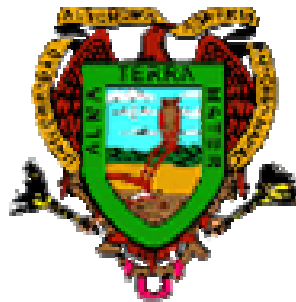


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera para los últimos
cuatro siglos en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.**

POR:

VICENTA CONSTANTE GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera para los últimos
cuatro siglos en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.**

POR:

VICENTA CONSTANTE GARCÍA

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA

**DR. Eladio H. Cornejo Oviedo
Asesor principal**

**M. C. Arnoldo Oyervides García
Coordinador de la División de Agronomía**

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera para los últimos
cuatro siglo en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.**

Por:

VICENTA CONSTANTE GARCIA

TESIS

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como
requisito parcial para obtener el título de:**

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por:

**DR. Eladio H. Cornejo Oviedo
Asesor principal**

**DR. José Villanueva Díaz
Asesor**

**M.C. Salvador Valencia Manzo
Asesor**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2007

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	v
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problemática del área.....	1
1.2 Importancia de los estudios dendrocronológicos.....	2
1.3 La Dendrocronología y dendroclimatología.....	3
1.4 Utilización de los anillos de árboles para estudios dendrocronológicos.....	4
1.5 Importancia de <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....	5
2 OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	7
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1 Localización y descripción del área de estudio.....	8
3.2 Trabajo de campo.....	11
3.2.1 Diseño de muestreo.....	11
3.2.2 Selección del arbolado.....	12
3.2.3 Medición de altura y diámetro.....	12
3.2.4 Extracción de núcleos de crecimiento.....	12
3.2.5 Registro de datos.....	13
3.3 Trabajo de laboratorio.....	13
3.3.1 Montaje de muestras.....	14
3.3.2 Lijado y conteo.....	14

3.3.3 Prefechado.....	15
3.3.4 Medición de las muestras.....	15
3.4 Utilización y función de los programas de cómputo.....	15
3.4.1 Análisis del fechado con el programa COFECHA.....	16
3.4.2 Estandarización de la cronología de anillos a través del programa ARSTAN.....	16
3.4.3 Evaluación de la cronología.....	19
3.4.4 Obtención de datos climáticos por medio del programa ERICII.....	20
3.4.5 Relación entre el índice de ancho de anillo y la precipitación promedio mensual a través del programaPRECON.....	23
3.4.6 Calibración y prueba estadística por medio de la subrutina VERYFY.....	23
3.5 Verificación de los periodos secos con archivos históricos.....	24
3.5.1 Definición de los periodos secos de la reconstrucción....	25
3.5.2 Análisis de la precipitación reconstruida.....	26
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1 Análisis del potencial dendroclimático y determinación de la sensibilidad en el <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....	27
4.1.1 Potencial dendroclimática de acuerdo al programa COFECHA.....	27
4.1.2 Obtención de cronologías y determinación de la sensibilidad climática de acuerdo al programa ARSTAN.....	27
4. 2 Desarrollo de la reconstrucción de la precipitación.....	28
4.2.1 Determinación del periodo de crecimiento en la especie utilizada.....	28

4.2.2	Periodo total de crecimiento invierno-primavera y diagrama de dispersión.....	30
4. 2.3	Calibración y obtención del modelo climático.....	31
4.2.4	Validación estadística del modelo climático.....	33
4.2.5	Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.....	35
4.3	Análisis de la fluctuación de la precipitación reconstruida.....	36
4.3.1	Asociación entre la precipitación reconstruida y los índices precipitación para todo México.....	36
4.3.2	Asociación en subperíodos de veinte años entre la precipitación reconstruida y el ENSO.....	37
4.3.3	Tendencia de la precipitación media reconstruida en subperíodos de cincuenta años.....	38
4.3.4	Períodos secos reconstruidos.....	39
4.3.5	Periodos secos respaldados con reconstrucciones climáticas y archivos históricos.....	40
4.3.6	Crisis agrícolas y sequías generales que coinciden con los periodos reconstruidos.....	49
4.3.7	Sequías severas y crisis agrícolas en el país, no reportadas para Coahuila.....	50
5.	CONCLUSIONES.....	51
6	RECOMENDACIONES.....	52
7	BIBLIOGRAFÍA.....	54
8	APENDICES.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Número	Página
1. Estaciones meteorológicas consideradas para la realización del promedio de precipitación mensual regional.....	21
2. Correlación mensual entre el índice de ancho de anillo y las ocho estaciones seleccionadas para el período de registro de cada estación climática.....	22
3. Correlación (r) entre los índices de ancho de anillo y la precipitación total enero a julio en lustros.....	32
4. Pruebas estadísticas del proceso de calibración para el período de 1977 a 2000, generadas por la subrutina VERYFY.....	34
5. Relación de periodos secos reconstruidos con datos históricos y reconstrucciones climáticas.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Página
1. Ubicación del área de estudio y estaciones meteorológicas.....	9
2. Ubicación de rodales seleccionados dentro del Ejido Cuauhtémoc, Saltillo Coah.....	11
3. Correlación entre el índice de ancho de anillo de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. y el promedio de precipitación mensual en el periodo común 1941-2001 en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah.....	28
4. La precipitación promedio mensual anual regional, de las estaciones Huachichil, San Antonio de las Alazanas, El Tunal y Arteaga del municipio de Arteaga, Coah., Gómez Farías, San Juan de la Vaquería y Saltillo del municipio de Saltillo, Coah. y General Cepeda, Coah.....	29
5. Precipitación anual acumulada y su porcentaje para los periodos enero a julio y agosto a diciembre de 1941 a 2001.....	30
6. Diagrama de dispersión de la precipitación total enero a junio con el índice de ancho de anillo, para el periodo 1941-2004.....	31
7. Calibración para la reconstrucción de precipitación de invierno-primavera para el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah., utilizando la cronología estándar de anillo total y la precipitación total del período enero a julio, del año 1977 al 2000 y eliminando los dos años atípicos de 1978 y 1989.....	32
8. Relación entre datos de precipitación estacional observados y reconstruidos.....	34
9. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera (enero-julio) para el Área Natural Protegida “Sierra Zapalinamé” en el período 1595 a 2004.	35
10. Comparación entre el comportamiento de la precipitación reconstruida (invierno-primavera) y el índice de precipitación para todo México.....	36

11. Correlación en períodos de veinte años entre los la precipitación reconstruida y el índice de precipitación tropical, (estimativo de la variabilidad del ENSO) en el periodo de tiempo 1895 a 1996.....	37
12. Tendencia de la media de precipitación reconstruida en subperíodos de cincuenta años para el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah.....	39
13. Periodos secos reconstruidos de la precipitación invierno-primavera (enero-julio) para el “Ejido Cuauhtémoc”, Saltillo, Coah.....	40

DEDICATORIA

A mis padres:

Julia García Badillo

Manuel Constante Gloria

A mi hijo y razón de vivir:

Luís Gerardo Carbajal Constante

Al hermoso padre de mi hijo:

Luís Alberto Carbajal Martínez

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios Padre por darme la fortaleza en los momentos difíciles.

Un profundo agradecimiento a mi ALMA MATER por, por gestarme en su vientre.

Al apoyo dado para la realización de este trabajo, por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo. y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Agradezco infinitamente la paciencia de mis asesores en especial al Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo, así como al Dr. José Villanueva Díaz y M. C. Salvador Valencia Manzo.

A todos aquellos que de alguna manera, contribuyeron para el término de este paso en mi vida.

A mis amigos del alma, Librado Martínez Gallardo, Gabriela Garcia Ramos y Trinidad Muñoz,

A ti Azucena por haberte cruzado de nuevo en mi vida y mostrarme nuevos senderos, gracias amiga mía.

A mis amados doce hermanos, que dios nos mantenga unidos en las buenas y las malas.

RESUMEN

Los objetivos de este estudio fueron; reconstruir la precipitación invierno-primavera, determinar la sensibilidad climática de *Pinus cembroides* Zucc. y analizar las fluctuaciones de la reconstrucción. Se hizo un muestreo selectivo de muestras de núcleos de crecimiento de 400 árboles, de los cuales se eligieron 38 y se distribuyeron en cuatro rodales del Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah

Se utilizaron los procedimientos comunes de la dendrocronología, incluyendo los programas COFECHA y ARSTAN. El programa COFECHA indicó que *P. cembroides* tiene una aceptable sensibilidad climática para el sitio de estudio, dado que se obtuvo una correlación entre series 0.72.

De acuerdo con las correlaciones entre la precipitación promedio mensual regional estimada y la cronología estándar en el periodo de tiempo de 1941 al 2001, se determinó que el crecimiento del *Pinus cembroides* esta influenciado por la precipitación invierno-primavera (enero a julio).

La calibración o generación del modelo se llevo a cabo en el periodo de 1977 al 2000, permitiendo reconstruir el periodo total de la cronología (1595 a 2004). Las pruebas estadísticas indican que los anillos del *P. cembroides* reproducen adecuadamente la precipitación estacional regional invierno-primavera.

La precipitación reconstruida y el índice de lluvia tropical para todo México indicó una correlación de 0.52 ($p < 0.05$), en el periodo de 1941 a 1998. Por otra parte, al correlacionar en periodos de veinte años la precipitación reconstruida con el índice de precipitación tropical (estimativo de la variabilidad de ENSO) en el periodo de 1895 a 1996, se encontró una correlación que varía de -0.06 a 0.55. En este estudio el análisis de la precipitación media permitió observar la presencia de sequías en periodos de 50 a 60 años, como es el caso de las décadas secas de 1750 y 1760, 1850 y 1860 y 1950 y 1960.

Los periodos obtenidos en la reconstrucción se dividieron en periodos compuestos, periodos cortos intensos y largos intensos, mismos que fueron sustentados con archivos históricos y reconstrucciones climáticas documentadas.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática del área

El estado de Coahuila, es uno de los estado que mas expuesto esta a las sequías y presenta una gran variación en la precipitación (Florescano, 1980) actualmente ocupa el tercer lugar a nivel nacional como el estado más seco, con 318 mm de precipitación media anual, mínimo escurrimiento de aguas superficiales y baja recarga natural, lo cual obliga a explotar aguas subterráneas; situación que repercute en la sobreexplotación de los acuíferos a causa de un incremento en su demanda derivado del crecimiento demográfico, industrial y agrícola (Reyes, 2005).

Una de las fuentes más importantes de agua para la ciudad de Saltillo, Coah., la constituye la “Sierra de Zapaliname”, donde se ubican 24 pozos de los que se extraen 940 l s^{-1} , lo que equivale a $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ anuales aunque esta cantidad representa sólo el 30 % de lo que en si captaría una superficie igual a la del área natural protegida (26, 0000 ha) con 350 mm de precipitación anual, es posible que la extracción exceda la capacidad de recarga, que se también alterada por cambios en el uso del suelo, que a su vez impacta el ciclo hidrológico (SDS-Coahuila, 1998).

Los manantiales de esta área han sido de gran relevancia histórica desde principios de la fundación de La Villa de Saltillo en 1577. Sin embargo en los últimos 30 años, el crecimiento poblacional e industrial en la ciudad de

Saltillo se ha incrementado significativamente, con efecto también en la demanda de agua. Los cambios de uso del suelo en la “Sierra de Zapaliname” han alterado la flora, fauna y paisaje al desestabilizar los procesos hidrológicos, de tal manera que en esta zona se declaró una “veda” de extracción de agua a partir de 1970, lo que trajo consigo efectos negativos en la actividad agrícola y más tarde el 15 de octubre de 1996 el área es declarada como zona sujeta a conservación ecológica (SDS-Coahuila, 1998). En dicha zona se encuentra ubicado el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah., sitio donde se realizó el presente estudio.

1.2 Importancia de los estudios dendrocronológicos

Los anillos de árboles constituyen una de las fuentes aproximadas más importantes para determinar la variabilidad interanual y multianual hidroclimática en el período Holoceno (Meko *et al.*, 1996). El conocer la variabilidad histórica del clima y su impacto en los recursos hídricos, para la región de Saltillo es fundamental, ya que de esta manera se puede determinar la presencia de períodos secos, húmedos, su ciclicidad en el tiempo y posible respuesta futura; información relevante para fines de planeación de los recursos hídricos y definición de escenarios climáticos futuros, algunos de los cuales se encuentran presentes en reconstrucciones de variables climática con anillos de árboles (Cerano, 2004).

Por otra parte, los datos climáticos instrumentales son de períodos recientes y cortos y en algunos casos de dudosa calidad que inhiben un

análisis real de la variabilidad climática en el tiempo, por lo que, el uso de anillos de árboles para la reconstrucción de variables hidroclimáticas justifica plenamente estudios de este tipo, y que a la vez proporcionan información ecológica adicional para el manejo de ecosistemas (Fritts, 1976).

1.3 La Dendrocronología y dendroclimatología

La disciplina encargada de usar los anillos de los árboles para fechar eventos pasados es conocida como dendrocronología y una rama de esta es la dendroclimatología, la cual se encarga de la reconstrucción de eventos climáticos del pasado. Mediante la dendrocronología se desarrollan series de tiempo de anillos de árboles que se fechan, promedian y estandarizan adecuadamente, éstas son llamadas cronologías de anillos de árboles (Fritts, 1976).

Las cronologías de anillos de árboles dan a conocer las complejas condiciones climáticas ambientales a las que fue expuesto el árbol. Aunque estas condiciones también incluyen efectos no climáticos, tales como disturbios por cambios de uso del suelo, incendios y ataque de insectos (Cook, 1987). Una mejor respuesta climática se puede obtener de árboles que han sido sujetos a mínimo disturbio y ubicados en sitios donde la humedad del suelo es el factor que limita su crecimiento (Fritts, 1976)

Una de las bondades de las series de tiempo dendrocronológicas es la exactitud en el fechado de las capas de crecimiento anual; la

disponibilidad de árboles sensibles al clima y la preservación de la alta y baja frecuencia de la variación en las series de crecimiento (Meko *et al.*, 1996).

1.4 Utilización de los anillos de árboles para estudios dendrocronológicos

Los anillos de crecimiento anual permiten el desarrollo de cronologías centenarias, que al comparar las series de tiempo anual con la información climática para un periodo común, permiten generar una relación estadística que puede ser usada para reconstruir períodos pasados donde no se tienen registros climáticos instrumentales (Fritts, 1976).

Para la región, Pohl *et al* (2003) en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coah., desarrolló una cronología de 219 años en base a la madera temprana de la especie (*Pseudotsuga menziesii*), la cronología tuvo un excelente fechado y una alta correlación entre series; por lo que se realizó una regresión bivariante entre los datos de precipitación observada obtenida de la estación meteorológica Saltillo, Coah., y la cronología estándar de madera temprana con el fin de obtener un modelo de reconstrucción climática, una vez obtenido se reconstruyó la precipitación invierno-primavera para la capital del estado de Coahuila. Dicha reconstrucción registró una de las peores sequías de mitad de siglo XIX (1857 a 1880); por otra parte la reconstrucción se correlacionó con un estimativo de la variabilidad del fenómeno El Niño, observándose una influencia del diez por ciento en precipitación estacional reconstruida.

De igual manera, en la Sierra de Arteaga, Coah., se utilizó la especie *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, para obtener cronologías de anillo de árboles de las cuales se generaron índices promedio de la anchura de la madera temprana de los parajes La Viga, El Coahuilón, y Los Pilares, por ser las cronologías más extensas. La generación de un modelo obtenido a partir de la cronología estándar y los datos de precipitación observada para la estación climática de Saltillo, Coah., permitió reconstruir la precipitación invierno-primavera para la misma ciudad, en el período de tiempo 1695 al 2001. La reconstrucción tuvo una correlación significativa con la precipitación total del país y se observó poca influencia de variabilidad del fenómeno El Niño, los periodos secos obtenidos se verificaron y respaldaron de acuerdo a archivos históricos (Cerano, 2004).

1.5 Importancia de *Pinus cembroides* Zucc.

El *Pinus cembroides* Zucc. es un pino piñonero, que tiene amplia distribución en México, la especie se localiza entre los 19° 10' y los 33° 44' de latitud Norte y entre los 97° 30' a 111° 20' de longitud Oeste (Eguiluz, 1977). La especie se distribuye en casi todo el norte y centro de México, en elevaciones de 1500 a 3000 m y en su área de distribución, la precipitación media anual oscila de 350 a 700 mm (Rzedowski, 1978).

Los bosques de esta especie que se distribuyen al sur de la Altiplanicie Central, constituyen relictos de bosques más amplios

actualmente reducidos y marginados por la acción humana. Estos relictos constituyen indicadores, tanto de la movilidad de grupos humanos como de las oscilaciones de la cubierta forestal. En general, el *Pinus cembroides* tiene poca importancia maderera, pero proporciona el 90 % de cosecha de piñones en la República Mexicana (Robert, 1977).

En el área de Zapalinamé, el piñón se recolecta para autoconsumo y venta; el precio del piñón para el año de 1999 se comercializó entre \$40.0 a 60.0 kg⁻¹ en Saltillo, Coah. El precio de la semilla sin cáscara alcanza hasta \$400.0 en época de colecta y de \$500.0 a 550.0 en época navideña. El uso del *Pinus cembroides* no solo se limita al consumo de su fruto (semillas), también sus ramas se utilizan como follaje para el ganado; el tallo en la construcción de vivienda y estas dos últimas también como combustible (SEMARNAT, 1999). Para la zona de estudio, los campesinos utilizan el bosque de piñonero para pastorear el ganado, colecta de leña, extracción de tierra de monte, tala de arbolado para construcción y venta; recreación y comercialización de piñones en temporada de cosecha, así como para la producción de agua en la subcuenca, que integra el mismo ejido (Cruz, 1984; Portes, 1996).

El *Pinus cembroides* es de gran interés por el potencial de adaptabilidad que tiene, pues se localiza en ecosistemas semiáridos de la planicie central y en bosques templados de las áreas montañosas, características que hacen de esta especie un candidato perfecto para la

reforestación de zonas secas y erosionadas de México (Madrigal, 1977; Robert, 1977).

En las regiones áridas con escasa disponibilidad de agua, la cantidad de humedad del suelo puede limitar el crecimiento de los brotes y dar origen a la formación de un anillo anual de crecimiento (Morey, 1977), característica que le confiere potencial para estudios dendrocronológicos.

2 OBJETIVOS E HIPOTESIS

Analizar el potencial dendrocronológico de *Pinus cembroides* en el Área Natural Protegida “Sierra Zapalinamé” y determinar su sensibilidad climática.

Desarrollar una reconstrucción de precipitación estacional de *Pinus cembroides* para los últimos 400 años.

Analizar las fluctuaciones hidroclimáticas y su frecuencia en el tiempo.

Las hipótesis propuestas son:

Ho: El *Pinus cembroides* no tiene potencial dendroclimático.

Ha: El *Pinus cembroides* es altamente sensible a cambios en precipitación y tiene adecuado potencial dendroclimático.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y descripción del área de estudio

El área de estudio se ubica en la zona templada de la subprovincia ecológica Gran Sierra Plegada, y ésta a su vez, forma parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental. El área se localiza al sureste de Coahuila dentro de la Sierra de Zapalinamé en el Ejido Cuauhtémoc y comprende una superficie de 7,209 ha, que se ubican entre las coordenadas $101^{\circ} 03' 23''$ y $100^{\circ} 54' 49''$ de longitud Oeste y $24^{\circ} 18' 56''$ a $25^{\circ} 15' 16''$ de latitud Norte, a una elevación de 2,300 m en la parte baja y en la parte alta del ejido hasta los 2800 (INEGI, 1983; INEGI, 2000) (Figura 1).

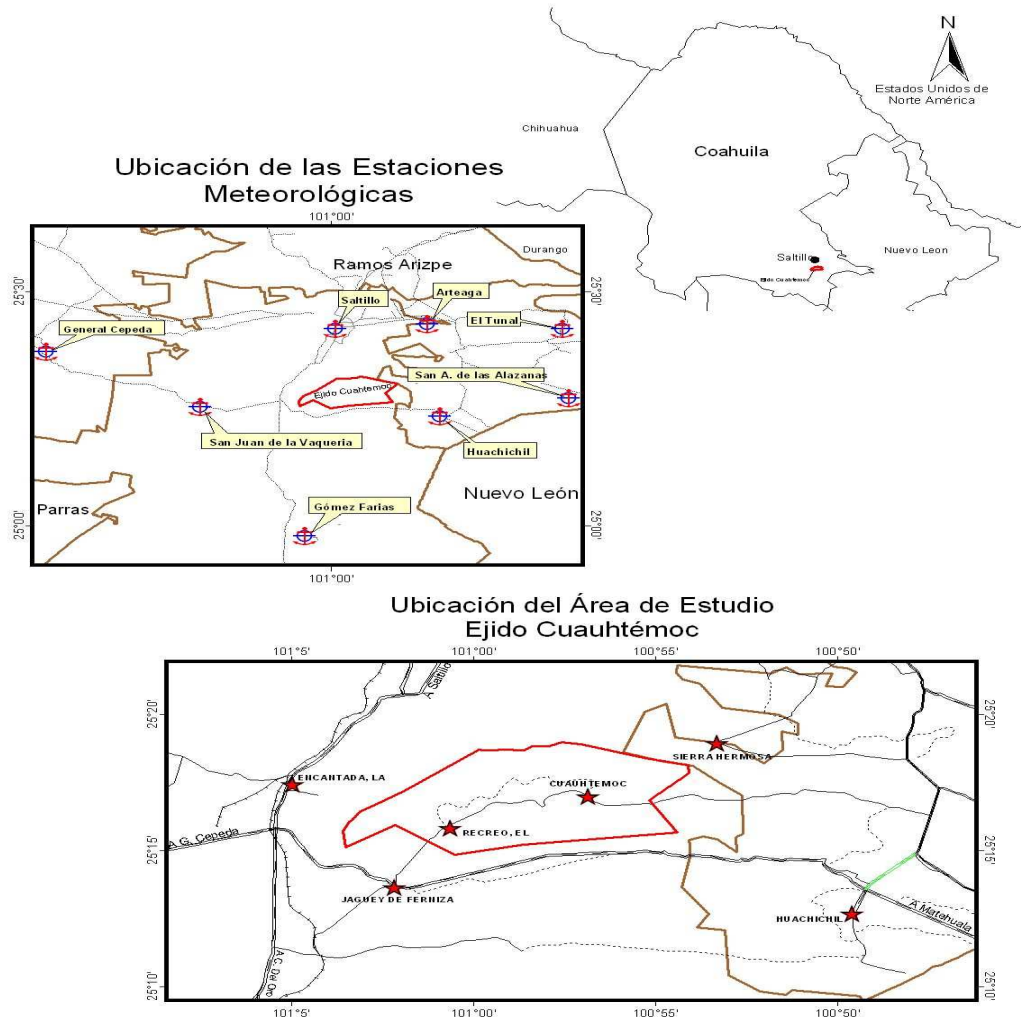


Figura 1. Ubicación del área de estudio y estaciones meteorológicas.

La “Sierra de Zapaliname” pertenece a un área intensamente plegada y fracturada con topografía accidentada; las rocas que afloran en el lugar son generalmente sedimentarias marinas de la edad del Jurásico y el Cretácico. Los suelos en la parte del valle son de origen aluvial; en la exposición sur se distribuye la clase castañozem cálcico, con acumulaciones de caliche suelto; en valles, laderas bajas, pie de montes y faldas de

serranías se encuentran las clases feozem calcáreo y rendzina. En las cumbres de los cerros dominan los litosoles (INEGI, 1983).

El área de estudio se ubica en la región hidrológica Bravo-Conchos No. 24, en la cuenca Río Bravo - San Juan (B); el Ejido se ubica en la subcuenca Cuauhtémoc (INEGI, 1983).

En el área de estudio se distribuye un bosque de piñonero, dominado principalmente por *Pinus cembroides*; en exposiciones sur y sureste se encuentra matorral rosetófilo y por encima de 2,600 m domina un matorral de encino arbustivo y matorral de manzanita, que en ocasiones se asocia con *Pinus cembroides*. En laderas bajas o valles se encuentra el zacatal con leñosas arbustivas (INEGI, 1983; Marroquín y Arce, 1985).

El clima se clasifica como BSokw”(e) con una temperatura media anual de 5 a 12° C; la temperatura del mes más frío fluctúa de -3°C a 18°C y la del mes más caliente es mayor a 18° C, con un régimen de lluvias de verano; aunque también pueden presentarse lluvias invernales. El promedio de precipitación para la región sureste es de 550 mm (INEGI, 1983).

3.2 Trabajo de campo

3.2.1 Diseño de muestreo

En la obtención de las muestras para la realización del estudio, se seleccionaron cuatro rodales, La Herradura, Las Minas, La Mesa y El Oso (Figura 2).

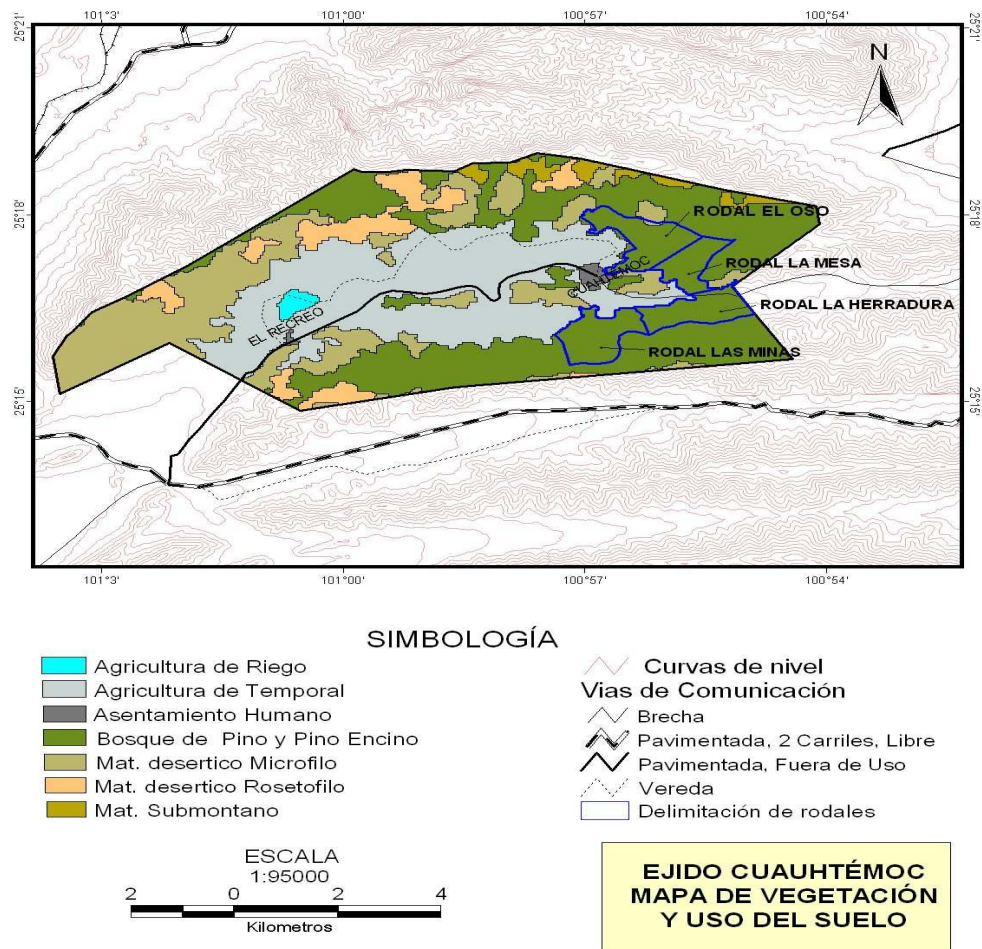


Figura 2. Ubicación de rodales seleccionados dentro del Ejido Cuahtémoc, Saltillo, Coah.

El muestreo se realizó de septiembre a octubre de 2004. En todos los rodales se muestreó a una altitud entre 2,200 a 2,500 m, en pendientes de 5 a 35 %. Se utilizó un muestreo sistemático selectivo, que consistió en seleccionar árboles con criterios dendrocronológicos.

3.2.2 Selección del arbolado

Los árboles seleccionados se eligieron con base en los siguientes criterios: árboles longevos, con ramas gruesas con apariencia seca; corteza delgada de color gris en ocasiones retorcida; algunas veces diámetros grandes; copa alta, de pocas hojas y en ocasiones muerta (Villanueva *et al.*, 2006). Asimismo, se consideró el muestreo de árboles jóvenes, especialmente para verificar anillos de crecimiento en los últimos años (anillos recientes).

3.2.3 Medición de altura y diámetro

A cada árbol seleccionado se le midió la altura con una pistola Haga y el diámetro normal (1.30 m) con una cinta diamétrica.

3.2.4 Extracción de núcleos de crecimiento

Los núcleos de crecimiento (gusanos o virutas) se obtuvieron de árboles vivos con un taladro de Pressler. De manera general se extrajeron dos virutas por árbol (muestras A y B), aunque en algunos de ellos,

especialmente los que se consideraron más viejos se obtuvieron hasta cuatro muestras (A, B, C y D). Las virutas se almacenaron en popotes de plástico, con la identificación respectiva e información adicional sobre características del árbol y ubicación de donde se extrajo la muestra.

3.2.5 Registro de datos

En un formato de campo se registró la siguiente información: clave de la muestra, fecha de colecta, coordenadas, altitud, nombre y clave del rodal, pendiente, pedregosidad, tipo de vegetación y exposición. Además, se registró la presencia de disturbio, como pastoreo, campismo, incendios pasados o talas. Al arbolado seleccionado se le registró las siguientes características: tipo de daño (incendio, calado, plagado, podrido, resinado, podado, inclinado, cinchado, con agallas); así como la especificación de ubicación es decir, cerca de arroyos, cañadas, pendientes pronunciadas, orillas de caminos ó veredas.

3.3 Trabajo de laboratorio

Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA, ubicado en Gómez Palacio, Durango (<http://www.inifap.gob.mx>) donde se realizó el fechado acorde a técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968).

3.3.1 Montaje de muestras

Las virutas o núcleos de crecimiento se dejaron secar dentro de los popotes a temperatura ambiente y posteriormente se colocaron en una moldura de madera sobre una capa de resistol blanco 850; después, se ajustaron con cinta adhesiva. La viruta se colocó sobre la moldura de tal forma que las traqueidas quedaran en forma vertical y pudieran ser visibles al microscopio de acuerdo con lo sugerido por Stokes y Smiley (1968).

3.3.2 Lijado y conteo

Ajustada la muestra a la moldura se procedió con el pulido mediante lijas de grano grueso a fino (grados 120 a 1200). Después, se observaron en un microscopio con objetivos de aumento de 10 a 20 X. Se realizó un conteo de los anillos de crecimiento en las muestras de todos los rodales. El conteo se inició en la parte del centro del árbol ó a partir de la medula hacia la corteza, marcando un punto cada diez anillos; dos puntos alineados verticalmente cada cincuenta años y tres puntos alineados verticalmente cada cien años. En caso de existir anillos pequeños, microanillos o anillos perdidos se señalaron con dos puntos alternos alineados en ángulo. Los anillos falsos o dobles se señalaron con una línea diagonal (Stokes y Smiley, 1968).

De 400 árboles muestreados en campo se seleccionaron 38; 10 árboles del rodal La Mesa, 12 de La Herradura, 13 del Oso y 3 de las Minas.

3.3.3 Prefechado

El prefecado se inició al elaborar para cada una de las muestras seleccionadas, un gráfico de crecimiento (“skeleton plot”) del patrón del grosor relativo de cada uno de los anillos. El fechado cruzado entre los gráficos de las muestras de los cuatro rodales, ayudó a identificar anillos perdidos y falsos. Una vez que todas las gráficas de las muestras indicaron un patrón similar de respuesta, se procedió a realizar el fechado exacto.

3.3.4 Medición de las muestras

Posterior al fechado de las muestras el siguiente paso consistió en medir de manera individual cada anillo fechado, para lo cual se utilizó un micrómetro con precisión de 0.001 mm, equipo que consta de una platina de fase deslizante, conectado a una computadora personal (Robinson y Evans, 1980).

3.4 Utilización y función de los programas de cómputo

Los programas de cómputo utilizados para el análisis dendrocronológico consistieron de COFECHA, ARSTAN, PRECON y la subrutina VERYF, incluidas en el paquete de programas dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés).

3.4.1 Análisis del fechado con el programa COFECHA

El archivo de la base de datos de la medición del anillo total se ingresa al programa COFECHA (Holmes, 1983). Este programa genera información que permite evaluar la calidad del fechado, al correlacionar cada serie individual con una serie maestra basada en la media de la anchura de cada anillo o años de todas las series individuales en periodos de 50 años con 25 años de traslape.

3.4.2 Estandarización de la cronología de anillos a través del programa ARSTAN.

El crecimiento anual radial de ciertas especies arbóreas está influenciado por una serie de factores endógenos y exógenos que definen el grosor de los anillos para un año determinado (Cook, 1987) y que se puede representar de la manera siguiente:

$$R_t = A_t + C_t + D1_t + D2_t + E_t$$

Donde:

R_t = Ancho del anillo de árbol observado en el año (t)

A_t = Tendencia por edad. Representa el tipo de crecimiento anual radial presente en todos los árboles, mismo que trae consigo un decrecimiento exponencial en función del tiempo.

C_t = Señal climática. Se refiere a la influencia de todas las variables climática ambientales, las más importantes son precipitación y temperatura, mismas

que determinan la humedad disponible en suelo, demanda evaporación y la fenología.

$D1_t$ = Pulsos generados por disturbios endógenos. Se refiere a la respuesta local de los árboles a disturbios dentro del bosque tal como competencia ó supresión.

$D2_t$ = Pulsos generados por disturbios exógenos. Se refiere a las características a causa de los resultados de disturbios como fuego, viento, insectos, enfermedades, agricultura y contaminación.

$\&$ = Indicador binario asociado con $D1$ y $D2$ de presencia ($\& = 1$) ó ausencia ($\& = 0$) de disturbios en las series.

E_t = Es la variación no explicada por los otros factores. Se refiere a la varianza no explicada después de las contribuciones de A_t , C_t , $\&D1_t$ y $\&D_t$, éstas se deben, por ejemplo, a diferencias en fertilidad dentro de los sitios, gradientes en las características del suelo, hidrológica ó error en la medición.

El programa de Estandarización Autorregresiva (ARSTAN, por sus siglas en inglés) ajusta a cada serie en particular una curva exponencial negativa ó alguna otra que mejor ajuste para eliminar la varianza debido a factores biológicos; tendencia individual de la especie y otros cambios ambientales no relacionados con clima (Cook, E. R. y R. H. Holmes, 1984). Este programa también amplía la señal climática ha ser analizada (Douglas, 1919; Fritts, 1976).

El modelo exponencial negativo comúnmente utilizado por ARSTAN genera un valor que es utilizado en la “estandarización. El modelo utilizado se representa como:

$$y_t = a e^{-b t} + k$$

Donde:

y_t = El crecimiento esperado para un año dado (t)

a, b y k = Coeficientes de regresión que varía de serie a serie de acuerdo a la pendiente de la curva en el dato a ajustar.

t = Tiempo que varía de 1 a n.

e = Base de logaritmos naturales

Cada serie por separado crea un índice al dividir el valor de la anchura del anillo medido con el micrómetro, entre el crecimiento esperado para el año “t”, dado por el modelo exponencial negativo o bien el valor de la curva, removiendo de esta manera la tendencia en crecimiento:

$$I = W / Y$$

Donde:

I = Índice de crecimiento estandarizado

W = Ancho del anillo medido con el micrómetro

Y = Ancho de anillo obtenido con la ecuación exponencial negativa

Es importante mencionar que los anillos estandarizados tienen una media aproximada de 1.0 y una varianza constante, lo cual permite hacer

comparaciones de la varianza y la media de la parte interna y externa de series pertenecientes a árboles de diferente edad (Cook, 1987). De las tres cronologías que genera el programa ARSTAN se emplea la versión estándar (conserva las variaciones de periodos largos) todas las series son empleadas para promediar cada uno de los índices debidamente fechados y de esta manera, obtener una cronología promedio estandarizada (Fritts, 1979).

3.4.3 Evaluación de la cronología

En forma general, se puede decir que un buen potencial dendroclimático de cualquier especie en particular puede ser analizado a través de las series anillos de crecimiento o cronología de tiempo individuales; entre los principales parámetros estadísticos que refleja un buen potencial se encuentra una alta sensibilidad media, una alta desviación estándar, una alta correlación entre series y una alta relación señal ruido; así como una baja autocorrelación de primer orden (Delgado, 2000).

Cabe mencionar que la sensibilidad media refleja los cambios que pueden estar relacionados con los procesos de crecimiento del árbol y el clima, llamadas variaciones de alta frecuencia o cambios de corta duración, se puede decir que la sensibilidad media determina, cuando los factores ambientales influyeron más sobre el crecimiento ó cuando fueron mas estables; la desviación estándar es la variación de los datos con respecto a un valor de la media, enfocado a los anillos de crecimiento; por otra parte, la

autocorrelación se refiere a la tendencia a producir anillos de crecimiento parecidos al anterior, afectando de esta manera la variación de baja frecuencia o bien la variabilidad en periodos largos, puesto que es la que nos interesa analizar; la relación señal ruido es el valor de la variación de ancho de anillo, producto de las condiciones climáticas, por ello, un patrón de crecimiento influenciado por las el clima tendrá una relación señal ruido mas alta que otros crecimientos influenciados principalmente por competencia o disturbio; por ultimo una alta correlación entre series, no es mas que una alta asociación entre las series de tiempo, virutas, muestras o incrementos anuales (Fritts, 1976; Delgado, 2000)

3.4.4 Obtención de datos climáticos por medio del programa ERICII.

Los datos meteorológicos obtenidos para este trabajo fueron extraídos del programa ERICII (Extractor Rápido de Información Climatológica) del Servicio Meteorológico Nacional. Primeramente, se definieron 20 estaciones meteorológicas localizadas en la región en la que se ubica el área de estudio. Los datos de precipitación mensual del período de registro para cada estación se correlacionaron con el índice de ancho de anillo para un periodo común. De esta manera, se determinaron las estaciones que presentaron datos de precipitación con mejor correlación, las cuales fueron: San Antonio de las Alazanas, Huachichil, El Tunal y Arteaga del municipio de Arteaga, Coah; Gómez Farias, San Juan de la Vaquería y Saltillo del municipio de Saltillo, Coah; y General Cepeda, Coah. Del conjunto de estas

estaciones se generó una precipitación promedio mensual regional (Figura1) y (Cuadro 1).

Las estaciones seleccionadas (Cuadro 1) cubren la precipitación promedio mensual regional del período 1941 a 2001 (Apéndice 4) su correlación mensual de cada estación meteorológica con los índices de ancho de anillo se encuentra en el (Cuadro 2).

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas consideradas para la realización del promedio de precipitación mensual regional.

Estación	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Porcentaje de datos perdidos
Arteaga, Arteaga	25.43	100.85	3
General Cepeda	25.37	101.47	4.3
Saltillo	25.42	101.00	0
San Antonio de las Alazanas (smn)	25.28	100.62	1
Gómez Farías	24.97	101.05	8.8
San Juan de la Vaquería	25.25	101.22	12.3
Huachichil, Arteaga	25.23	100.83	14
El Tunal, Arteaga	25.42	100.63	8.3

smn = Sistema meteorológico nacional

3.4.5 Relación entre el índice de ancho de anillo y la precipitación promedio mensual a través del programa PRECON.

Se hizo un análisis de correlación simple entre el índice de ancho de anillo (cronología estándar) y el promedio de precipitación mensual de todas las estaciones para definir el período de meses con más alta correlación. Una vez definido el periodo se utilizó la precipitación acumulada del mismo y nuevamente se correlacionó con el índice de ancho de anillo para luego ser verificada con una función de respuesta derivada del programa PRECON (Fritts, 1999). Este análisis permitió estimar los efectos de la precipitación en el crecimiento del árbol.

3.4.6 Calibración y prueba estadística por medio de la subrutina VERYFY.

La calibración consistió en realizar un modelo de regresión entre los índices de ancho de anillo y la precipitación total estacional, para usarlo en períodos donde no se tiene información climática. Para que el modelo generado fuese válido para propósitos de reconstrucción de la precipitación, este debe ser significativo ($p < 0.05$; 0.01; 0.001) por las diversas pruebas estadísticas tales como correlación, reducción de error, valor de t-Student, primera diferencia significativa y prueba de signos (Fritts, 1976).

Para la calibración, primeramente, se obtuvo la precipitación total de invierno primavera (Apéndice 5); así como el valor estandarizado de cada anillo

(cronología estándar) correspondiente al periodo 1941 a 2001, posteriormente se analizó en lustros, en forma descendente hasta obtener la más alta correlación.

El modelo de predicción se obtuvo de la mejor correlación obtenida eliminando dos años atípicos 1978 y 1989 utilizando el modelo lineal:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 (x_t)$$

Donde:

y_t = Valor de precipitación reconstruido de enero a julio de un año en particular
(m m)

β_0 = Intercepto

β_1 = Pendiente

x_t = Índice del ancho de anillo total

3.5 Verificación de los periodos secos con archivos históricos

El modelo generado en el proceso de calibración no fue factible validarlo en datos climáticos instrumentales independientes, debido al corto período de datos de precipitación disponibles; no obstante lo anterior, los periodos secos observados en la reconstrucción de precipitación se verificaron con archivos históricos de eventos relacionados con sequías, heladas, granizadas, huracanes, temporales, así como epidemias que en ocasiones se asociaron a eventos secos y húmedos y que afectaron diferentes partes del país

(Florescano, 1980; García *et al.*, 2003; Escobar, 2004). De igual manera estos periodos secos también se verificaron con reconstrucciones paleoclimáticas con anillos de árboles para el norte y otras regiones de México, así como para el suroeste de los Estados Unidos de América.

3.5.1 Definición de los periodos secos de la reconstrucción.

Para propósitos de análisis de las sequías los periodos reconstruidos se dividieron en periodos compuestos, periodos cortos intensos y largos intensos, esto de acuerdo a los periodos arrojados en la reconstrucción y determinados en cierta medida por los datos históricos.

Los periodos secos compuestos se presentan como períodos secos intercalados por años húmedos, los cuales afectaron tanto a la región como el país, no por su intensidad, sino más bien por su continuidad entre un subperíodo seco y otro.

Los periodos cortos intensos, fueron eventos con precipitaciones muy por debajo de la media y que al combinarse con otros eventos climáticos como heladas, granizadas, ventarrones, así como otros de impacto social, tales como, enfermedades, carencia de alimentos, especulación de precios de alimentos básicos (maíz) e inclusive lluvias abundantes que vinieron a complicar la situación.

Los periodos largos intenso fueron de un fuerte impacto social y económico en todo el país, a causa de la larga e intensa seca.

3.5.2 Análisis de la precipitación reconstruida

La precipitación se analizó a lo largo de su período reconstruido 410 años con el objeto de observar la ciclicidad de los periodos secos y tendencias de la precipitación media, su representatividad con la precipitación total del México, así como su relación con la Oscilación del Sur El Niño (ENSO).

Las variaciones en el ciclo hidrológico en la región norte de México están íntimamente relacionadas con la incidencia de fenómeno de El Niño o La Niña, ya que estudios recientes indican una tendencia de aumento en las lluvias para la parte norte del país, mientras que para el sur esta tendencia es negativa, de tal manera que este fenómeno tiene una fuerte influencia en la precipitación del país en general (Magaña y Gay, 2005).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis del potencial dendroclimático y determinación de la sensibilidad en el *Pinus cembroides* Zucc.

4.1.1 Potencial dendroclimática de acuerdo al programa COFECHA.

El programa COFECHA indicó que la especie *Pinus cembroides* tiene un alto potencial dendrocronológico para el sitio de estudio. De 67 muestras incluidas en el estudio sólo dos indicaron ligeros problemas de fechado, lo cual se debió principalmente a problemas de crecimiento y no tanto a problemas de fechado (Apéndice 1). Por lo que la hipótesis nula se rechaza.

4.1.2 Obtención de cronologías y determinación de la sensibilidad climática de acuerdo al programa ARSTAN.

El programa ARSTAN generó tres cronologías; estándar, arstan y residual (Apéndice 3) e indicó una sensibilidad climática de la especie con valor de 0.3090, un valor señal-ruido de 22.937, una desviación estándar de 0.2646 y un valor de autocorrelación de 0.2646 que se consideran aceptables para fines de reconstrucción climática (Apéndice 2).

4.2 Desarrollo de la reconstrucción de la precipitación

4.2.1 Determinación del periodo de crecimiento en la especie utilizada

El periodo de enero a julio indicó alta correlación entre los índice de ancho de anillo y la precipitación promedio mensual regional, a excepción de marzo con nula correlación (Figura 3). De esta manera, el periodo de precipitación estacional al que responde el crecimiento de piñonero en esta región es invierno-primavera (enero a julio); no obstante que a partir del mes de julio hasta septiembre se registra la mayor precipitación en el año (Figura 4).

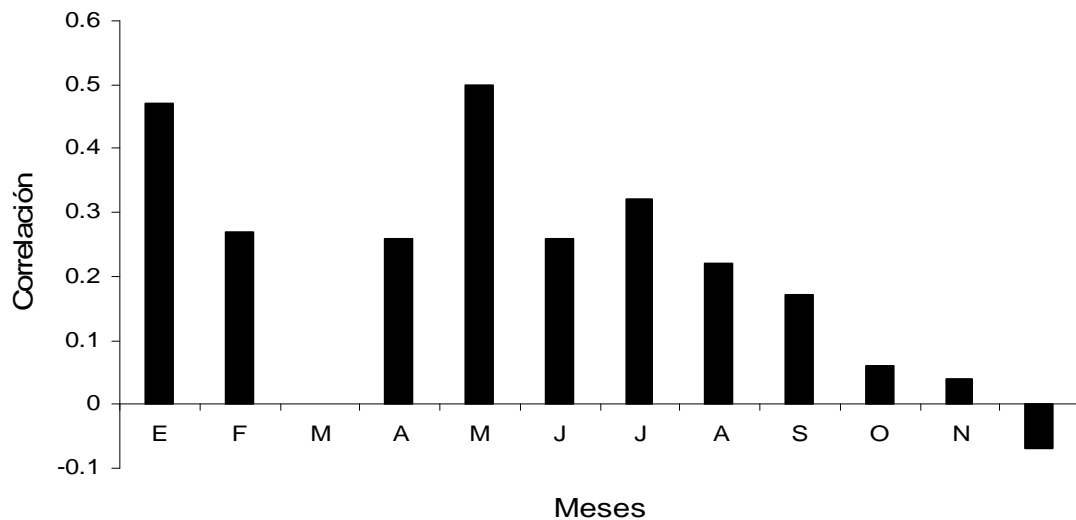


Figura 3. Correlación entre el índice de ancho de anillo de *Pinus cembroides* Zucc. y el promedio de precipitación mensual en el periodo común 1941 a 2001 en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah.

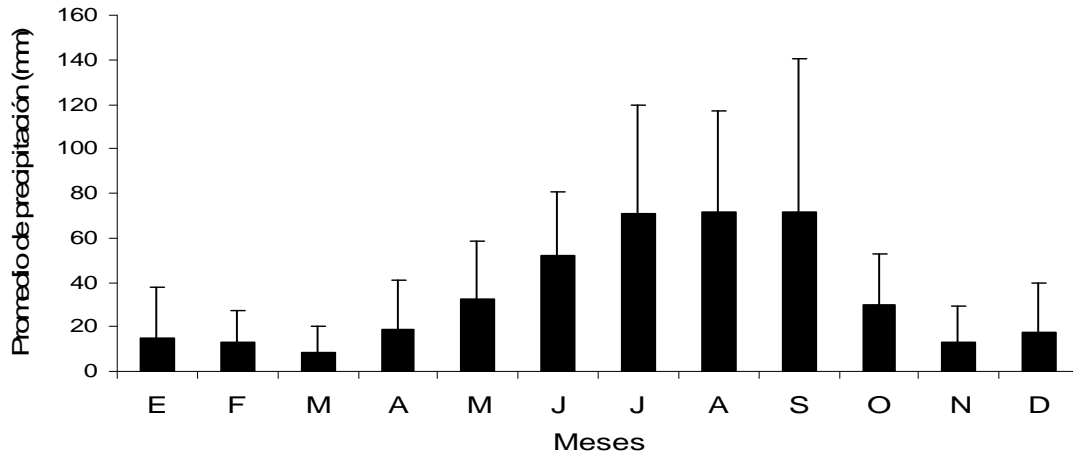


Figura 4. La precipitación promedio mensual anual regional, de las estaciones Huachichil, San Antonio de las Alazanas, El Tunal y Arteaga del municipio de Arteaga, Coah; Gómez Farías, San Juan de la Vaquería y Saltillo del municipio de Saltillo, Coah; y General Cepeda, Coah.

La respuesta en crecimiento para la precipitación ocurrida en los meses fríos del año para el norte de México se puede deber a diferentes razones. Por ejemplo, en el invierno el agua que se almacena en el suelo está disponible en su totalidad para el crecimiento del árbol (Meko *et al.*, 1996). En el área de estudio, las lluvias de verano por sus característica torrencial superan la infiltración, por lo que gran parte de la precipitación escurre como flujo superficial y no está disponible para el crecimiento del árbol (García, 1978). En esta región la precipitación del periodo invierno-primavera al que responde el crecimiento del árbol representa el 51 % (Figura 5).

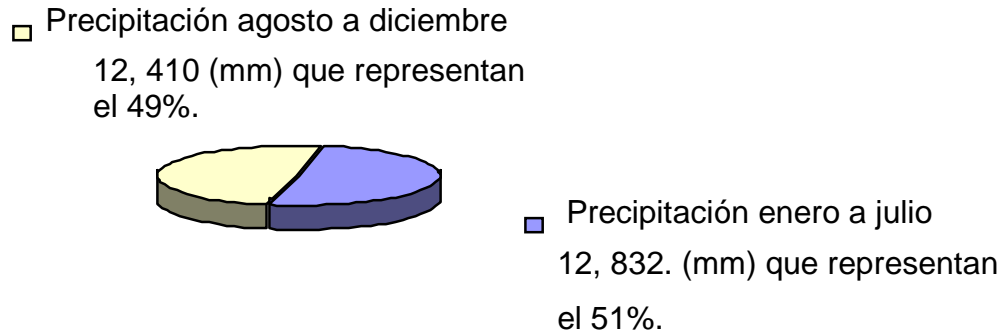


Figura 5. Precipitación anual acumulada y su porcentaje para los periodos enero a julio y agosto a diciembre de 1941 a 2001.

Una respuesta de las coníferas a la precipitación invierno-primavera se ha descrito con anterioridad para la Sierra de Arteaga y otras partes del norte de México y suroeste de los Estados Unidos de América (Stahle *et al.*, 1999; Díaz *et al.*, 2002; Villanueva y McPerson, 1999; Pohl *et al.*, 2003; Cleaveland *et al.*, 2003; Cerano, 2004).

4.2.2 Periodo total de crecimiento invierno primavera y diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión (Figura 6) indica que un modelo lineal puede explicar la variabilidad entre la precipitación total para el periodo enero a julio (Apéndice 5) y el índice de ancho de anillo de la cronología estándar.

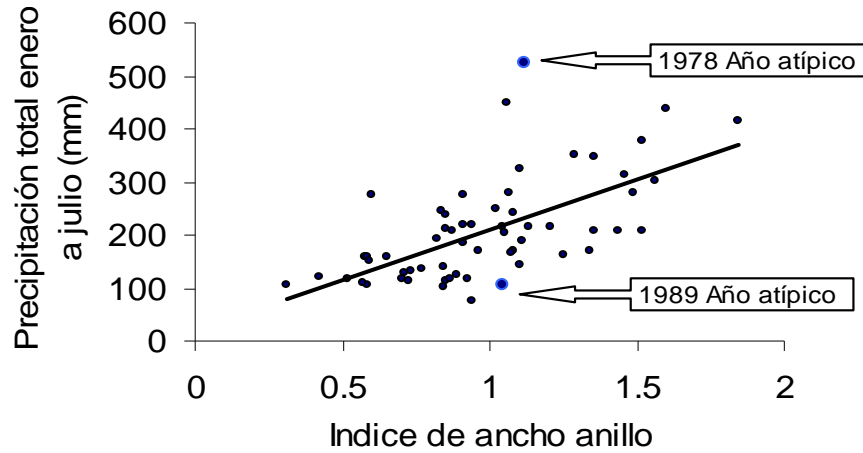


Figura 6. Diagrama de dispersión de la precipitación total enero a junio con el índice de ancho de anillo, para el periodo 1941-2004.

4. 2.3 Calibración y obtención del modelo climático.

La obtención de la mejor correlación entre la precipitación total enero a junio y el índice de ancho de anillo a lo largo del periodo de tiempo 1941 a 2000, se obtuvo en lustros en forma descendente, determinando el lapso de tiempo 1977 al 2000, omitiendo los años 1978 y 1989 por considerarse atípicos (Cuadro 3).

La calibración u obtención del modelo se obtuvo en dicho periodo de alta correlación con un valor de $r = 0.9$ y una R^2 ajustada = 0.80 ($p < 0.0001$) (Figura 7).

Cuadro 3. Correlación (r) entre los índices de ancho de anillo y la precipitación total enero a julio en lustros.

Periodo (años)	Periodo (años)	Valores de r
1941-2001	60	0.58
1945-2001	56	0.58
1950-2001	51	0.59
1955-2001	46	0.51
1960-2001	41	0.51
1965-2001	36	0.48
1970-2001	31	0.56
1975-2001	26	0.64
1977-2000	23	0.90*

*Los años de 1978 y 1989 se eliminaron por considerarse atípicos

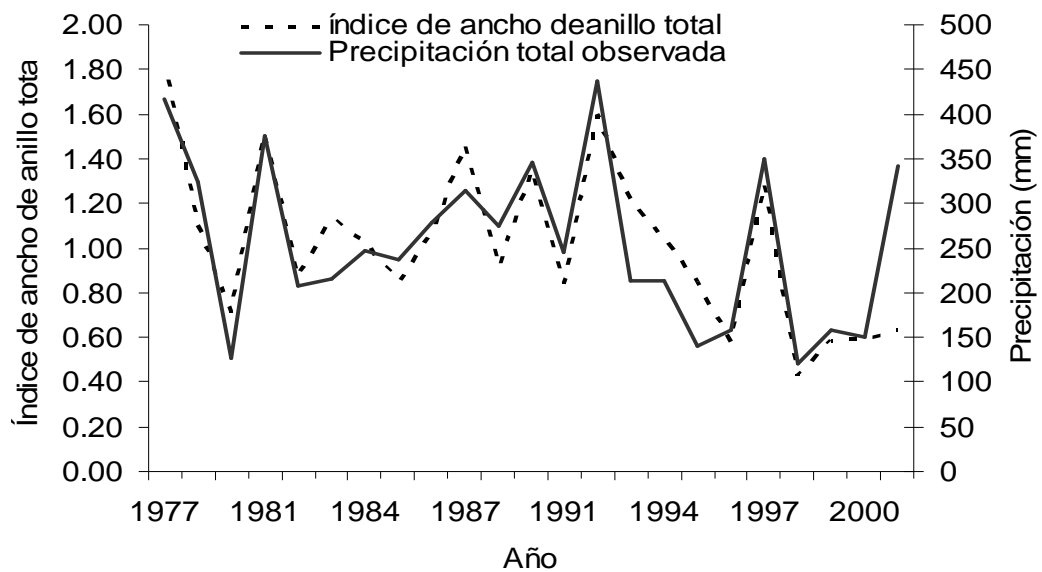


Figura 7. Calibración para la reconstrucción de precipitación de invierno-primavera para el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah., utilizando la cronología estándar de anillo total y la precipitación total del período enero a julio, del año 1977 al 2000 y eliminando los dos años atípicos de 1978 y 1989.

El modelo que se aplicó para el proceso de reconstrucción de precipitación en la longitud total de la cronología (1595 a 2004).

$$Y_t = 12.76 + 230.78 * X_t$$

Y_t = Valor reconstruido para un año particular

X_t = Índice de ancho de anillo

4.2.4 Validación estadística del modelo climático

Los datos reconstruidos con el modelo y los datos instrumentales indican que el modelo simula adecuadamente la variación en la precipitación estacional detectada por los anillos de los árboles, aunque es de notar que algunos eventos con alta precipitación no fueron detectados por los árboles (Figura 8).

Las pruebas estadísticas de calibración indican que en el período 1977 a 2000 se obtuvo una correlación de 0.76 entre la precipitación observada y la reconstruida, la prueba de *t*-Student muestra una diferencia significativa en la media de ambas y mientras que la “prueba de signos” indica no significancia entre los signos de la precipitación reconstruida y observada, la prueba rigurosa de la “reducción del error” con su alta significancia, deja en claro la alta calidad de la reconstrucción (Cuadro 4) indicando que los anillos del *Pinus cembroides*

reproducen adecuadamente la precipitación estacional regional invierno-primavera para el área de estudio.

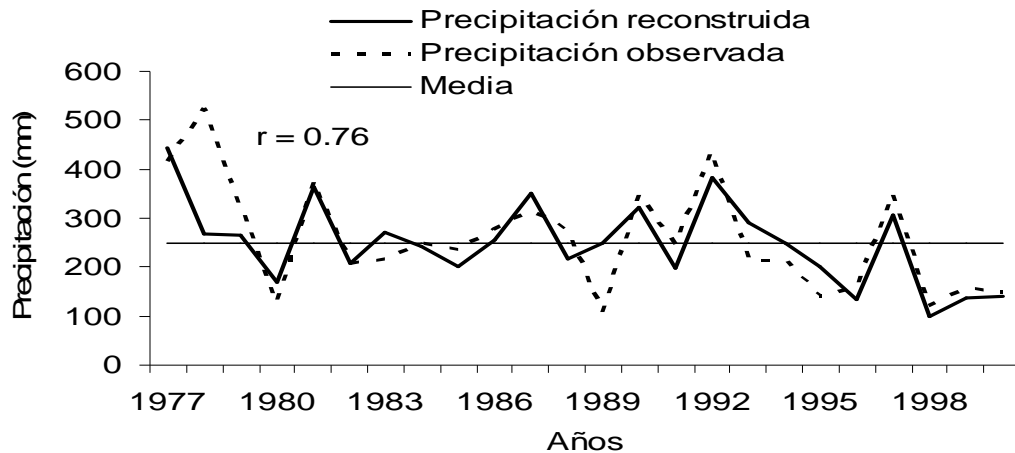


Figura 8. Relación entre datos de precipitación estacional observados y reconstruidos.

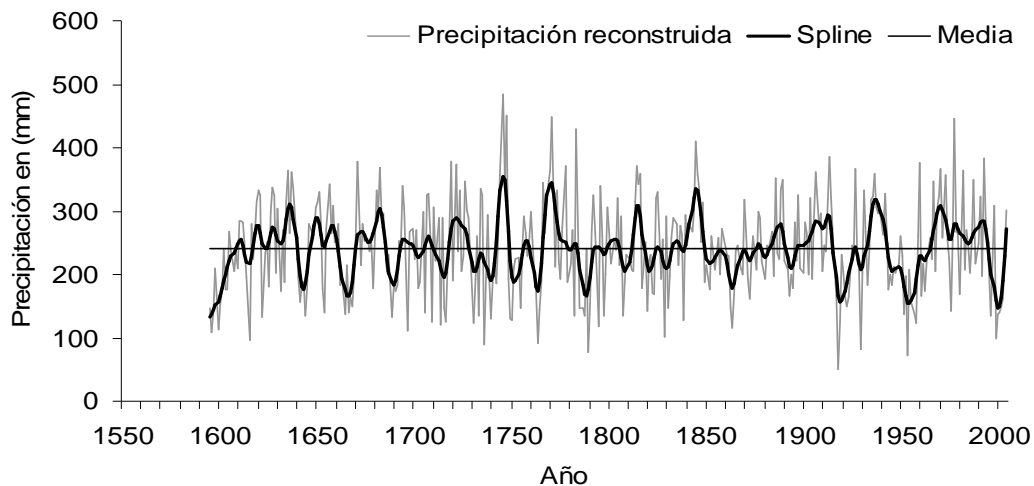
Cuadro 4. Pruebas estadísticas del proceso de calibración para el período de 1977 a 2000, generadas por la subrutina VERYFY

Calibración	
Correlación	0.7577
Primera diferencia	5*/7
Prueba de signos	12/7
valor de <i>t</i> -Student	1.84*
Reducción del error	Altamente significativo al 0.0001

* Significativo al 95 % de confianza

4.2.5 Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila.

El modelo de regresión lineal derivado en el proceso de calibración se utilizó para generar una reconstrucción estacional de enero a julio en el período total de la serie dendrocronológica que se extiende por 410 años (1595 a 2004). La reconstrucción es altamente sensible y simula los eventos de alta frecuencia (anual) y de baja frecuencia (decenal) que afectaron la parte baja del Área Natural Protegida de “Sierra Zapalinamé” (Ejido Cuauhtémoc) para los últimos cuatro siglos (Figura 9).



La línea tenue (gris) representa la precipitación estacional anual y la línea flexible oscura (spline) representa eventos de baja frecuencia presentes en la reconstrucción (línea oscura). La línea oscura horizontal representa la media reconstruida para el período total.

Figura 9. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera (enero-julio) para el Área Natural Protegida “Sierra Zapalinamé” en el período 1595 a 2004.

4.3 Análisis de la fluctuación de la precipitación reconstruida

4.3.1 Asociación entre la precipitación reconstruida y los índices de precipitación para todo México

La precipitación reconstruida y el índice de lluvia tropical para todo México indicó una correlación de 0.52 ($p < 0.05$), esto se puede observar también en los archivos históricos, ya que la mayoría de los eventos secos críticos registrados en la región, también fueron detectados en todo el territorio nacional (Figura 10).

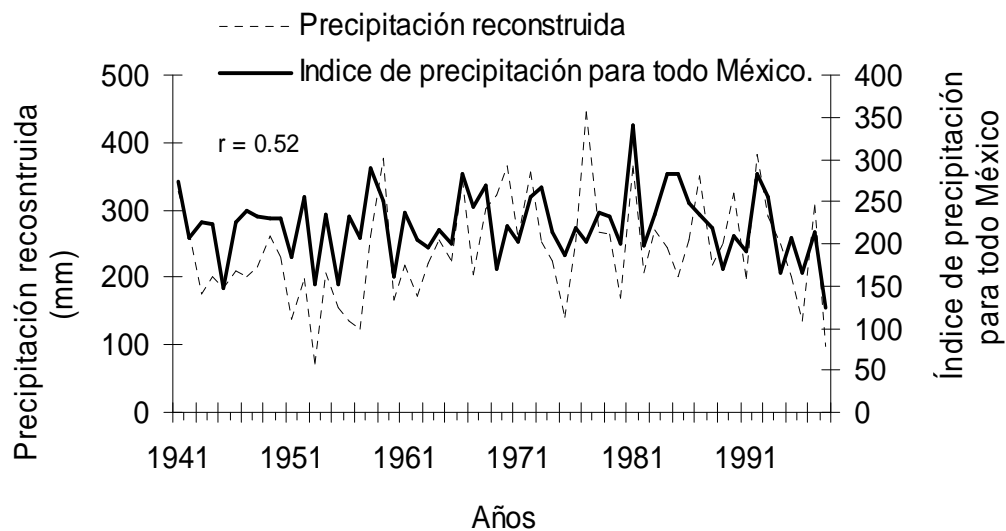


Figura 10. Comparación entre la precipitación reconstruida (invierno-primavera) y el índice de precipitación para todo México, periodo 1941 a 1998.

4.3.2 Asociación en subperíodos de veinte años entre la precipitación reconstruida y el ENSO

Por otra parte, al correlacionar en periodos de veinte años la precipitación reconstruida con el índice de precipitación tropical (estimativo de la variabilidad de ENSO). La máxima correlación se obtuvo para el período de al correlacionar en periodos de veinte años la precipitación reconstruida con el índice de precipitación tropical (estimativo de la variabilidad de ENSO) (Figura 11).

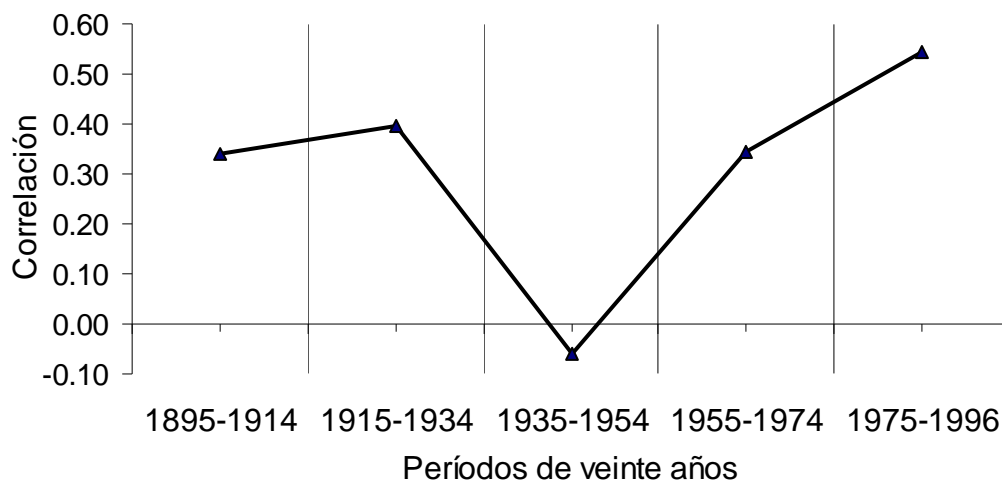


Figura 11. Correlación en períodos de veinte años entre los la precipitación reconstruida y el índice de precipitación tropical, (estimativo de la variabilidad del ENSO) en el periodo de tiempo 1895 a 1996.

El fenómeno de El Niño no impacta de manera significativa esta región de México, ya que otros fenómenos circulatorios como tormentas tropicales, huracanes y frentes fríos tienen una mayor influencia en la precipitación del noreste de México (Magaña, 1999). Esta baja relación también se refleja en reconstrucciones realizadas para la ciudad de Saltillo, Coah. y para el caso del centro-sur de Nuevo León y centro-sur de Tamaulipas, no se encontraron valores significativos con respecto a dicho fenómeno (Villanueva *et al.*, 2006).

4.3.3 Tendencia de la precipitación media reconstruida en subperíodos de cincuenta años

En esta reconstrucción la media ha cambiado a través del tiempo, como puede observarse en subperíodos de 50 años (Figura 12). Esta variación en precipitación seguramente está influenciada por la interacción de diversos patrones circulatorios, que no es posible analizar con la información derivada en este estudio. No obstante lo anterior, en este estudio se puede detectar la presencia de sequías en períodos de 50 a 60 años, como es el caso de las décadas secas de 1750 y 1760, 1850 y 1860 y 1950 y 1960; sequías que provocaron crisis agrícolas generalizadas y carestía de alimentos (Florescano, 1980).

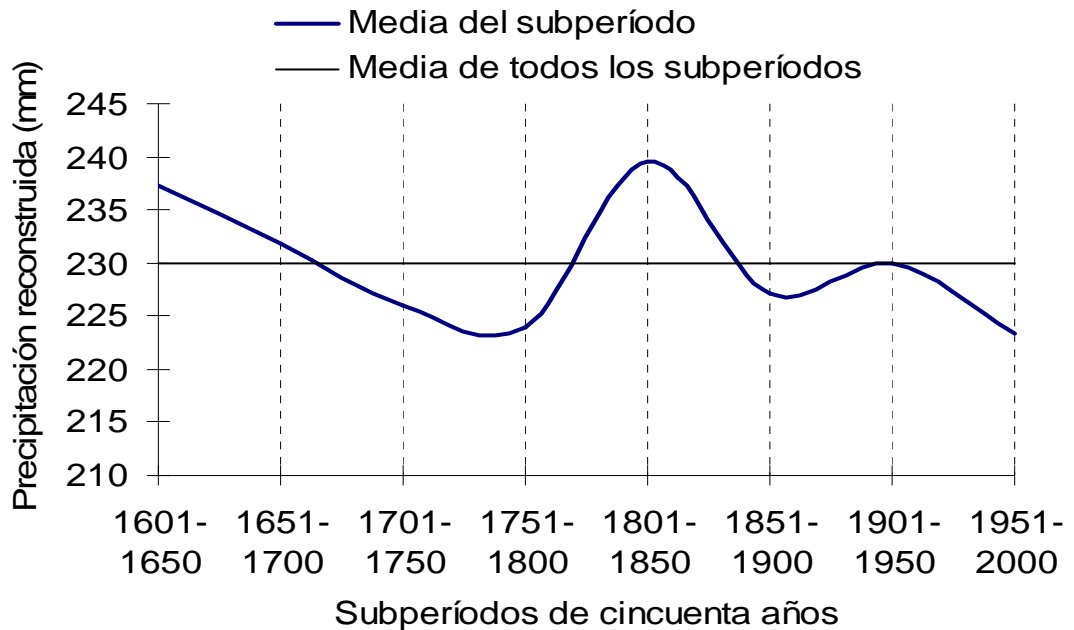


Figura 12. Tendencias de la media de la precipitación reconstruida en subperíodos de cincuenta años para el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah.

4.3.4 Períodos secos reconstruidos

Los periodos compuestos descritos en este trabajo son cuatro, el primero de se divide en dos subperíodos de 1702 a 1706 y de 1713 a 1716, el segundo comprende los subperíodos 1750 a 1756 y 1759 a 1764; el tercero lo constituyen dos subperíodos de 1807 a 1812 y de 1819 a 1832 y un cuarto lo conforman tres subperíodos de 1850 a 1853, de 1860 a 1867 y de 1880 a 1884 (Figura 13).

Los periodos secos cortos intensos son seis en total, se presentan en los periodos de 1641 a 1646, 1662 a 1670, 1687 a 1694, 1730 a 1743, 1784 a 1794

y 1891 a 1896. Los dos últimos períodos provocaron hambrunas generalizadas (Figura 13).

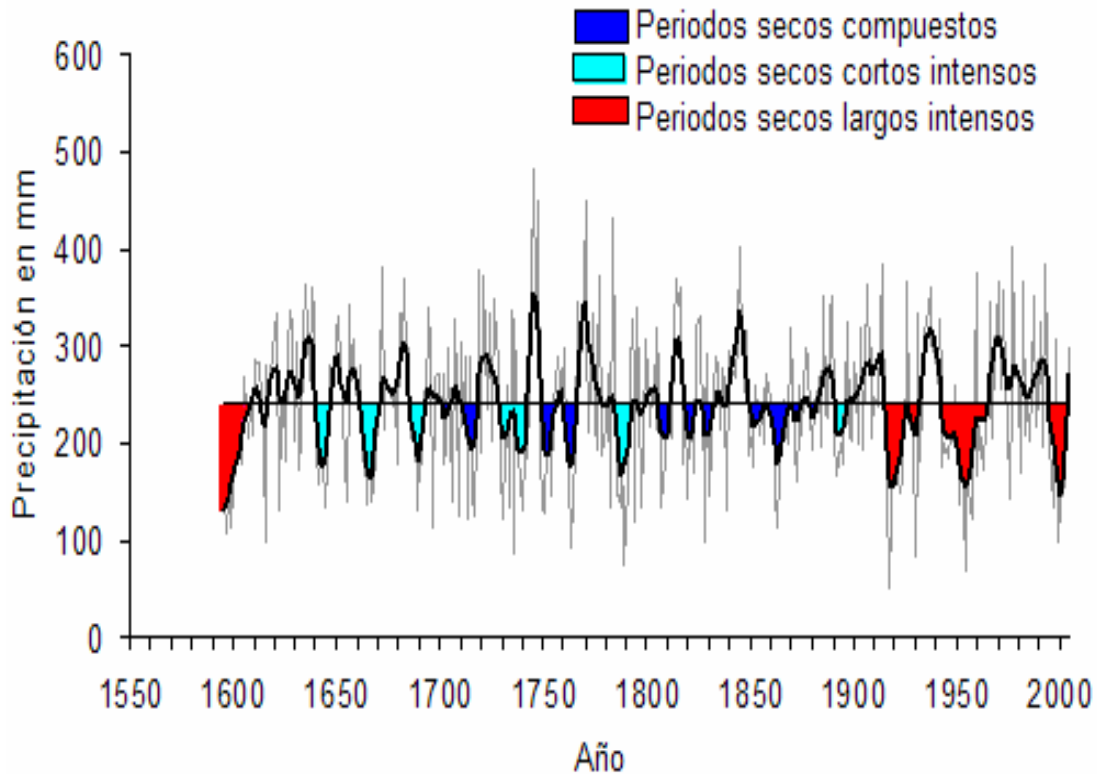


Figura 13. Períodos secos reconstruidos de la precipitación invierno-primavera (enero-julio) para el “Ejido Cuauhtémoc”, Saltillo, Coahuila.

Los períodos secos largos intensos son cuatro, es decir, 1595 a 1618, 1917 a 1934, 1945 a 1962 y 1993 a 2004 (Figura 13).

4.3.5 Períodos secos respaldados con reconstrucciones climáticas y archivos históricos

Los períodos mencionados son respaldados por reconstrucciones climáticas desarrolladas para el sur de Estados Unidos, norte y centro de

México (Blasing *et al.*, 1988; Meko *et al.*, 1996; Villanueva y McPerson 1999; Díaz *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2002; Therrell *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Pohl *et al.*, 2003; González *et al.*, 2003; Cerano, 2004; Villanueva *et al.*, 2005; Therrell *et al.*, 2006). De igual, manera los períodos secos también fueron respaldados con archivos históricos (Florescano, 1980; García *et al.*, 2003; Escobar, 2004) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Relación de periodos secos reconstruidos con datos históricos y reconstrucciones climáticas.

Periodo secos reconstruidos <i>P. cembroides.</i>	Evento	Año	Estados del norte y Republica Mexicana.	Coahuila	Periodo secos reconstruidos	Referencias
1595-1618	Sequía y ausencia de lluvias.	1597, 1598, 1599, 1606, 1607, 1610, 1616,1617, 1618.	Valle de Méx., Zac, y centro del país. Todo el país en 1610, sufre sequía y hambre.		1579 a 1598 1595, 1597, 1598,1599 1604.	Meko <i>et al</i> (1996) Therrell <i>et al</i> (2006)
1641-1646	Sequía y ausencia de lluvias, falta de maíz.	1641,1642, 1643, 1644, 1646.	S. L. P., Zac. y N. L. 1643 falta de maíz todo Méx.		1960s	Cerano (2004)
1662-1670	Secas y sequías.	1662 a 1667 y 1668 a 1669.	En S. L. P., Chih. Zac. y Dgo. 1668 en todo el país hay sequías.			
1687-1694	Sequía, Falta de maíz.	1689,1691,1692, 1693,1695.	S. L. P., N. L. y parte del bajo Mexicano.		1685 a 1695	Cerano (2004)

<p>Período compuesto</p> <p>1702-1706 y 1713-1716</p>	<p>Sequías consecutivas, carestía, falta de maíz.</p>	<p>1701, 1702, 1703, 1713, 1714 y 1715.</p>	<p>1691 a 1695 crisis general en el país.</p> <p>Centro del país, Zac. y N. L.</p> <p>1713 a 1714 sequía de gran magnitud todo el país.</p>		<p>1705 a 1743</p> <p>1696 a 1709</p> <p>1694 a 1701</p> <p>1692 a 1713</p>	<p>Cerano (2004)</p> <p>González <i>et al</i> (2003)</p> <p>Villanueva <i>et al</i> (2006)</p> <p>Therrell <i>et al</i> (2006)</p>
<p>1730 a 1743</p>	<p>Falta de maíz, alimento básico, hambre y enfermedades.</p>	<p>1737, 1738, 1740, 1741, 1742.</p>	<p>Zac. S. L. P., Sin., Son., Chih. y B. C.</p> <p>1730-1734 y 1740 Crisis agrícola general en el país.</p> <p>Gto., Zac., Tmps., S. L. P. y Qro.</p>	<p>1733 San Francisco Coah. Falta de maíz.</p>	<p>1742 seco</p> <p>1705 a 1743</p> <p>1739 a 1743</p>	<p>Díaz <i>et al</i> (2002)</p> <p>Cerano (2004)</p> <p>González <i>et al</i> (2003)</p>
<p>Periodo compuesto</p> <p>1750- 1756 y 1759 1764</p>	<p>Sequías, falta de harinas cereal, víveres, pestes, hambres y miséria.</p>	<p>1750, 1751, 1752, 1753, 1755, 1759, 1760, 1762, 1764.</p>	<p>1750 hambre todo el país.</p>	<p>San Francisco, Sacramento, Monclova. Coah. 1750, 1760. 1763, 1764.</p>	<p>1751 a 1765</p>	<p>Díaz <i>et al</i> (2002)</p>

1784 -1794	Secas y sequías, falta maíz, esterilidad, mortandad de gente y animales por hambre y desnutrición.	1784, 1785, 1786, 1787, 1788, 1789, 1791, 1792, 1793, 1794.	Zac., Mich., S. L. P., Dgo. y Son. 1785 Se presenta el año del hambre en Méx. También, 1784 y 1786.	Saltillo y Monclova Coah. 1784, 1785, 1786, 1787, 1789, 1790, 1793.	1790 Año seco. 1785 a 1810 1784 a 1789 1785 a 1786	Blasing <i>et al</i> (1988) Cerano (2004) Villanueva <i>et al</i> (2006) Therrell <i>et al</i> (2006)
Periodo compuesto 1807- 1812 y 1819 – 1832	Sequías, pocas lluvias, crisis agrícolas	1805, 1806, 1807, 1808. 1809, 1810, 1811, 1812, 1820, 1822, 1823, 1826, 1827, 1828, 1831, 1832, 1833.	Zac., N. L., Chih., S. L. P. y Tmps. 1807-1810 Crisis agrícola en el país. 1810-1812 Pocas lluvias en todo el país. 1820 heladas, epidemias y desnutrición en el país.	1805-1810 Prolongada sequía en Coah. 1820 Saltillo, Coah. carece de grano. Saltillo, Coah. sequías 1823, 1826, 1827 y 1828. 1831-1832 Saltillo Coah. pocas lluvias, falta de maíz.	1797 a 1805 1820 1800 1785 a 1810 1806 a 1809 y 1817 a 1820 1830s Sequía y escasa cosecha.	González <i>et al</i> (2003) Díaz <i>et al</i> (2002) Pohl <i>et al</i> (2003) Cerano (2004) Villanueva <i>et al</i> (2006) Therrell <i>et al</i> (2006)

<p>Periodo compuesto</p> <p>850 a 1853, 1860 a 1867, 1880 a 1884</p>	<p>Falta de grano, sequías, heladas, muerte de gente y animales, pocas lluvias, granizadas.</p>	<p>1850, 1851, 1853, 1860, 1862, 1863, 1864, 1867, 1880, 1881, 1882, 1883, 1884, 1885.</p>	<p>Todo el norte padece, estos eventos.</p> <p>Sequía en todo el país de 1884 a 1885 y 1868 a 1869.</p> <p>1850 Precios altos de maíz en todo el Méx.</p> <p>1884 a 1885 Sequía severa en el país.</p> <p>1883 escasez en general Méx.</p>	<p>En Coah. se sufre por sequías y falta de lluvias. 1850, 1851, 1853, 1862, 1863, 1880, 1882, 1884.</p> <p>1892 varios Municipios sufren difícil situación por pocas lluvias en Coah.</p> <p>1894 y 1896 Coah. sufre sequía.</p>	<p>Gran sequía antes de 1870</p> <p>1860</p> <p>1857 a 1880 La peor sequía de su reconstrucción.</p> <p>1857 a 1872 Extensa sequía.</p> <p>1857 a 1875</p> <p>1867 a 1875</p> <p>1890s</p> <p>1890 a 1895</p> <p>1891 a 1902</p>	<p>Blasing <i>et al</i> (1988)</p> <p>Therrell <i>et al</i> (2002)</p> <p>Pohl <i>et al</i> (2003)</p> <p>Cleaveland <i>et al</i> (2003)</p> <p>Cerano, 2004</p> <p>Villanueva <i>et al</i> (2006)</p> <p>Therrell <i>et al</i> (2002)</p> <p>Cerano (2004)</p> <p>Therrell <i>et al</i> (2006)</p>
<p>1891 a 1896</p>	<p>Sequía, manantiales secos, escasez de alimentos, pocas lluvias, hay muerte por sed.</p>	<p>1891, 1892, 1893, 1894, 1895, 1896.</p>	<p>Todo el norte sufre sequías en estos años.</p> <p>Los años 1891, 1892, 1893, 1894 y 1896 Méx. Sufrió sequía.</p>	<p>1892 varios Municipios sufren difícil situación por pocas lluvias en Coah.</p> <p>1894 y 1896 Coah. sufre sequía.</p>	<p>1890s</p> <p>1890 a 1895</p> <p>1891 a 1902</p>	<p>Therrell <i>et al</i> (2002)</p> <p>Cerano (2004)</p> <p>Therrell <i>et al</i> (2006)</p>

1917-1934	Sequías fuertes e incendios.	1917,1918, 1919, 1920, 1922, 1923,1925, 1927, 1932.	S. L. P., N. L y B. C., Zac. y Dgo. Republica Mexicana 1923, 1925, 1927 vive intensas sequías.	Coah. padece sequías en los años: 1921,1922, 1923, 1924, 1925 y 1927	1930 1915 a 1925 1916 a 1922 y 1932 a 1939	Therrell <i>et al</i> (2002) Cerano (2004) González <i>et al</i> (2003)
1945-1962	Terrible sequía.	1950, 1951, 1953, 1956, 1957, 1958,1960, 1962.	Todo el norte se reportan perdidas a lo largo de la década, especialmente los esta-dos: Son., Chih., N. L., Tmps., S. L. P. y Dgo. Todo Méx. sufre fuerte sequía. 1949, 1951, 1958, 1960, 1962.	En 1948 a 1954, 1951, 1953,1956, 1957, 1960 a 1964 Coah. sufre sequías.	1950s Sequía de gran severidad. 1955 Año seco. 1939 a 1958 sequía prolongada. 1950s fue la más severa y prolongas sequía. 1950 a 1959 y de 1978 a1982 Poco crecimiento de árboles. Sequía extensa de 1950 a 1965	Blasing <i>et al</i> (1988) Villanueva y McPherson (1999) Díaz <i>et al</i> (2001) Díaz <i>et al</i> (2002) Therrell <i>et al</i> (2002) Cleaveland <i>et al</i> (2003)

					<p>1950 Episodio prolongado de sequía Años críticos de sequía: 1953-1957.</p> <p>1950 a 1965 Sequía extrema y el periodo: 1968 a 1980</p> <p>1960 y 1980</p> <p>1950s sequía y daños a cultivos para el centro del país.</p>	<p>Pohl <i>et al</i> (2003)</p> <p>Cerano (2004)</p> <p>Villanueva <i>et al</i> (2005)</p> <p>Therrell <i>et al</i> (2006)</p>
--	--	--	--	--	--	--

1993-2004	Sequía, muerte de gente por deshidratación, ondas calidas.	1993, 1994, 1995, 1997, 1998, 2000, 2002 y 2003.	El norte de Méx. Sufre sequía y muerte de animales. 1998, año caluroso en Méx.	1993 -1998 Coah. Se reporta como una de las más fuertes sequías de los 40 años.	1990 a 2001 1997 1998	Cerano (2004) Díaz <i>et al</i> (2002) Pohl <i>et al</i> (2003)
-----------	--	--	---	---	-------------------------------------	---

S. L .P. = San Luís Potosí, N. L. = Nuevo León, Coah. = Coahuila, Chih.= Chihuahua, B. C. = Baja California, Son. = Sonora, Sin. = Sinaloa, Zac. = Zacatecas, Dgo. = Durango y Tmps. = Tamaulipas.

Los archivos históricos están ampliamente reportados por Florescano (1980), García *et al.*, (2003); Escobar (2004).

4.3.6 Crisis agrícolas y sequías generales que coinciden con los períodos reconstruidos

Para este trabajo es importante resaltar las crisis agrícolas, sequías severas, carestías, hambres y pocas lluvias que se registraron en el territorio nacional y que afectaron el estado de Coahuila, particularmente la región de Saltillo, donde se concentra gran parte de la población estatal.

La crisis agrícola de 1750 se presenta para Saltillo, Coah., con escasez general en el país, al igual que la crisis no muy severa de 1760 para el municipio de San Francisco, Coah. Una de las sequías que se complicaron por la presencia de heladas fue la de 1784, misma que provocó muerte en el Valle de Saltillo, sus consecuencias repercuten hasta 1786 causando miseria y falta de maíz en Saltillo, así como muerte por desnutrición en todo el país. La crisis agrícola general de 1801 a 1802 en la que el país sufre hambre, la ciudad de Saltillo la padece con enfermedades; aunque no pasa mucho tiempo para que en 1807 a 1810 se vuelva a presentar otra crisis agrícola general haciéndose sentir en Saltillo con escasez de granos básicos (Florescano, 1980; García *et al.*, 2003; Escobar, 2004).

Los años secos que ocurrieron en todo el país fueron 1820, 1831 y 1850 mismos que repercutieron en Saltillo con baja disponibilidad de granos. Más tarde, en la década de 1860 la región sufre con otra sequía con los mismos impactos anteriores. El año seco de 1877 relacionado con el fenómeno de El Niño, registrado en todo México también se presenta en

Coahuila. La sequía severa de 1884 a 1885 que origina pérdida de cosechas y falta de productos básicos en el país, también se registró en Monclova y Sierra Mojada, Coah., en tanto que la sequía de 1892 también se detecta en Saltillo. Las sequías severas nacionales de 1896, 1923, 1925, 1927, 1951, de 1960 a 1964 y los años 1962 y 1993 estuvieron presentes también en Coahuila (Florescano, 1980; Escobar, 2004).

4.3.7 Sequías severas y crisis agrícolas en el país, no reportadas para Coahuila

Las sequías y crisis agrícolas que son reportadas para México y no así para el estado de Coahuila, pero que sin embargo se encuentran dentro de los periodos secos reconstruidos son la sequía que provocó hambre en 1610 y la de 1668 acompañada de enfermedades; también se encuentra la crisis de 1692 a 1695, la de 1713 a 1714, la de 1730 a 1731, y la de 1759 a 1760. Las sequías con daños a las cosechas en todo el territorio nacional como las de 1808 a 1809, la de 1810 a 1812, así como los años 1859, 1864, 1869, 1875, 1891, 1893, 1932, 1935, 1949, 1958, 1995 y 2001. De esta manera es evidente que los anillos de árboles representan una fuente de gran valía para conocer el impacto potencial que pudieron tener ciertos eventos hidroclimáticos en una región, donde no existe información documentada (Florescano, 1980; García *et al.*, 2003; Escobar, 2004).

5 CONCLUSIONES

La cronología desarrollada con *Pinus cembroides* para el sitio Cuauhtémoc en el Área Natural Protegida “Sierra Zapalinamé”, indicó alto potencial para estudios dendrocronológicos.

El crecimiento de la madera total anual de la especie en estudio está influenciado de manera significativa por la precipitación estacional acumulada invierno-primavera (enero a julio).

La reconstrucción detecta eventos de baja frecuencia particularmente sequías que se encuentran reportadas en documentos históricos y reconstrucciones de precipitación previamente desarrolladas para el noreste de México.

De acuerdo a la tendencia de la precipitación media analizada en subperíodos de 50 años, se detectaron sequías recurrentes en el orden de 50 a 60 años.

6 RECOMENDACIONES

Dado que el *Pinus cembroides* Zucc. por su amplia distribución en México y su adecuado potencial dendrocronológico constituye una alternativa para la generación de información paleoclimática, se recomienda:

Realizar estudios climáticos más detallados a nivel regional de la influencia de patrones circulatorios en la precipitación tanto de invierno como de verano a través de esta especie, información de gran valía para la planeación de los recursos hídricos y conservación de la biodiversidad.

Puesto que esta especie se encuentra en lugares con mucho disturbio se recomienda hacer muestreos intensivos que permitan encontrar individuos longevos.

Para el área natural protegida Sierra de Zapalinamé, este estudio constituye el primero de su tipo, por lo que es relevante realizar un mayor número de trabajos dentro de esta área, que permitieran no solo determinar con mayor detalle la variabilidad hidroclimática que la caracteriza, si no también analizar el impacto de la misma en términos del tendencias del ciclo hidrológico, dinámica de poblaciones de bosques e impacto de de cambios de uso del suelo.

Por ultimo se recomienda una mayor busqueda tanto de potencial dendrocronológicos como de sensibilidad, en de otras especies pertenecientes al genero Pinus que tal ves puedan aportar mejores resultados que las manejadas hasta ahora.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Blasing T. J., D. W. Stahle y D. N. Duvick. 1988. Tree ring-based reconstruction of annual precipitation in the south-central United States from 1750 to 1950. *Water Resources Research* 24(1): 163-171.
- Cerano P., J. 2004. Reconstrucción de 350 años la precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. Mexico. 153 p.
- Cleaveland, M. K., D.W. Stahle, M.D. Therrell, J. Villanueva y B.T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation y tropical teleconexions in Durango, México. *Climatic Change* 59: 369-388.
- Cook, E. R. y R. H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and users manual. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona. Tucson, AZ. 15 p.
- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin*. 47: 37-59.
- Cruz de L., J. 1984. Estudio dasonómico del bosque de coníferas de la Sierra de Zapalinamè. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 117 p.
- Delgado, S.C. 2000. Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos. EDIUNC, Mendoza, Argentina. 79-102.
- Díaz, S.C., R. Touchan y T.W. Swetnam. 2001. A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Climatology* 21: 1007-1019.
- Díaz, S. C., M.T. Therrell, D.W. Stahle y M.K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings. *Climate Research* 22:237-244.
- Douglas, A. E. 1919. Climatic cycles and tree-growth. Vol 1. Carnegie institute. Washington, D.C. Publicación 289.
- Eguiluz P., T. 1977. Los pinos del mundo. Publicación especial No 1. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo México. 75 p.
- Escobar, A. 2004. Desastres agrícolas en México, catalogo histórico. Tomo II. Fondo de cultura económico. México. 280 p.

- Florescano, E. M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.
- Fritts, C. H. 1976. Tree rings and climate. University of Arizona, Tucson, Arizona, U.S.A. 567 p.
- Fritts, H. C. 1999. An Empirical Model of the Tree-Ring Response to Monthly variations in climate. Laboratory of Tree-Ring. Research University of Arizona, Tucson, Arizona, U.S.A.
- García, E. 1978. Apuntes de Climatología. UNAM. México. 153 p.
- García, V., J. M., Pérez, A. Molina. 2003. Desastres Agrícolas en México, catalogo histórico. Tomo I. Fondo de cultura económica. México. 506 p.
- González E., M. 2003. Indicadores de cambio climático en algunas especies de pináceas de la Sierra Madre Occidental, México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 193 p.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Buletin 43: 69-78.
- INEGI. 1983. Síntesis Geográfica del estado de Coahuila. Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. D.F. 163 p.
- INEGI. 2000. Carta Topográfica Arteaga. G14 C34. Escala 1: 50, 000. México.
- INEGI. 2000. Carta Topográfica. General Cepeda G14 C33. Escala 1:50.000. México.
- INEGI. 2000. Carta Topográfica. Coahuila. G14 C43. Escala 1:50.000. México.
- Madrigal S., X. 1977. Características generales de la vegetación del estado de Durango, México. Ciencia Forestal 2(57):19-77.
- Magaña, V, J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrizosa y J. Pérez. 1999. El Niño y el Clima. En Magaña (*editor*). Los impactos del Niño en México. SEP-CONACYT. México, D. F. 23-68.
- Magaña, V. y C. Gay. 2005. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y su impacto social y económico. Instituto Nacional de Ecología. Coyoacán., Estado de México.

- Marroquín, S. J. y L. Arce. 1985. Las unidades Fisonómico - Florísticas del Cañón de San Lorenzo, Saltillo, Coahuila, México, Biota INIREB, Xalapa, Ver, México. 10:4:369-393.
- Meko, D. C., W. Stockton y W. R. Boggess. 1996. The tree-ring record of severe sustained drought. *Water Resource. Boletín* 31: 789-801
- Morey, P. P. 1977. Como crecen los árboles. Omega.
- 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, y G. Pederson, S.S. Bernal, L. S. Vázquez, J. Villanueva-Díaz y D. W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. *Tree-ring research*, Vol. 59(1): 11 – 19.
- Portes V., L. 1996. Análisis de cambios de uso de suelo en la Sierra de Zapalanamé, Municipios de Arteaga y Saltillo, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila. México. 106 p
- Reyes R. M. 2005. El agua en Coahuila. Conferencia de gobernadores fronterizos México-Estados Unidos mesa central del agua. Comisión estatal de aguas y saneamiento El Paso Texas.
- Robert, M.F. 1977. Notas sobre el estudio ecológico y fitogeográfico de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. En México. *Ciencia Forestal* 2 (10): 49-58.
- Robinson, W. J. y R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-ring bulletin* 40:59 – 64.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. LIMUSA. México. 432 p.
- Secretaría de desarrollo social. 1998. Programa de manejo de la zona sujeta a conservación ecológica “Sierra de Zapalinamé”.
- SEMARNAT. 1999. Especies con uso no maderable en bosque de encino, pino y pino- encino. [http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/ }](http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/ } Pinuscembroides.html)
[Pinuscembroides.html](http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/ } Pinuscembroides.html)
- Stahle, D. W., M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, y J. Villanueva. 1999. Tree-ring reconstruction of winter and summer precipitation in Durango, Mexico, for the past 600 years. 10th Conference of Global Change Studies. Preprint volume, American Meteorological Society, 79th Annual Meeting. January 10 – 15. Dallas, Texas.
- Stokes, M. A. y T. L. Smiley. 1968. An Introduction to Tree-Ring Dating. University of Chicago Press, Chicago.

- Therrell, M. D, D. W. Stahle, M. K. Cleaveland, y J. Villanueva. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107(D14): 6-1 – 6-8.
- Therrell M. D, D. W Stahle, J. Villanueva, E.H Cornejo, M.K Cleaveland. 2006. Tree-ring reconstructed maize yield in central México 1474-2001. *Climatic Change* 74: 493-504.
- Villanueva, D. J. y McPherson G. R. 1999. Estudio dendroclimáticos en montañas del sureste de Estados Unidos de América y norte de México. *Ciencia Forestal* 4(86):37- 62.
- Villanueva, D. J., J. Cerano P, D. W. Stahle., B. H Luckman. 2006. Reconstrucciones históricas de precipitación estacional en el noreste de México. INIFAP CENID-RASPA. Km 6.5 Margen derecho del canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango.

8 APENDICES

Apéndice 1. Variables del anillo total de la serie de crecimiento de *Pinus cembroides* Zucc. en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coah.

Variables	Valores
Series fechadas	67
Primer año	1595
Ultimo año	2004
Extensión (años)	410
Anillos medidos en total	9432
Anillos perdidos	76
Segmentos con posibles problemas	2
Intercorrelación	0.725
Sensibilidad media	0.409
Autocorrelación	0.637

Apéndice 2. Estadísticas descriptivas del programa Arstan de la cronología de *Pinus cembroides* Zucc. en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo Coah.

Parámetro	Valores
Media	0.9856
Sensibilidad media	0.3090
Desviación estándar	0.3009
Autocorrelación de primer orden	0.2646
Autocorrelación de segundo orden	0.0975
Error de la varianza	0.0044
Correlación entre muestras	0.462
Correlación entre árboles	0.459
Correlación dentro de los árboles	0.683
Correlación entre los radios con la media.	0.689
Relación señal-ruido	22.937
Media del intervalo común de la cronología	0.996
Desviación estándar del intervalo común	0.305
Periodo	1595-2004
Numero de años/ árboles/ muestras	410/48/67
Periodo común	1892-1996
Numero de años/ árboles/muestras	105/27/33

Apéndice 3. Cronologías de ancho de anillo en su versión estándar, residual y arstan, período 1595 a 2004, para *Pinus cembroides* Zucc. en el ejido Cuauhtémoc, del área natural protegida “La sierra Zapalinamé”, Saltillo, Coahuila.

Año	Cronología estándar	Cronología residual	Cronología arstan
1595	0.621		
1596	0.459		0.459
1597	0.597		0.597
1598	0.878	1.081	0.935
1599	0.485	0.732	0.685
1600	0.647	0.768	0.68
1601	0.759	0.859	0.752
1602	1.014	1.091	1.002
1603	0.759	0.784	0.766
1604	0.767	0.698	0.636
1605	1.157	1.165	1.052
1606	1.026	1.025	1.012
1607	0.951	0.851	0.858
1608	1.021	1.016	0.979
1609	0.945	0.939	0.923
1610	1.215	1.212	1.19
1611	1.206	1.145	1.19
1612	1.172	1.034	1.099
1613	1.031	0.896	0.936
1614	0.819	0.781	0.771
1615	0.415	0.461	0.396
1616	1.166	1.259	1.081
1617	0.947	1.001	0.979
1618	1.128	1.174	1.174
1619	1.311	1.323	1.367
1620	1.373	1.324	1.435
1621	1.333	1.178	1.32
1622	0.547	0.481	0.598
1623	0.977	0.999	0.915
1624	1.042	1.124	1.073
1625	0.751	0.848	0.862
1626	1.217	1.295	1.264
1627	1.378	1.426	1.486
1628	1.322	1.253	1.402
1629	0.828	0.796	0.938
1630	1.231	1.263	1.276
1631	0.722	0.691	0.76
1632	1.114	1.142	1.099
1633	0.771	0.739	0.748
1634	1.267	1.266	1.206
1635	1.464	1.403	1.44
1636	1.099	0.98	1.112
1637	1.462	1.41	1.471

1638	1.366	1.256	1.389
1639	1.053	0.834	0.972
1640	0.825	0.685	0.706
1641	0.667	0.682	0.602
1642	0.791	0.875	0.748
1643	0.79	0.854	0.758
1644	0.596	0.609	0.527
1645	0.769	0.843	0.7
1646	1.307	1.347	1.233
1647	1.128	1.061	1.101
1648	1.151	1.082	1.126
1649	1.293	1.23	1.27
1650	1.326	1.283	1.364
1651	1.384	1.324	1.44
1652	1.175	1.069	1.212
1653	0.752	0.677	0.765
1654	0.611	0.627	0.58
1655	1.126	1.215	1.086
1656	1.418	1.429	1.422
1657	1.095	1.015	1.134
1658	1.272	1.246	1.312
1659	1.037	0.953	1.046
1660	1.051	1.001	1.035
1661	1.17	1.157	1.17
1662	0.76	0.727	0.775
1663	0.815	0.836	0.789
1664	0.571	0.62	0.548
1665	0.887	0.977	0.842
1666	0.583	0.644	0.569
1667	0.681	0.784	0.658
1668	0.621	0.714	0.592
1669	0.805	0.92	0.787
1670	1.034	1.17	1.084
1671	1.552	1.567	1.574
1672	0.885	0.804	0.963
1673	1.142	1.12	1.151
1674	1.042	1.03	1.068
1675	1.045	0.986	1.015
1676	1.05	1.027	1.036
1677	0.977	0.992	1.003
1678	1.057	1.063	1.067
1679	0.739	0.735	0.753
1680	1.355	1.416	1.355
1681	1.271	1.296	1.372
1682	1.485	1.432	1.556
1683	1.189	1.03	1.205
1684	1.247	1.148	1.243
1685	1.065	0.942	1.021
1686	0.858	0.841	0.864

1687	0.973	1.004	0.969
1688	0.555	0.569	0.551
1689	0.77	0.834	0.713
1690	0.733	0.761	0.652
1691	0.76	0.782	0.669
1692	1.058	1.114	1.001
1693	0.968	0.963	0.94
1694	1.417	1.391	1.375
1695	1.259	1.203	1.298
1696	0.482	0.374	0.48
1697	1.115	1.176	1.059
1698	1.117	1.132	1.11
1699	1.171	1.122	1.156
1700	0.936	0.868	0.917
1701	1.097	1.055	1.044
1702	0.765	0.695	0.701
1703	0.802	0.845	0.769
1704	1.247	1.307	1.224
1705	0.572	0.601	0.644
1706	1.364	1.422	1.344
1707	1.385	1.379	1.445
1708	1.114	1.001	1.144
1709	0.539	0.509	0.579
1710	1.285	1.352	1.251
1711	0.931	0.895	0.931
1712	1.187	1.207	1.207
1713	0.508	0.479	0.529
1714	1.182	1.256	1.146
1715	0.61	0.603	0.608
1716	0.515	0.568	0.474
1717	0.885	0.981	0.812
1718	1.076	1.113	1.025
1719	1.518	1.511	1.504
1720	0.762	0.684	0.82
1721	1.496	1.482	1.471
1722	0.949	0.856	0.968
1723	1.342	1.316	1.341
1724	0.829	0.766	0.854
1725	0.935	0.937	0.923
1726	1.412	1.439	1.408
1727	1.216	1.136	1.239
1728	1.161	1.094	1.187
1729	0.708	0.66	0.727
1730	0.497	0.546	0.487
1731	0.778	0.899	0.743
1732	1.057	1.142	1.037
1733	0.549	0.541	0.533
1734	1.352	1.44	1.318
1735	1.315	1.239	1.29

1736	0.362	0.268	0.368
1737	1.172	1.29	1.143
1738	0.777	0.739	0.731
1739	0.53	0.589	0.528
1740	0.791	0.925	0.78
1741	0.917	0.981	0.889
1742	0.76	0.79	0.745
1743	1.006	1.05	0.974
1744	1.469	1.454	1.429
1745	1.966	1.874	1.987
1746	1.429	1.153	1.447
1747	1.867	1.699	1.889
1748	0.818	0.619	0.888
1749	0.553	0.522	0.557
1750	0.538	0.651	0.525
1751	0.875	1	0.842
1752	0.94	0.999	0.922
1753	0.945	0.965	0.933
1754	0.622	0.625	0.602
1755	1.005	1.069	0.958
1756	1.225	1.225	1.186
1757	1.112	1.066	1.112
1758	0.983	0.917	0.96
1759	1.078	1.064	1.062
1760	1.255	1.222	1.236
1761	0.838	0.766	0.833
1762	0.736	0.75	0.723
1763	0.395	0.453	0.367
1764	0.613	0.763	0.575
1765	0.812	0.886	0.728
1766	1.452	1.503	1.4
1767	1.111	1.057	1.143
1768	1.35	1.276	1.343
1769	1.531	1.44	1.542
1770	1.905	1.723	1.892
1771	1.356	1.138	1.415
1772	0.906	0.754	0.928
1773	1.408	1.408	1.419
1774	0.941	0.866	0.972
1775	0.819	0.812	0.835
1776	1.167	1.201	1.155
1777	1.583	1.569	1.599
1778	0.8	0.654	0.825
1779	0.869	0.87	0.866
1780	0.924	0.96	0.912
1781	1.146	1.174	1.141
1782	0.58	0.56	0.591
1783	1.807	1.866	1.767
1784	1.163	1.034	1.208

1785	0.627	0.547	0.657
1786	0.627	0.681	0.605
1787	0.578	0.696	0.566
1788	1.029	1.145	1.001
1789	0.331	0.375	0.344
1790	0.655	0.811	0.636
1791	1.132	1.262	1.118
1792	1.378	1.383	1.388
1793	1.113	1.02	1.132
1794	0.508	0.466	0.529
1795	1.416	1.499	1.384
1796	1.102	1.064	1.132
1797	0.57	0.551	0.614
1798	0.844	0.905	0.812
1799	1.226	1.32	1.243
1800	1.095	1.117	1.168
1801	0.906	0.857	0.919
1802	1.118	1.109	1.1
1803	1.05	1.038	1.058
1804	1.381	1.324	1.346
1805	0.927	0.837	0.933
1806	1.246	1.194	1.201
1807	0.58	0.537	0.585
1808	0.793	0.861	0.765
1809	0.989	1.064	0.972
1810	0.946	0.979	0.955
1811	0.876	0.895	0.881
1812	0.864	0.898	0.863
1813	1.328	1.395	1.35
1814	1.58	1.514	1.597
1815	1.463	1.303	1.487
1816	1.51	1.355	1.528
1817	0.764	0.608	0.784
1818	1.064	1.027	1.008
1819	0.601	0.617	0.604
1820	0.923	1.006	0.901
1821	0.956	0.988	0.933
1822	0.717	0.731	0.706
1823	0.706	0.76	0.677
1824	1.311	1.4	1.293
1825	1.358	1.331	1.386
1826	0.794	0.68	0.804
1827	1.044	1.04	1.016
1828	0.429	0.399	0.389
1829	1.195	1.314	1.152
1830	0.601	0.63	0.627
1831	0.82	0.888	0.799
1832	1.05	1.129	1.049
1833	1.174	1.19	1.189

1834	1.14	1.067	1.121
1835	0.896	0.852	0.898
1836	1.172	1.148	1.129
1837	1.085	1.035	1.062
1838	0.538	0.505	0.531
1839	1.208	1.323	1.203
1840	1.027	1.004	1.024
1841	1.154	1.13	1.151
1842	1.126	1.097	1.139
1843	1.248	1.204	1.252
1844	1.687	1.584	1.662
1845	1.467	1.254	1.448
1846	1.368	1.207	1.374
1847	1.036	0.878	1.009
1848	1.277	1.195	1.224
1849	0.783	0.669	0.729
1850	0.887	0.849	0.793
1851	0.733	0.775	0.7
1852	1.064	1.137	1.042
1853	0.943	0.954	0.944
1854	0.857	0.863	0.851
1855	0.931	0.976	0.932
1856	1.046	1.08	1.051
1857	0.817	0.814	0.823
1858	1.105	1.115	1.072
1859	0.992	1.013	1.02
1860	0.937	0.935	0.945
1861	0.926	0.936	0.923
1862	0.589	0.614	0.589
1863	0.474	0.591	0.476
1864	0.706	0.89	0.721
1865	0.971	1.107	0.995
1866	1.001	1.021	1
1867	0.863	0.851	0.851
1868	0.824	0.848	0.808
1869	1.291	1.328	1.266
1870	1.057	1.024	1.081
1871	0.788	0.762	0.802
1872	0.672	0.72	0.674
1873	0.902	1.023	0.922
1874	1.062	1.14	1.096
1875	0.849	0.846	0.865
1876	1.215	1.238	1.209
1877	1.179	1.141	1.186
1878	0.902	0.822	0.886
1879	0.841	0.821	0.804
1880	0.798	0.828	0.768
1881	1.029	1.1	1.024
1882	1.008	0.996	0.985

1883	1.11	1.101	1.099
1884	0.827	0.797	0.822
1885	1.461	1.486	1.445
1886	0.986	0.861	0.967
1887	0.958	0.898	0.921
1888	1.41	1.417	1.393
1889	1.489	1.389	1.488
1890	0.934	0.761	0.919
1891	0.876	0.845	0.859
1892	0.703	0.764	0.721
1893	0.834	0.931	0.846
1894	0.746	0.822	0.761
1895	1.179	1.279	1.204
1896	0.928	0.862	0.899
1897	1.348	1.346	1.334
1898	0.873	0.765	0.847
1899	0.833	0.848	0.831
1900	1.166	1.22	1.165
1901	1.083	1.051	1.083
1902	0.821	0.778	0.812
1903	1.306	1.356	1.312
1904	0.787	0.719	0.788
1905	1.152	1.19	1.156
1906	1.465	1.442	1.468
1907	1.144	0.978	1.113
1908	1.21	1.117	1.181
1909	0.839	0.76	0.816
1910	1.007	1.028	0.992
1911	0.961	0.969	0.954
1912	1.288	1.29	1.277
1913	1.564	1.469	1.539
1914	1.317	1.126	1.289
1915	1.049	0.917	1.033
1916	0.659	0.627	0.656
1917	0.219	0.335	0.246
1918	0.525	0.806	0.58
1919	0.953	1.171	1.005
1920	0.844	0.917	0.888
1921	0.681	0.738	0.708
1922	0.623	0.752	0.667
1923	0.677	0.832	0.722
1924	1.016	1.164	1.066
1925	0.976	1.005	1.002
1926	1.505	1.509	1.515
1927	0.913	0.768	0.905
1928	0.886	0.877	0.889
1929	0.351	0.42	0.383
1930	0.844	1.063	0.891
1931	1.365	1.492	1.419

1932	0.765	0.673	0.776
1933	1.003	1.047	1.018
1934	1.321	1.353	1.342
1935	1.349	1.23	1.322
1936	1.497	1.338	1.449
1937	1.277	1.089	1.232
1938	1.239	1.107	1.201
1939	1.263	1.17	1.24
1940	1.105	1.01	1.088
1941	1.357	1.322	1.362
1942	1.109	0.955	1.057
1943	0.737	0.661	0.702
1944	0.844	0.911	0.836
1945	0.773	0.838	0.772
1946	0.887	0.954	0.882
1947	0.854	0.909	0.862
1948	0.913	0.973	0.927
1949	1.103	1.139	1.109
1950	0.962	0.975	0.999
1951	0.584	0.596	0.604
1952	0.819	0.97	0.865
1953	0.308	0.432	0.368
1954	0.866	1.115	0.937
1955	0.655	0.741	0.679
1956	0.573	0.701	0.611
1957	0.518	0.686	0.56
1958	1.085	1.287	1.142
1959	1.56	1.564	1.57
1960	0.701	0.535	0.697
1961	0.908	0.954	0.914
1962	0.729	0.788	0.744
1963	0.923	1.002	0.927
1964	1.073	1.134	1.096
1965	0.938	0.916	0.936
1966	1.435	1.432	1.422
1967	0.855	0.739	0.847
1968	1.251	1.242	1.232
1969	1.343	1.293	1.344
1970	1.522	1.369	1.477
1971	1.08	0.903	1.055
1972	1.486	1.411	1.46
1973	1.053	0.906	1.032
1974	0.939	0.877	0.919
1975	0.598	0.613	0.594
1976	1.061	1.191	1.077
1977	1.848	1.873	1.864
1978	1.116	0.857	1.092
1979	1.107	0.993	1.079
1980	0.714	0.669	0.697

1981	1.521	1.586	1.512
1982	0.873	0.752	0.866
1983	1.131	1.103	1.105
1984	1.019	0.975	0.993
1985	0.849	0.812	0.818
1986	1.068	1.107	1.058
1987	1.459	1.441	1.443
1988	0.914	0.766	0.888
1989	1.045	1.008	1.01
1990	1.353	1.352	1.346
1991	0.835	0.685	0.778
1992	1.598	1.596	1.562
1993	1.211	1.048	1.182
1994	1.042	0.921	1.009
1995	0.842	0.816	0.832
1996	0.576	0.622	0.578
1997	1.288	1.438	1.314
1998	0.424	0.381	0.434
1999	0.584	0.713	0.585
2000	0.595	0.791	0.64
2001	0.63	0.813	0.687
2002	0.686	0.864	0.755
2003	1.024	1.175	1.087
2004	1.248	1.245	1.25

Apéndice 4. Precipitación promedio mensual regional, para el periodo 1941 a 2001 su correlación con la cronología y el promedio para cada mes.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1941	14.4	18.9	14.2	28.9	17.5	61.2	53.6	70.0	56.1	30.4	21.9	17.3
1942	1.5	5.7	5.8	0.2	16.3	58.3	102.7	40.1	51.2	71.7	0.5	0.0
1943	20.0	0.6	5.0	6.6	25.8	36.1	36.2	15.9	39.7	11.9	10.5	53.5
1944	12.5	13.1	18.7	0.0	10.2	23.2	24.4	113.9	22.3	2.1	9.9	21.7
1945	16.1	18.4	5.3	1.6	12.6	35.6	45.7	10.3	33.0	12.3	0.0	4.0
1946	7.8	3.9	0.7	60.8	14.9	27.1	8.3	39.2	17.7	18.8	32.3	14.5
1947	25.3	1.1	0.0	7.4	12.2	34.0	34.4	52.5	30.0	17.2	13.4	17.3
1948	6.5	13.6	4.5	18.2	24.0	53.7	65.3	44.2	142.1	44.3	3.4	0.8
1949	1.4	2.9	1.2	11.1	10.7	52.3	63.3	60.1	43.8	35.9	0.0	15.2
1950	1.8	0.1	29.2	11.5	34.9	16.1	76.6	50.7	41.0	29.7	0.5	0.3
1951	0.0	0.0	29.9	7.4	16.9	20.2	29.7	31.9	100.7	86.0	20.9	3.1
1952	0.0	0.0	0.5	17.5	6.3	121.6	47.3	15.1	5.7	0.0	3.3	1.2
1953	0.0	11.5	8.0	4.9	2.8	23.0	56.0	60.1	11.3	51.0	1.2	34.6
1954	2.9	4.7	0.2	30.2	19.7	19.1	40.9	42.3	16.1	18.0	1.7	1.0
1955	3.0	3.3	0.6	0.7	47.4	10.5	92.1	98.7	24.2	3.5	17.9	0.0
1956	0.0	0.0	0.0	18.8	12.7	34.5	42.2	32.8	15.0	6.3	15.5	11.4
1957	0.5	27.0	7.7	8.6	30.1	14.5	27.1	31.4	38.8	11.8	14.3	5.3
1958	10.3	11.4	5.8	10.7	13.2	86.9	31.0	50.0	144.1	112.0	26.5	16.2
1959	9.2	73.1	1.3	18.3	81.5	29.5	90.3	90.9	63.7	92.7	12.5	3.7
1960	8.3	13.5	0.7	13.2	4.2	13.8	62.5	137.3	21.4	47.3	13.2	31.3
1961	15.2	5.0	11.8	4.1	17.3	78.5	86.2	54.7	33.8	3.3	4.8	0.0
1962	10.2	7.2	3.7	6.5	14.8	42.7	27.7	36.5	26.7	15.8	10.7	17.7
1963	1.5	1.2	3.3	5.0	33.2	55.1	18.3	35.0	106.0	24.3	19.0	22.7
1964	19.3	4.5	13.0	3.2	39.7	54.0	32.3	40.3	92.5	11.3	32.8	16.5

1965	7.2	12.7	1.3	19.7	24.8	83.2	70.2	46.7	78.3	25.0	26.5	30.7
1966	29.5	8.3	6.8	22.1	38.1	33.3	69.8	94.3	78.4	32.7	5.5	12.5
1967	15.5	22.6	39.5	26.0	3.5	36.5	66.3	89.5	123.5	58.7	1.7	3.2
1968	18.5	15.7	14.2	19.2	22.0	18.4	53.7	54.0	67.8	14.0	11.3	5.3
1969	5.0	4.0	2.1	2.7	7.2	60.0	87.3	53.5	22.2	6.8	34.7	33.2
1970	22.5	27.8	1.0	0.2	10.7	77.5	67.8	44.8	64.5	3.3	0.0	0.0
1971	9.6	4.2	0.5	12.3	34.3	110.3	72.0	127.3	79.7	62.3	0.3	9.2
1972	3.3	2.0	8.9	28.8	57.3	60.7	116.7	71.3	32.8	19.2	5.8	2.5
1973	12.8	26.2	0.0	4.7	24.5	66.3	70.8	119.6	107.3	32.5	2.2	5.0
1974	2.5	0.0	18.7	6.2	8.2	5.7	33.2	63.5	61.0	18.7	9.7	12.5
1975	5.2	31.2	0.0	0.5	28.5	115.9	93.6	103.0	92.2	11.0	0.2	34.2
1976	9.8	0.2	4.0	126.2	103.3	73.3	132.2	102.7	320.2	46.5	94.4	129.5
1977	23.2	1.7	1.0	35.7	58.8	114.3	181.5	209.8	83.3	29.7	3.0	0.2
1978	9.2	21.0	0.5	54.7	57.2	60.9	320.7	268.8	440.0	24.7	1.9	9.2
1979	12.1	12.8	13.8	12.5	22.1	67.0	184.7	172.8	171.3	13.6	5.4	42.1
1980	21.4	27.5	2.5	9.2	12.0	8.2	46.1	40.5	43.5	47.5	21.0	10.2
1981	72.4	19.8	11.8	70.9	96.2	64.1	41.2	39.3	44.3	47.5	0.0	2.5
1982	0.1	9.6	3.4	51.0	62.1	15.9	66.0	64.8	46.9	48.6	37.6	11.2
1983	20.0	12.9	9.3	0.0	85.4	25.5	62.5	102.5	100.4	14.3	11.5	2.9
1984	62.0	26.6	1.8	16.6	38.9	24.1	77.4	45.6	45.0	22.7	3.6	14.0
1985	32.5	15.1	3.5	61.6	47.6	41.9	34.6	25.1	38.4	36.3	10.5	13.8
1986	17.2	4.9	2.9	33.6	32.7	106.4	80.2	45.4	104.7	64.5	16.3	44.4
1987	49.3	38.9	1.0	30.3	57.1	52.2	85.8	70.4	74.3	2.0	8.5	24.0
1988	26.3	4.7	8.7	42.6	17.0	55.3	120.2	118.4	107.6	6.9	1.9	1.0
1989	6.4	1.1	0.0	5.4	18.7	27.5	47.9	71.9	44.6	24.6	39.6	70.2
1990	13.8	34.5	17.0	16.8	70.5	68.4	125.9	68.4	87.1	35.0	2.3	0.0
1991	3.9	31.9	1.9	3.5	37.5	42.5	124.7	67.1	71.6	17.6	0.9	81.0
1992	155.0	42.0	6.6	16.6	124.7	41.1	50.6	63.1	61.4	10.3	28.8	18.1

1993	7.3	13.4	10.5	6.0	17.6	109.7	49.5	75.5	70.4	27.9	12.0	9.9
1994	12.2	0.1	16.8	14.2	52.1	72.0	46.0	58.0	34.2	39.2	4.2	32.0
1995	13.8	4.2	2.2	3.4	31.3	32.9	53.3	102.0	55.9	12.7	6.0	28.1
1996	4.0	3.6	3.1	2.1	28.6	64.2	52.8	43.4	50.0	8.7	8.2	10.9
1997	15.8	15.4	59.6	53.1	50.0	68.4	88.3	39.9	69.5	49.8	47.8	18.8
1998	0.1	7.2	2.1	4.4	7.5	60.9	38.0	90.0	57.3	35.9	6.4	3.7
1999	0.0	0.0	2.5	4.0	2.3	90.9	57.9	34.5	28.3	31.9	0.0	2.5
2000	0.0	2.9	8.0	0.6	47.7	63.3	27.9	87.1	17.0	40.5	19.5	14.3
2001	0.0	45.0	57.0	35.0	41.0	48.0	115.0	121.0	128.0	30.0	28.0	15.3
CORRELA	0.47	0.27	0.00	0.26	0.50	0.26	0.32	0.22	0.17	0.06	0.04	-0.07
PROMED	14.9	13.0	8.4	18.8	32.7	51.9	70.6	71.3	71.8	29.7	13.2	17.5

CORRELA = Correlación entre la cronología y los datos de precipitación para cada mes, en el periodo común 1941-2001
 PROMED = Promedio mensual total, para el periodo común 1941-2001.

Apéndices 5. Obtención de la precipitación total enero a julio, en el periodo 1941 a 2001.

Año	E	F	M	A	M	J	J	Precipitación total
1941	14.4	18.9	14.2	28.9	17.5	61.2	53.6	208.57
1942	1.5	5.7	5.8	0.2	16.3	58.3	102.7	190.35
1943	20.0	0.6	5.0	6.6	25.8	36.1	36.2	130.20
1944	12.5	13.1	18.7	0.0	10.2	23.2	24.4	101.90
1945	16.1	18.4	5.3	1.6	12.6	35.6	45.7	135.18
1946	7.8	3.9	0.7	60.8	14.9	27.1	8.3	123.35
1947	25.3	1.1	0.0	7.4	12.2	34.0	34.4	114.25
1948	6.5	13.6	4.5	18.2	24.0	53.7	65.3	185.60
1949	1.4	2.9	1.2	11.1	10.7	52.3	63.3	142.77
1950	1.8	0.1	29.2	11.5	34.9	16.1	76.6	170.23
1951	0.0	0.0	29.9	7.4	16.9	20.2	29.7	104.07
1952	0.0	0.0	0.5	17.5	6.3	121.6	47.3	193.12
1953	0.0	11.5	8.0	4.9	2.8	23.0	56.0	106.23
1954	2.9	4.7	0.2	30.2	19.7	19.1	40.9	117.67
1955	3.0	3.3	0.6	0.7	47.4	10.5	92.1	157.47
1956	0.0	0.0	0.0	18.8	12.7	34.5	42.2	108.13
1957	0.5	27.0	7.7	8.6	30.1	14.5	27.1	115.53
1958	10.3	11.4	5.8	10.7	13.2	86.9	31.0	169.37
1959	9.2	73.1	1.3	18.3	81.5	29.5	90.3	303.20
1960	8.3	13.5	0.7	13.2	4.2	13.8	62.5	116.23
1961	15.2	5.0	11.8	4.1	17.3	78.5	86.2	218.10
1962	10.2	7.2	3.7	6.5	14.8	42.7	27.7	112.67
1963	1.5	1.2	3.3	5.0	33.2	55.1	18.3	117.60
1964	19.3	4.5	13.0	3.2	39.7	54.0	32.3	166.02
1965	7.2	12.7	1.3	19.7	24.8	83.2	70.2	219.00
1966	29.5	8.3	6.8	22.1	38.1	33.3	69.8	207.83
1967	15.5	22.6	39.5	26.0	3.5	36.5	66.3	209.92
1968	18.5	15.7	14.2	19.2	22.0	18.4	53.7	161.60
1969	5.0	4.0	2.1	2.7	7.2	60.0	87.3	168.25
1970	22.5	27.8	1.0	0.2	10.7	77.5	67.8	207.50
1971	9.6	4.2	0.5	12.3	34.3	110.3	72.0	243.27
1972	3.3	2.0	8.9	28.8	57.3	60.7	116.7	277.77
1973	12.8	26.2	0.0	4.7	24.5	66.3	70.8	205.30
1974	2.5	0.0	18.7	6.2	8.2	5.7	33.2	74.33
1975	5.2	31.2	0.0	0.5	28.5	115.9	93.6	274.87
1976	9.8	0.2	4.0	126.2	103.3	73.3	132.2	449.03
1977	23.2	1.7	1.0	35.7	58.8	114.3	181.5	416.13
1978	9.2	21.0	0.5	54.7	57.2	60.9	320.7	524.07
1979	12.1	12.8	13.8	12.5	22.1	67.0	184.7	325.02
1980	21.4	27.5	2.5	9.2	12.0	8.2	46.1	126.93
1981	72.4	19.8	11.8	70.9	96.2	64.1	41.2	376.36
1982	0.1	9.6	3.4	51.0	62.1	15.9	66.0	208.02

1983	20.0	12.9	9.3	0.0	85.4	25.5	62.5	215.65
1984	62.0	26.6	1.8	16.6	38.9	24.1	77.4	247.47
1985	32.5	15.1	3.5	61.6	47.6	41.9	34.6	236.79
1986	17.2	4.9	2.9	33.6	32.7	106.4	80.2	277.87
1987	49.3	38.9	1.0	30.3	57.1	52.2	85.8	314.57
1988	26.3	4.7	8.7	42.6	17.0	55.3	120.2	274.79
1989	6.4	1.1	0.0	5.4	18.7	27.5	47.9	107.15
1990	13.8	34.5	17.0	16.8	70.5	68.4	125.9	346.79
1991	3.9	31.9	1.9	3.5	37.5	42.5	124.7	245.93
1992	155.0	42.0	6.6	16.6	124.7	41.1	50.6	436.57
1993	7.3	13.4	10.5	6.0	17.6	109.7	49.5	214.03
1994	12.2	0.1	16.8	14.2	52.1	72.0	46.0	213.30
1995	13.8	4.2	2.2	3.4	31.3	32.9	53.3	140.99
1996	4.0	3.6	3.1	2.1	28.6	64.2	52.8	158.32
1997	15.8	15.4	59.6	53.1	50.0	68.4	88.3	350.59
1998	0.1	7.2	2.1	4.4	7.5	60.9	38.0	120.15
1999	0.0	0.0	2.5	4.0	2.3	90.9	57.9	157.67
2000	0.0	2.9	8.0	0.6	47.7	63.3	27.9	150.33
2001	0.0	45.0	57.0	35.0	41.0	48.0	115.0	341.00

Cuadro 2. Correlación mensual entre los índices de ancho de anillo y las ocho estaciones seleccionadas para el período de registro de cada estación climática.

Estación	Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Arteaga Coah.	1941 -1979	0.520	0.102	-0.137	0.127	0.400	0.282	0.332	0.336	0.133	0.339	0.017	-0.060
Gral. Cepeda Coah.	1949 -1998	0.425	0.140	0.041	0.174	0.193	0.187	0.099	-0.016	0.277	-0.056	0.047	-0.055
Gómez Farías	1979 -1998	0.646	0.362	0.254	0.348	0.675	0.346	0.047	0.034	0.321	0.126	0.331	-0.189
San J. de la V.	1980 -1998	0.568	0.348	0.061	0.027	-0.199	0.185	0.362	-0.044	0.109	0.007	0.138	-0.027
Huachichil	1980 -1998	0.573	0.406	0.392	0.343	0.622	0.218	0.196	-0.055	0.398	-0.006	0.143	-0.074
El Tunal	1982 -1998	0.551	0.497	0.449	0.255	0.694	0.213	0.165	-0.014	-0.337	0.114	0.047	-0.005
Saltillo Coah.	1941- 2000	0.447	0.254	0.105	0.388	0.386	0.089	0.144	0.068	0.165	-0.084	0.062	-0.112
San A de las A.	1994 -2001	0.834	0.138	0.580	0.015	0.759	0.220	0.519	-0.511	0.257	0.340	0.522	0.000

San J. de la V. = San Juan de la Vaquería; San A.. de las A. = San Antonio de las Alazanas