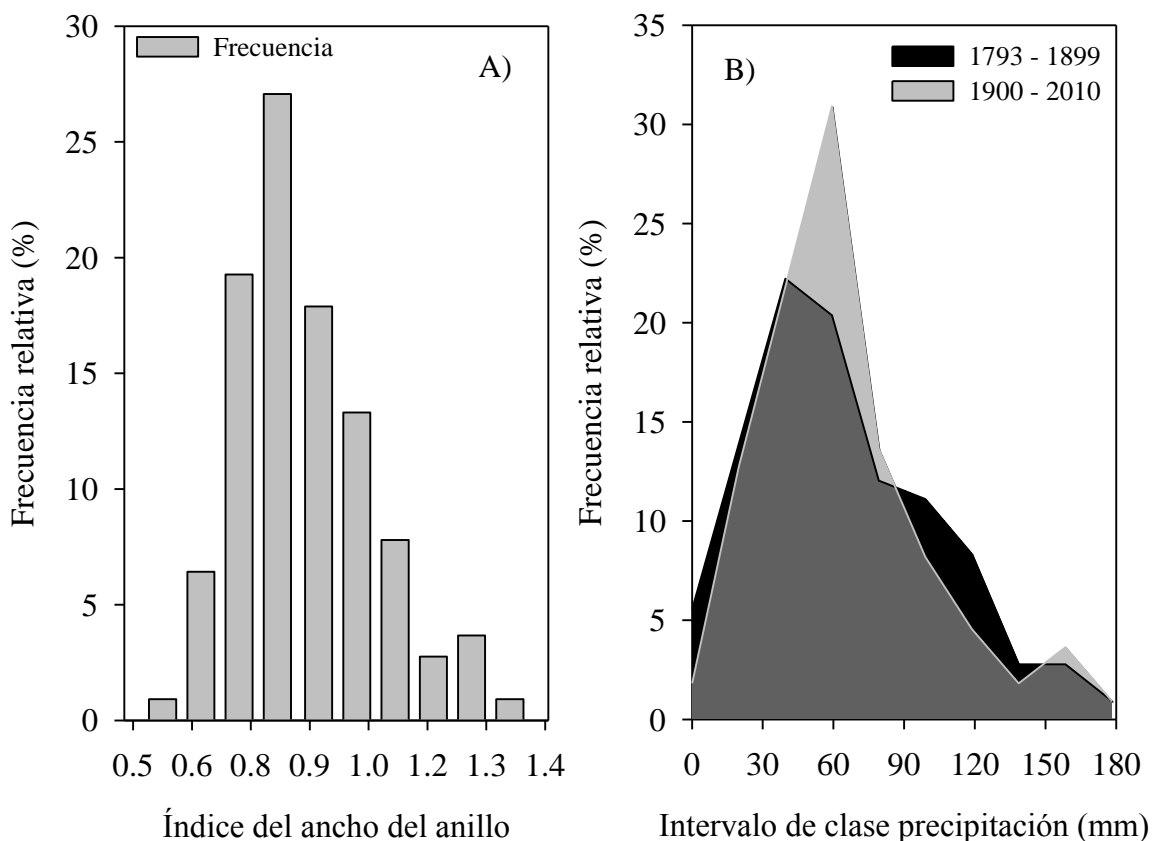


Figura 5. Histograma de índice del ancho del anillo de Pinus douglasiana (A) e histograma de precipitación reconstruida, en dos periodos diferentes (B) en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán Jalisco México.

Con el fin de clasificar los periodos secos y húmedos (intensos y no intensos) se estableció un límite, usando la desviación estándar de precipitación acumulativa aquellos años que sean menores a 5 desviación estándar (DE) y eventos intensos a valores mayores a 5 DE para eventos húmedos y viceversa menores a -5 DE y mayores a -5 DE para eventos secos.

Los resultados indican que se presentaron un total de tres periodos intensos húmedos y 13 periodos no intensos. Para el caso de los periodos acumulativos secos se presentaron tres eventos intensos y 14 periodos secos no intensos.

Estudios dendrocronológicos realizados en la region de Saltillo, Coahuila, indican que se ha presentado una de las sequías más severas se registró durante los años de 1789 a 1810 (Cerano, 2004), corroborando el mismo evento, el cual fue registrado en RBSM como una fuerte sequía acumulativa que abarcó los años de 1793 a 1815 (Tabla 5), mismo que ha sido corroborado por archivos históricos, este periodo es considerado con escases permanente de alimentos en el país (Florescano, 1980; Garcia, 1993; Cerano, 2004).

García (1993) indica que también se registraron sequías en el centro norte del país en los años 1793, 1794 -1795 y para el norte del país en 1798, para la RBSM, se reconstruyo una sequía no intensa en el mismo periodo de 1799 a 1801 (Tabla 5).

Las sequias en los años 1809 -1812, 1859, 1864, 1869, 1875, 1891, 1893 y 1958 ocasionarán crisis agrícolas en todo el territorio nacional (Constante *et al*, 2009, Florescano, 1980). En el presente trabajo unicamente se registraron eventos secos en los años de 1806 – 1813 y 1958 puesto que los años excluidos se reportan como eventos húmedos no intensos, lo anterior demuestra que los anillos de crecimiento de *Pinus douglasiana* presentan un alto potencial

para analizar eventos hidroclimáticos en una region en la cual no se disponga de información documentada.

Para la RBSM, García (2003) menciona la escazes de cosechas en el año de 1794 en Autlán y Ameca, Jalisco, donde se presentó la plaga del chahuistle “el subdelegado de Autlán informa que la variedad que se observa de las estaciones temporales del año ha causado la pérdida de las siembras de trigo en aquella jurisdicción a causa del repetido chahuistle que les ha caído y se considera que la cosecha se redujó a una tercera parte del total” (AGI indiferente general Audiencia de México).

Tabla 5. Períodos secos (cortos y largos) de precipitación reconstruida (enero - mayo) en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.

Evento/intensidad	Intenso	No intenso
	1801 - 1803	1793 - 1800
	1806 - 1813	1804 - 1805
	1957 - 1956	1814 - 1815
		1819 - 1832
		1872 - 1877
		1879 - 1896
		1903 - 1904
		1921 - 1929
Seco		

1934

1950 - 1956

1966 - 1979

1982

1991 - 1992

2000 - 2010

En relación con el período de 1800 a 1820, se hace mención a 10 sequías, destacando como las más importantes las de 1808, 1809 y de 1810 a 1811, épocas en las cuales el virreinato se vio afectado, ya que disminuyeron las aportaciones de los diezmos por la baja producción agrícola lo cual fue documentado en los diarios de la iglesia católica (Florescano y Espinoza, 1987; Contreras, 2005).

Para el año de 1877 se presentó una sequía afectando a la mayor parte de México hasta el año de 1878 y de 1891 a 1892 se reportó una sequía para todo el territorio mexicano (Contreras, 2005). Para la RBSM los años de 1891 y 1892 no se consideran como sequías extremas, pues en este periodo (Figura 6) solamente se observa disminución en los valores de precipitación, pues estos años aparecen como eventos húmedos no intensos (Tabla 6).

El estado de Jalisco presenta menos sequías (documentadas) desde el año 1820 (Contreras, 2005), mientras que para el norte del país en el Cerro El Potosí, Nuevo León; de 1889 a 1902 se registró una sequía severa (Arreola y Navar, 2010) y en la RBSM registran períodos

húmedos durante 1897 - 1902 (Tabla 6), evidenciando las variaciones opuestas del clima para el centro y norte de México.

Para el estado de Jalisco se han registrado sequías intensas durante los años 1969, 1972, 1973, 1976 y 1982 (Conde *et al.*, 1991), extendiéndose a el centro de México ocasionando desempleo, pérdida de cosechas y mortalidad infantil, por la fuerte onda de calor; tendencias similares se registran en la precipitación reconstruida en los mismos años para la RBSM.

Tabla 6. Períodos húmedos acumulativos registrados durante los 219 años de precipitación reconstruida en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.

Evento/Intensidad	Húmedo	Húmedo Intenso
	1844 - 1849	1816 - 1818
	1851	1833 - 1843
	1853 - 1858	1850
		1852
Húmedo		1859 - 1871
		1878
		1897 - 1902
		1905 - 1920
		1930 - 1933

1935 - 1949

1980 - 1981

1983 -1990

1993 - 1999

Los resultados de este estudio demuestran que la presencia de sequías, es cada vez más frecuente, posiblemente a consecuencia de las variaciones climáticas que se señalan en los reportes de investigación (IPCC, 2007) (Figura 6).

Se encontró que la frecuencia de los eventos húmedos a partir de 1900 se vuelven más cortos pero más intensos y los eventos secos, se vuelven más frecuentes y a mayor intensidad (Figura 6), los resultados de este estudio demuestran que la precipitación (enero - mayo) en la RBSM, en los 219 años (1792 - 2010) permanece en el mismo régimen (60 mm promedio) al ajustarse una línea recta, indicando que no aumenta ni disminuye ($p < 0.9983$) (Figura 6).

Así mismo se observa que los registros interanuales de precipitación han sido modificados de 1900 hacia atrás pues el período más lluvioso se registra de 1833 a 1871 con una duración de 48 años, disminuyendo considerablemente a partir de 1950, se determinó que los períodos de eventos húmedos prolongados se presentan cada 40 años (1833 - 1871, 1905 - 1920 y 1935 - 1949) (Figura 6) (Tabla 7), disminuyendo considerable a partir de 1950. La presencia de sequías se hace notable durante períodos prolongados con un promedio de 16 años de

duración, destacando los períodos más importantes (1793 - 1815, 1819 - 1832, 1879 - 1896, 1921 - 1929, 1950 - 1979 y 2000 - 2010) (Figura 6) (Tabla 8).

Tabla 7. Períodos húmedos y duración de precipitación reconstruida (1793 - 2010) para la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.

Evento	Período	Años
Húmedo	1816 - 1818	2
	1833 - 1871	48
	1878	1
	1897 - 1902	5
	1905 - 1920	15
	1930 - 1933	3
	1935 - 1949	14
	1980 - 1981	1
	1983 - 1990	7
1993 - 1999	6	

Tabla 8. Períodos secos y duración, de precipitación (1793 - 2010), para la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.

Evento	Período	Años
	1793 - 1815	22
	1819 - 1832	13
	1872 - 1877	5
	1879 - 1896	17
	1903 - 1904	1
Seco	1921 - 1929	7
	1934	1
	1950 - 1979	29
	1982	1
	1991 - 1992	2
	2000 - 2009	9

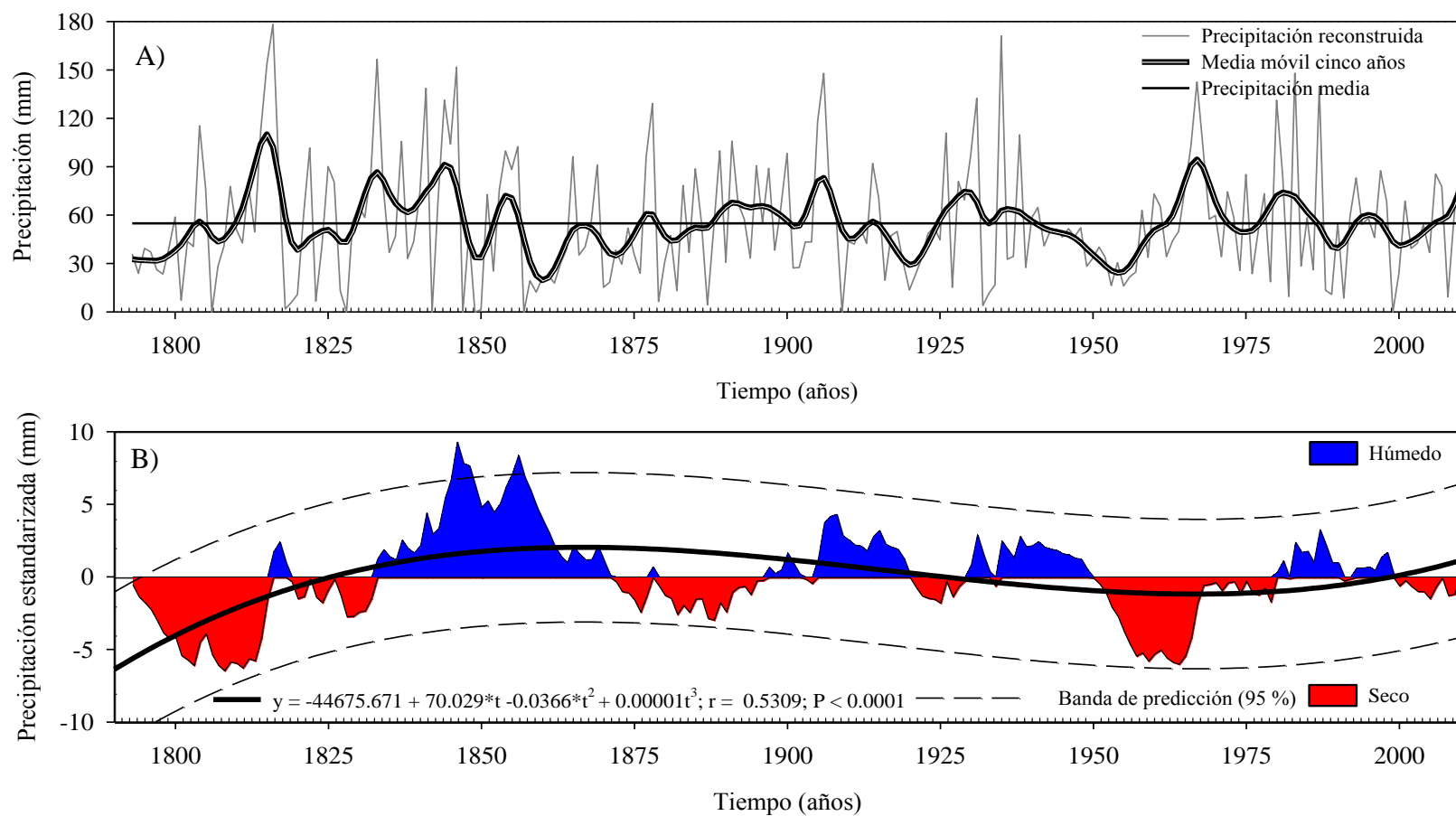


Figura 6. Reconstrucción de precipitación invierno – primavera (enero - mayo), en base a *Pinus douglasiana*, la línea gruesa representa una curva suavizada a 10 años que permite resaltar los eventos de baja frecuencia (A) y magnificación de eventos de precipitación (húmedos y secos), utilizando una estandarización acumulativa (B).

4.3 Análisis de relación de los índices de ancho de anillo y MEI

Al comparar los índices de ancho de anillo de *Pinus douglasiana* con el índice multivariado del ENSO (MEI), se observó una respuesta estadísticamente significativa ($r = 0.4542$; $p < 0.05$) durante los meses de enero - junio (Tabla 9) indicando que los valores (positivos / negativos) del MEI de los primeros meses del año se correlacionaron positivamente con el crecimiento de *Pinus douglasiana*.

Se considera al ENSO como la fuente más importante de la variación climática interanual (Sthale y Claveland, 1999; Díaz *et al.*, 2001), la gran variación en el efecto del niño en la precipitación anual, se debe principalmente al efecto aleatorio de los patrones de incidencia de los ciclones tropicales en la parte central de la costa del pacífico (García *et al.*, 1991).

El análisis estadístico de correlación entre el índice de ancho de anillo y el MEI indica que los meses más significativos estadísticamente fueron enero – junio, donde los meses de enero y marzo son los que presentaron correlación más alta ($r = 0.4337$; $p < 0.0001$) (enero) (Tabla 9) y ($r = 0.4310$; $p < 0.0001$) (marzo) (Tabla 9).

Tabla 9. Datos de correlación - regresión para comparación de índices de ancho de anillo de *Pinus douglasiana* y MEI para los meses de enero - junio.

Período	r ²	r	Coefficientes	Error estandar	Probabilidad	Prueba de "t"
Enero - Marzo	0.1929	0.4542	a 11.2267	2.8661	0.0004	3.9169
			b - 10.7365	2.8793	0.0002	- 3.7288
Enero	0.1881	0.4337	a 0.0920	0.2488	0.0004	3.6975
			b 0.9798	0.2447	0.0001	39.6675
Febrero	0.1760	0.4195	a 0.0870		0.0008	3.5505
			b 0.9810	0.0245	0.0001	39.4353
				0.0249		
Marzo	0.1857	0.4309	a 0.0904	0.0246	0.0005	3.6684
			b 0.9813	0.0247	0.0001	39.6835
Abril	0.1813	0.4258	a 0.0944	0.0261	0.0006	3.6156
			b 0.9788	0.0248	0.0001	39.4481
Mayo	0.1503	0.3877	a 0.0944	0.0261	0.0006	0.0261
			b 0.9788	0.0248	0.0001	0.0248
Junio	0.1152	0.3395	a 0.0770	0.0277	0.0074	2.7728
			b 0.9744	0.0259	0.0001	37.5761

El análisis realizado entre el MEI y el índice de ancho de anillo de *Pinus douglasiana* indica que durante el mes de enero el año de 1983 y 1998 corresponden a una fase cálida (El Niño) mientras que los años más característicos de la fase fría (la Niña) son 1974 y 1956 al tener el menor valor de MEI y el menor valor en el índice de ancho de anillo (Figura 7A), durante el mes de marzo los años más representativos de la fase cálida (El Niño) son 1987, 1998 y 1992, correspondiendo a la fase fría (La Niña) los años de 1971, 1974 y 2008 (Figura 7B).

La precipitación en la RBSM para los meses de enero y marzo están parcialmente influenciados por las fases del ENSO, cálida / fría (Niño / Niña), lo anterior se demuestra por regímenes de lluvia más altos durante la fase cálida (Niño) y menores en la fase negativa (Niña) (Figura 7A, 7B, 7C y 7D).

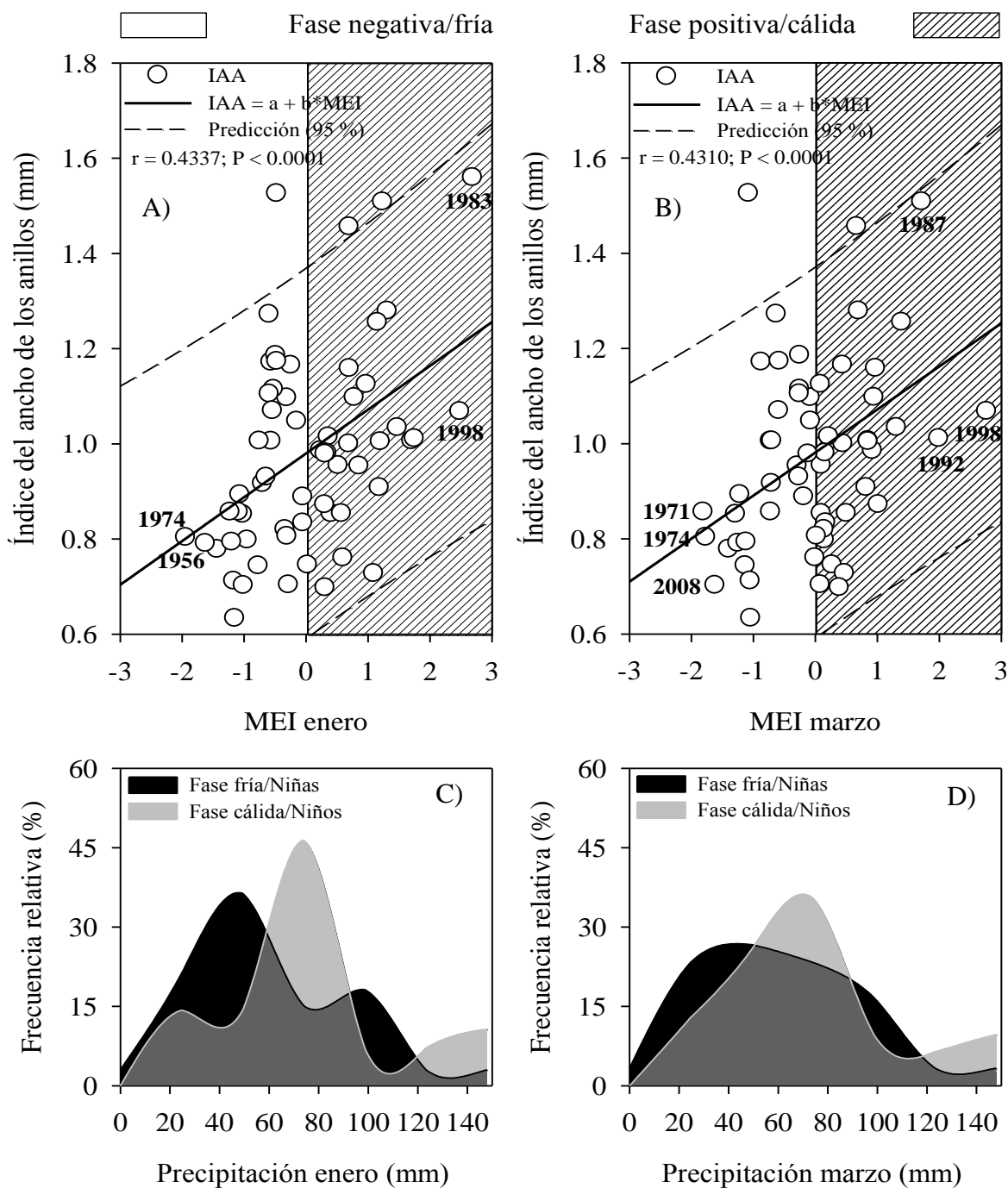


Figura 7. Relación entre el índice de ancho de anillo de *Pinus douglasiana* y el MEI, en los meses de enero y marzo (A y B) e histograma de precipitación en relación a la fase cálida / fría de los meses del fenómeno del ENSO (C y D).

5. CONCLUSIONES

La cronología de anillo total de *Pinus douglasiana* demostró un excelente potencial dendroclimático ($r = 0.4740$ y $p < 0.0004$) proporcionando estimaciones confiables de la variabilidad de precipitación en la RBSM, la cual tiene una correspondencia directa con las fases (positiva / negativa) del fenómeno del ENSO, registrándose eventos muy fuertes y frecuentes durante eventos del Niño y viceversa.

Los resultados indican que los períodos húmedos en la RBSM, están disminuyendo tanto en intensidad como en duración, así mismo, eventos secos intensos y prolongados se registran aproximadamente cada 75 años; estos patrones son similares a los registrados en el norte de México.

La reconstrucción de precipitación enero - marzo durante más de dos siglos no ha variado sus regímenes anuales. No obstante se registra la presencia de sequías intensas y prolongadas. Los principales períodos secos acumulativos en la RBSM fueron de 1773 - 1778, 1806 - 1814, 1819 - 1832, 1872 - 1877, 1879 - 1896, 1921 - 1929 y 1950 - 1979, similares a estudios del norte del país (excepto el año de 1998).

Al comparar el índice de ancho de anillo de *Pinus douglasiana* con el índice multivariado del ENSO (MEI), durante el período de 1950 - 2010, se encontró que la frecuencia de estos fenómenos han sido variables pero muy marcados, mostrando eventos de alta intensidad (Niños / Niñas), los cuales tienen una alta influencia en el crecimiento de *Pinus douglasiana* de la RBSM.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arreola O, M. A. Návar C. J. J. 2010. Análisis de sequía y productividad con cronologías de *Pseudotsuga menziesii* Rob. y Fern. y su asociación con El Niño en el nordeste de México. Investigaciones geográficas, vol. 71: 7-20.
- Bollschweiler M., Stoffel, M., Vázquez-, L. y Palacios D. 2010. Tree-ring reconstruction of past lahar activity at Popocatepetl volcano, México. The Holocene. Vol. 2, 265-274.
- Cerano P. J. Villanueva D. J., Arreola. A. J., Sánchez C. J. G., Valdéz C. I. y García H. G. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. Madera y Bosques. 15 (2): 27 – 35.
- Cerano P. J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno - primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Departamento forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 152 p.
- Cerano P. J. 2007. Variabilidad climática, regímenes de incendios e influencia de patrones circulatorios para el suroeste de Chihuahua. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México. 118 p.
- Cerano P. J., Villanueva. D. J., Valdéz C. R. D., Méndez G. J y Constante G. V. 2011. Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Publicación especial núm. 2. p. 235-249.
- Conde C. Ferrer, R. M. y Araujo, R. 1991. Capitulo 4. El Niño y la agricultura. El Niño y el sector agrícola. pp. 103-136.

- Constante G. V., Villanueva D. J., Cerano P. J. y Estrada A. 2010. Parámetros dendrocronológicos para definir el potencial dendrocronológico. CENID-RASPA-INIFAP. Folleto técnico. 40 p.
- Constante G. V., Villanueva D. J., Cerano P. J., Cornejo, O. E. H., y Valencia M. S. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Ciencia Forestal*, 34: 17-39.
- Constante G. V. 2007. Reconstrucción de la precipitación invierno – primavera para los últimos cuatro siglos en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. Tesis de licenciatura. Departamento forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 72 p.
- Contreras S. C. 2005. Las sequías en México durante el siglo XIX. *Investigaciones Geográficas*. 056: 118 - 133p.
- Cook E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47: 37- 59.
- Cook E. R. y Peters K. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies: *Tree- Ring Bulletin* 41: 45 – 53.
- Cook E. R. y R. L. Holmes. 1984. Program ARSTAN and users manual. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona, Tucson, AZ.
- Diaz S. C., Touchan, R., y Swetnam, T. W. 2001. A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Climatology*. 21(8): 1007 – 1019.

- Earle J. 1997. Gymnosperm database. Bonn: Rheinische Friedrich – Wilhelms/ Universitat.
<http://www.conifers.org/>.
- Farjon A. y B.T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotropica Monograph 75. New York, NY: The New York Botanical Garden.
<http://www.conifers.org/topics/mextrees.htm>.
- Florescano E. M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D. F. México. 158 p.
- Florescano E. y Espinosa L. 1987. Fuentes para el estudio de la agricultura colonial en la diócesis de Michoacán, INAH, México.
- Florescano E. y L. Espinosa. 1987. Fuentes para el estudio de la agricultura colonial en la diócesis de Michoacán, INAH, México.
- Fritts H. C. 1971. Dendroclimatology and dendroecology. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721 USA. pp. 419 - 449.
- Fritts H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, Inc. New York, NY. USA. 565 p.
- Fritts H. C. 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. University of Arizona Press. Tucson. 286 pp.
- García A. V. 1993. Desastres y Sociedad. México Decimonónico. Revista semestral de la red de estudios sociales en prevención de Desastres en América latina. Vol. 1. 19p.
- García A. V., Pérez Z. J. M., Molina del V. 2003. Desastres agrícolas en México. Catálogo histórico. Tomo I. Épocas prehispánica y colonial. (958 - 1822). CIESAS. 506 p.

- García O. F., E. Ezcurra y Galicia L. 1991. Pattern of rainfall distribution in the central pacific coast of México. *Geografica annaler* 73A: 179 – 186.
- Grissino - Mayer, H. D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205 - 221.
- Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69 - 78.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 1996. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/estclimgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2000. Programa de Manejo Forestal de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. 202 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2003. Marco Geoestadístico. Información geográfica de Autlán de Navarro, Jalisco. Documento de Excel. 18p.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007. The Scientific Basis, Third Assessment Report*, WMO, UNEP, Roma, Italia.
- Pohl, K., M. D. Therrell, J. S. Blay, N. Ayotte, J. J. Cabrera, S. C. Díaz, E. H. Cornejo, J. A. Elvir, M. E. González, D. Opland, J. Park, G. Pederson S. S. Bernal, L. S. Vázquez, J. Villanueva-Díaz and D. W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. *Tree-ring Research*. 59(1): 11 - 19.
- Robinson W. J. y Evans, R. 1980. A microcomputer- based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin*. 40: 59 - 64.

- Stahle D. W. y M. K. Cleaveland. 1993. Southern Oscillation extremes reconstructed from tree-rings of the Sierra Madre Occidental and Southern Great Plains. *Climate*. 6: 129 - 140.
- Stokes M. A. y T. L. Smiley. 1968. *Introduction to Tree-Ring Dating*, University of Chicago Press, Chicago. 73 pp.
- Vázquez G. J. A., Cuevas G. R., Cochrane S. T., Iltis H. H., Santana M. F. J. y Guzmán H. L. 1995. Flora de Manantlán. Universidad de Guadalajara - IMECBIO / University of Wisconsin - Madison. *Sida, Botanical Miscellany*. Pág. 56 – 228.
- Villanueva D. J., Cerano P. J. y Estrada Á. J. 2008. Reconstrucción de Precipitación Estacional de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco En Sierra la Madera, Cuatrociénegas, Coahuila. *Ciencia Forestal*, 33 Núm. 10, 17- 213.
- Villanueva D. J., Fulé P. Z. Paredes J. C. Estrada J. y Sánchez, I . 2009. Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Ciencia Forestal*. 34 (105): 37 - 69.
- Villanueva D. J. y Cerano P. J. 2004. Elementos básicos de la dendrocronología. INIFAP. Folleto técnico No. 2. 23 p.

