



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS



**VARIABILIDAD CLIMÁTICA, REGIMENES DE INCENDIOS E
INFLUENCIA DE PATRONES CIRCULATORIOS PARA EL
SUROESTE DE CHIHUAHUA**

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

PRESENTA:

JULIÁN CERANO PAREDES

Bermejillo, Dgo. Abril de 2008



VARIABILIDAD CLIMÁTICA, REGIMENES DE INCENDIOS E INFLUENCIA DE PATRONES CIRCULATORIOS PARA EL SUROESTE DE CHIHUAHUA

Tesis realizada por **Julián Cerano Paredes** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO

AMBIENTE EN ZONAS ARIDAS

CO-DIRECTOR: _____

Ph. D. Jesús G. Arreola Ávila

CO-DIRECTOR: _____

Ph. D. José Villanueva Díaz

ASESOR: _____

Ph. D. Ignacio Sánchez Cohen

ASESOR: _____

Dr. Ricardo Valdez Cepeda

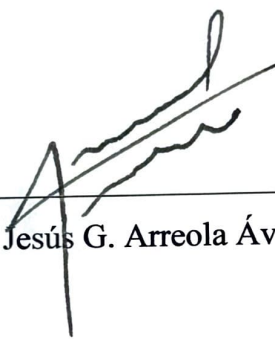
ASESOR: _____

M.C. Gabriel García Herrera

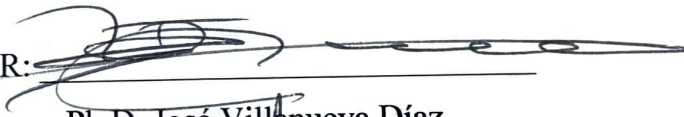
VARIABILIDAD CLIMÁTICA, REGIMENES DE INCENDIOS E INFLUENCIA DE PATRONES CIRCULATORIOS PARA EL SUROESTE DE CHIHUAHUA

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Julián Cerano Paredes** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas estuvo constituido por:

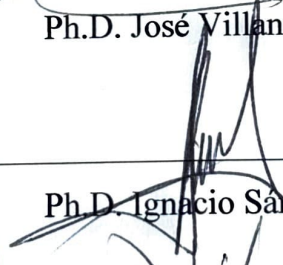
CO-DIRECTOR:


Ph. D. Jesús G. Arreola Ávila

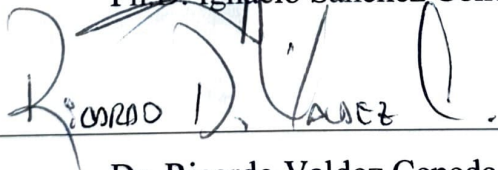
CO-DIRECTOR:


Ph.D. José Villanueva Díaz

ASESOR:


Ph.D. Ignacio Sánchez Cohen

ASESOR:


Dr. Ricardo Valdez Cepeda

ASESOR:


Dr. Gabriel García Herrera

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento otorgado a través de fondos del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI), proyecto CRN # 2047 (Documentación, Entendimiento y Proyección de los Cambios en el Ciclo Hidrológico en la Cordillera Americana), a su vez financiado por el US/Nacional Science Foundation (Grant GEO-0452325).

DEDICATORIA

*Con profundo amor a mi esposa **Rosalinda Cervantes Martínez** por su paciencia y constante apoyo en todo momento.*

*A mis gemelos **Rafael y Julián Cerano Cervantes** por ser el motivo y la fuerza que me impulsa a superarme cada día, los amo.*

*Con amor, cariño, respeto y admiración a mis padres **Rafael Cerano Vázquez y Maria Elena Paredes Gallegos** por su cariño, comprensión y apoyo incondicional en cada momento.*

*A la memoria de mis padres (Abuelitos) **Benigno Cerano † y Maria de Jesús Vázquez †** por sus consejos e inmenso amor.*

*A mis hermanos **Gabriel, Estela y Rafael** por que a pesar de la distancia siempre he recibido apoyo y cariño.*

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada a Dios por darme la Fuerza y la capacidad para culminar una nueva etapa en mi vida.

A la Universidad Autónoma Chapingo en especial a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas por brindarme la oportunidad de cumplir con esta nueva meta en mi formación profesional.

*Al **Ph.D. José Villanueva Díaz:** por su excelente asesoría, orientación y un incondicional apoyo en la planeación y desarrollo del presente trabajo y por ser una de las personas que han contribuido en gran medida a mi crecimiento profesional.*

*Al **Ph.D. Jesús Guadalupe Arreola Ávila:** por su asesoría y constante apoyo para las salidas de trabajo y capacitación que contribuyeron a una mejor presentación y más rápida culminación del presente trabajo de investigación.*

*Al **Ph.D. Ignacio Sánchez Cohen:** por su asesoría y valiosas aportaciones para que la investigación culminara con una mejor estructura y calidad.*

*Al **Dr. Ricardo Valdez Cepeda:** por su asesoría y la buena disponibilidad que siempre mostró para el desarrollo de los análisis del presente trabajo.*

*Al **M.C. Gabriel García Herrera:** por su asesoría e importantes observaciones al trabajo.*

*Al **Dr. Guillermo Gonzáles Cervantes:** con afecto, por su constante motivación a superarme profesionalmente y por ser un gran amigo.*

*A **Pascual Gallegos Ayala:** por su gran apoyo en el trabajo de campo y más que los familiares por la amistad que nos une.*

*A las pocas pero muy valiosas personas que colaboran en el Laboratorio Nacional de Dendrocronología, por su buena disposición y constante apoyo para que esta investigación se concluyera, gracias **M.C. Luís Enrique Montes** e **Ing. Vicenta Constante García.***

*A **Margarita Ávila:** por el valioso apoyo brindado durante mi estancia en el posgrado y principalmente por la amistad que me brinda.*

A todos mis compañeros y amigos de posgrado, muy en especial al Ing. Heriberto y al Ing. Oscar por la amistad que nos une y que espero sea para siempre.

RESUMEN

VARIABILIDAD CLIMÁTICA, REGIMENES DE INCENDIOS E INFLUENCIA DE PATRONES CIRCULATORIOS PARA EL SUROESTE DE CHIHUAHUA

Series de tiempo de madera temprana, tardía y anillo total de *Pseudotsuga menziesii* se desarrollaron para el sitio “Cerro El Mohinora”, Guadalupe y Calvo, Chihuahua. Las series dendrocronológicas se extendieron para el período 1657 a 2005 y se utilizaron para analizar la variabilidad hidroclimática de la zona. La serie de índice de ancho de anillo se calibró y verificó con datos observados de la estación climática de Guadalupe y Calvo, Chihuahua, y se generó un modelo lineal bivariado, estadísticamente significativo para reconstruir la variabilidad climática del suroeste de Chihuahua. La reconstrucción mostró la presencia de sequías de alta intensidad que afectaron esta región para los períodos 1698-1718, 1798-1807, 1890-1908 y 1994 a la fecha. Sequías menos intensas y de mayor duración se presentaron en las décadas de 1650, 1750, 1850 y 1950, es decir, cada 100 años. La variabilidad climática observada en esta reconstrucción permitió relacionar la presencia de incendios con eventos húmedos y secos y el impacto de patrones atmosféricos de circulación general. Para la reconstrucción de incendios, el sitio se dividió en dos secciones; parte alta y baja, donde se obtuvieron secciones transversales con cicatrices de incendios de *Pinus duranguensis*, *Pinus arizonica* y *Pinus ayacahuite*. Se fecharon 73 secciones transversales con un total de 277 cicatrices de incendios. Para la parte alta, se logró reconstruir el régimen del fuego de 1700 a 2005,

donde los años con mayor incidencia de incendios fueron 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902. Para la parte baja, el historial del fuego se reconstruyó para el periodo de 1900 a 2005, donde los años con incendios más severos ocurrieron en 1995, 1988, 1985, 1971 y 1945. Tanto la parte alta como baja del área de estudio registraron incendios en los años de 1945, 1971 y 1995 y constituyen los incendios más intensos y extensos reconstruidos en este estudio. En general, se determinó que en el área estudiada existe una relación estrecha entre la presencia de sequías y ocurrencia de incendios para los últimos 200 años, situación también asociada con eventos ENSO.

Palabras Clave: Índices Dendrocronológicos, Régimen de Incendios, Reconstrucción Hidroclimática, ENSO.

SUMMARY

CLIMATE VARIABILITY, FIRE REGIME AND INFLUENCE OF ATMOSPHERIC CIRCULATORY PATTERNS FOR SOUTHWESTERN CHIHUAHUA

Tree-ring series of earlywood, latewood, and total ring width were developed from *Pseudotsuga menziesii* for the “Cerro El Mohinora”, Guadalupe y Calvo, Chihuahua site. The tree-ring series extended for the period 1657 to 2005 and were used to analyze hydroclimatic variability for the region. The ring-width series was calibrated and verified with climatic data from the Guadalupe y Calvo weather station. A significant bivariate linear regression model was derived and used to reconstruct hydroclimatic variability for southwestern Chihuahua. The precipitation reconstruction detected the presence of high intensity droughts for the periods 1698-1718, 1798-1807, 1890-1908, and 1994 to date. Less intensive but most prolonged droughts were detected in the 1650s, 1750s, 1850s, and 1950s, by the mid of each century. The observed climatic variability in this reconstruction defined a significant relationship between fires and wet and dry episodes, and the influence of atmospheric circulatory patterns. For fire reconstruction purposes the area was divided into two sections, upper and lower elevation sites, and 73 cross-sections of *Pinus duranguensis*, *Pinus arizonica*, and *Pinus ayacahuite* with fire scars were collected. In total, 277 fire scars were dated. The fire reconstruction for the upper elevation extended back in time for the 1700 to 2005 period, where intensive fire years took place in 1971, 1945, 1922, 1904, and 1902. For the lower

elevation site the reconstructed fire extended from 1900 to 2005. Intensive fire years were recorded in 1995, 1988, 1985, 1971, and 1945. Upper and lower elevation sites were affected by fires in 1945, 1971, and 1995. Those fire years were the most severe and extensive for this site. It was found a very close relationship between fire occurrence and droughts for the last 200 years, and also affected by the ENSO phenomena.

Keywords: Dendrochronological indices, fire regime, hydroclimate reconstructions, ENSO.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.1.1 Objetivos Específicos	6
1.2 HIPÓTESIS	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 Indicadores Paleoclimáticos	8
2.2 Dendrocronología	8
2.3 Dendroclimatología	9
2.4 Antecedentes de la Dendrocronología	9
2.5 Principios de la Dendrocronología	11
2.6 Problemas para el Fechado	12
2.6.1 Anillos perdidos o ausentes	12
2.6.2 Anillos dobles o falsos	14
2.7 Sensibilidad en el crecimiento del árbol	15
2.7.1 Sensibilidad en el crecimiento anual	15
2.7.2 Falta de Sensibilidad en el crecimiento anual	16
2.8 Reconstrucción de precipitación	17
2.9 Reconstrucción del régimen de incendios	19
2.9.1 El fuego como un factor ecológico	19
2.9.2 Importancia del fuego en los ecosistemas	19
2.9.3 Efectos del fuego sobre los ecosistemas	20
2.9.3.1 Efectos positivos	20
2.9.3.2 Efectos negativos	21
2.9.4 Regimenes de incendios	21
2.9.5 Estudio de los regimenes de incendios	22
2.9.6 Frecuencia de incendios	24
2.9.7 Estudios de reconstrucción de incendios en México	26
2.10 El Niño Oscilación del Sur	27
2.11 Influencia del ENOS en la incidencia de incendios	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Localización del área de estudio	31
3.2 Selección de las áreas de trabajo	32

3.3 Diseño de muestreo	34
3.4 Reconstrucción de la variabilidad climática	34
3.4.1 Método de campo	34
3.4.1.1 Características del arbolado muestreado	34
3.4.1.2 Registro de información del sitio	35
3.4.1.3 Toma de núcleos de crecimiento o virutas y secciones transversales de árboles	36
3.4.2 Métodos de laboratorio	38
3.4.2.1 Preparación y fechado de muestras	38
3.4.2.2 Medición de anillos, crecimientos anuales	44
3.4.3 Análisis de datos	45
3.4.3.1 Control de calidad de los datos	45
3.4.3.2 Generación de cronologías	47
3.4.3.3 Desarrollo del modelo climático	48
3.4.3.4 Análisis histórico	51
3.5 Reconstrucción del régimen histórico de incendios	51
3.5.1 Método de campo	51
3.5.1.1 Características del arbolado muestreado	51
3.5.1.2 Tomas de muestras	51
3.5.2 Métodos de laboratorio	53
3.5.3 Análisis de datos	56
3.5.3.1 Relación del clima y frecuencia de incendios	58
3.6 Análisis del Niño Oscilación del Sur en el suroeste de Chihuahua	59
3.6.1 Análisis de datos	59
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1 Reconstrucción de la variabilidad climática para el suroeste de Chihuahua	61
4.1.1 Función de respuesta	61
4.1.2 Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera	63
4.1.2.1 Calibración y Verificación	64
4.1.2.2 Análisis de la variabilidad climática	67
4.2 Reconstrucción de los regimenes históricos de incendios	72

4.3 Relación entre el clima y ocurrencia de incendios en el suroeste de Chihuahua	78
4.4 Análisis de Sobreposición de Época	86
4.5 Influencia del ENSO en el crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en el suroeste de Chihuahua	90
 VI. CONCLUSIONES	 97
 VII. RECOMENDACIONES	 100
 VIII. LITERATURA CITADA	 102
 ANEXO S	 113

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Modelo lineal generado para la reconstrucción estacional de precipitación invierno-primavera	65
Cuadro 2. Análisis de varianza del modelo de reconstrucción	65
Cuadro 3. Intervalos de recurrencia de incendios para dos sitios de estudio en bosques mixtos de pino en Cerro Mohinora, Chihuahua. El 10% indica que los estadísticos corresponden a las cicatrices de incendio registradas en el diez por ciento ó más de las muestras. El 25% corresponde a las cicatrices registradas en el veinticinco por ciento o más de las muestras. Estos filtros nos permiten observar los incendios que fueron más extensos e intensos en comparación con aquellos incendios que registran solo una cicatriz en pocos árboles, que indica un incendio que cubrió poca superficie y muy probable fue un incendio de baja intensidad	75
Cuadro 4. Estacionalidad de incendios para dos sitios de bosque mixto de pino en la reserva “Cerro Mohinora”, Chihuahua	76
Cuadro 5. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de anillo total de <i>Pseudotsuga menziesii</i> , Cerro Mohinora, Chihuahua	113
Cuadro 6. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de madera temprana de <i>Pseudotsuga menziesii</i> , Cerro Mohinora, Chihuahua	115
Cuadro 7. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de madera tardía de <i>Pseudotsuga menziesii</i> , Cerro Mohinora, Chihuahua	117

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Anillo perdido, esta sección de madera muestra anillos de crecimiento pequeño “Microanillos” y posteriormente un claro ejemplo de cómo en una sección transversal de un árbol se pueden presentar problemas de anillos perdidos 13
- Figura 2.** Anillo doble o falso anillo, indica una banda falsa, se aprecia la combinación de ambas porciones de madera, no existe un cambio claro entre madera temprana y madera tardía 14
- Figura 3.** Diferentes modelos de crecimiento, uno sensible (a) y otro no sensible (b) a las condiciones ambientales 16
- Figura 4.** Formación de las cicatrices de incendios en la parte basal de los tallos de árboles de pino. Cuando el fuego quema la corteza y parte del cambium (a), en la parte quemada del tronco se inhibe el crecimiento del árbol y se forma una cicatriz (b); la incidencia de nuevos incendios formara nuevas cicatrices, localizadas en la sección transversal del tallo de árboles afectados por el fuego (c). La lectura de los anillos de crecimiento anuales y las cicatrices de fuego (indicadas por las flechas), permite datar los incendios y analizar su frecuencia histórica 24
- Figura 5.** Regiones del Pacífico Ecuatorial cuyas anomalías de temperatura del agua superficial del mar se utilizan como índices para determinar la intensidad del Niño 28
- Figura 6.** Anomalías de la temperatura de la superficie del mar (°C) en agosto de 1997 29
- Figura 7.** Condición de la salud de la vegetación durante Mayo de 1997 y 1998 30
- Figura 8.** Localización geográfica del sitio de muestreo en el suroeste del estado de Chihuahua 31
- Figura 9.** a) Posición en que la barrena va cortando la madera e indica la forma en que se ubican los anillos de crecimiento. b) Obtención de una muestra o viruta con el taladro de Pressler en el sitio de estudio 37

- Figura 10.** a) Preparación y montado de núcleos de crecimiento, etapa básica para el inicio de análisis dendrocronológico de la muestra y b) muestras pulidas y preparadas para el conteo de crecimiento en microscopio **39**
- Figura 11.** Sección transversal sujeta a diferentes grados de lijado, que muestra con claridad la presencia de microanillos y anillos perdidos, dos problemas principales en el dateo exacto de crecimientos anuales **40**
- Figura 12.** Sistema de conteo, representación de micro anillos y anillos ausentes **40**
- Figura 13.** Dos secciones de incrementos que muestran patrones comunes de crecimiento, donde se observa la presencia de bandas angostas (microanillos) y anillos ausentes o perdidos **41**
- Figura 14.** Grafico de crecimiento (Skeleton plot), modelo de crecimiento plasmado en papel lo cual permite la comparación simultanea de varios individuos para determinar similitud de patrones de crecimiento **43**
- Figura 15.** Fechado cruzado o empalme. Gráficos de crecimiento de diferentes individuos permiten generar un grafico maestro **44**
- Figura 16.** Ubicación del sitio de muestreo “Cerro Mohinora y la estación climática cuyos datos se utilizaron para los análisis **49**
- Figura 17.** Colecta de secciones parciales con cicatrices de incendios de un árbol muerto en pie localizado en la parte alta del Cerro El Mohinora, Gpe y Calvo, Chihuahua **52**
- Figura 18.** Muestra con cicatrices de incendios después del proceso de pulido. (Foto tomada por Julián Cerano Paredes) **53**
- Figura 19.** Esquema del fechado cruzado, principio de la Dendrocronología (Stoke y Smiley, 1968) **54**

Figura 20. Categorización de la época de ocurrencia de incendios (Grissino-Mayer, 2001) 56

Figura 21. Función de Respuesta entre el índices de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* en la Reserva Cerro Mohinora, Chihuahua, y los registros de precipitación para el período 1961-1985 de la estación climática Guadalupe y Calvo, Chih. La Función de Respuesta incluye 14 meses de precipitación de Julio del año previo a Agosto del año en curso que comprende la estación de crecimiento. Tres elementos adicionales son asociados con el índice de crecimiento en 1, 2 y 3 años previos. Un coeficiente positivo indica una directa relación de las variables clima o crecimiento previo con el ancho del anillo, y un coeficiente negativo indica una relación inversa. Las líneas verticales indican un nivel de significancia del $p < 0.95$. 62

Figura 22. Asociación entre el índice de madera temprana y precipitación estacional observada Enero-Junio, periodo 1966-1985 63

Figura 23. Gráfico de dispersión del modelo de regresión lineal que muestra la variabilidad de la cronología de madera temprana con la precipitación total de enero-junio, período 1966-1985 64

Figura 24. Calibración entre precipitación actual (línea negra) y precipitación reconstruida invierno-primavera (línea roja) para el período estacional Enero-Junio 66

Figura 25. Precipitación estacional reconstruida para los últimos 350 años en la reserva ecológica Cerro El Mohinora, Chihuahua 67

Figura 26. Profundidad de la muestra en los sitios de estudio y para el total de las muestras consideradas en el estudio 72

Figura 27. Reconstrucción de la frecuencia de incendios para los últimos 300 años en la parte alta de la reserva Cerro Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan la extensión de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior 73

- Figura 28.** Reconstrucción de los regimenes históricos de incendios para los últimos 100 años en la parte baja de Cerro El Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan el periodo de tiempo de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior **74**
- Figura 29.** Relación entre la variabilidad del clima (a) y la ocurrencia de incendios (b) para los últimos 300 años en la parte alta de Cerro Mohinora, Chihuahua **79**
- Figura 30.** Relación entre la variabilidad de precipitación (a) y la ocurrencia de incendios (b) en los últimos 250 años para la parte baja de Cerro Mohinora, Chihuahua **80**
- Figura 31.** Análisis de clima e incendios mediante Análisis de Sobreposición de Época para la parte alta en Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones de humedad en un año previó al incendio y secas durante el incendio **87**
- Figura 32.** Análisis de clima e incendios mediante Análisis de Sobreposición de Época para la parte baja en Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones secas durante el incendio y ligeramente húmedas antes del incendio **88**
- Figura 33.** Serie de tiempo generada con ejemplares de *Pseudotsuga menziesii* del Suroeste del Estado Chihuahua y la influencia en los crecimientos anuales (índice de ancho de anillo) de eventos El Niño **91**
- Figura 34a.** Series de tiempo de índices de madera temprana y los Índices de Oscilación del Sur a nivel anual y sus espectros potenciales de ondeleta **93**
- Figura 34b.** Coherencia de ondeleta cruzada entre los índices de la serie de tiempo madera temprana y los índices del ENSO a nivel anual **93**
- Figura 35a.** Series de tiempo índices de anillo total y los Índices de Oscilación del Sur a nivel anual y sus espectros potenciales de ondeleta **95**
- Figura 35b.** Coherencia de ondeleta cruzada entre los índices de de la serie de tiempo anillo total y los índices del ENSO a nivel anual **95**

I. INTRODUCCIÓN

El clima es el tiempo que se espera ocurra en el período de un mes, una estación, una década o un siglo; el clima se define como las condiciones de tiempo resultantes de la media del estado del sistema atmósfera-océano-tierra, a menudo descritas como "normales climáticas" o condiciones promedio del tiempo. La variabilidad climática es una desviación del tiempo promedio esperado. El cambio climático global es una modificación que es atribuida directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica, agregada a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo (EEI, 1997).

Actualmente, existe consenso científico de que el clima global se verá alterado significativamente, en el próximo siglo, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (Houghton *et al.*, 1990, 1992). Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que provoquen un aumento de la temperatura planetaria entre 1.5 y 4.5 °C en los próximos 100 años. Como respuesta a esto, se estima que los patrones de precipitación global, también se alteren. Aunque existe consenso en este aspecto, hay una gran incertidumbre con respecto a la magnitud y tasas de estos cambios a escalas regionales (EEI, 1997).

La Paleoclimatología es el estudio del clima del pasado, particularmente el que existió antes de que los humanos comenzaran a tomar registros instrumentales del

tiempo (temperatura de un termómetro, precipitación de un pluviómetro, etc). Si hay algo irrefutable es que el clima del planeta está siempre cambiando.

La variabilidad climática, incluyendo los cambios en la frecuencia de los eventos extremos (tales como sequías, inundaciones y tormentas) siempre ha tenido un gran impacto en las actividades humanas. Un evento El Niño particularmente severo, o una sequía relativamente corta, le pueden costar a los ciudadanos grandes pérdidas económicas. Por esta razón, los científicos estudian la variabilidad climática del pasado en diversas escalas de tiempo para encontrar indicios que ayuden a la sociedad a planificar en relación con los futuros cambios climáticos.

Los registros del clima procedentes de satélites y de mediciones hechas por el hombre cubren por lo general menos de 150 años para Estados Unidos de América y menos de 80 años para México. Estos registros son muy cortos para examinar el rango completo de la variabilidad climática natural. Por ello, es importante examinar el cambio climático considerando cientos o miles de años en el pasado y empleando para ello registros paleoclimáticos procedentes de fuentes “Proxy”, también conocidos como métodos indirectos (NOAA, 2000).

Los registros “proxy” son sistemas naturales que dependen del clima, que estuvieron presentes en el pasado y que aún existen, por lo que se puede derivar información paleoclimática de ellos; estos registros contienen una señal climática que permite conocer el clima del pasado. Entre los principales registros “proxy” se encuentran: archivos históricos, sedimentos lacustres y marinos, depósitos de polen,

arrecifes coralinos, núcleos de hielo, depósitos de roedores del género *Neotoma* y anillos de árboles (Bradley, 1999).

Entre las fuentes “proxy” de alta resolución, los anillos de los árboles son los de mayor confiabilidad. Los anillos de los árboles constituyen series continuas, exactamente datadas y con un nivel de resolución anual, que normalmente se extienden por varios cientos y en algunos casos por algunos milenios. Las series de ancho de anillos pueden ser modeladas para reconstruir con gran precisión, las variaciones anuales o estacionales de la temperatura, la precipitación y la presión atmosférica, entre otras variables, durante los últimos cientos o miles de años. Estas reconstrucciones de las variaciones climáticas pasadas pueden ser desarrolladas para una localidad en particular, o para toda una región, si se dispone de una red de cronologías de anillos de árboles que cubran un área extensa (Fritts, 1976).

Se han elaborado diversos modelos como los modelos de circulación general ó modelos climáticos globales (General Circulation Models, o Global Climate Models, GCMs, por sus siglas en ingles), para examinar los posibles cambios provocados por la emisión antropogénica de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Pero debido a que el cambio climático no se ha dado de la misma forma en todas las regiones del mundo, resulta importante conocer qué es lo que está pasando en cada una de las regiones en específico, lo que servirá para realizar ajustes más finos a los modelos (Díaz, 2002). Las reconstrucciones paleoclimáticas basadas en anillos de crecimiento, permiten conocer la variabilidad climática a escala regional con una excelente resolución anual.

Los bosques templados de la Sierra Madre Occidental (SMO) tienen en su composición coníferas como *Pseudotsuga menziesii* con excelente potencial dendrocronológico, especie cuyo desarrollo de madera temprana y tardía está influenciado por las condiciones dominantes de precipitación de invierno y de verano, que a su vez son modulados por patrones atmosféricos de circulación global (Stahle *et al.*, 1998).

La precipitación invernal en el norte de México y suroeste de los Estados Unidos de América está ligada significativamente con índices de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) (Ropelewski y Harper, 1989; Stahle *et al.* 1998, Magaña *et al.* 1999). Esta relación se registra de manera clara y significativa en los anillos de crecimiento y específicamente en la porción de madera temprana de especies arbóreas como Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*), que se desarrolla en los macizos montañosos de la SMO en los estados de Chihuahua y Durango (Cleaveland *et al.* 1992; Villanueva *et al.* 2005).

El Monzón de Norte América (MNA) que afecta la precipitación de verano, se define como el total de la lluvia en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, con un área de influencia a lo largo de la parte oeste de la SMO en el noroeste de México (Douglas *et al.*, 1993; Higgins *et al.*, 1999; Gochis *et al.*, 2004).

La reserva Cerro El Mohinora por su ubicación en la SMO al suroeste del estado de Chihuahua es un área ecológica cuyas condiciones climáticas son moduladas por la influencia tanto del ENSO como del MNA; por tal motivo, resulta importante conocer el

grado de influencia de ambos fenómenos en la variabilidad climática regional y en el comportamiento de los regímenes históricos del fuego.

Los estudios de reconstrucción de la variabilidad hidroclimática han sido poco desarrollados para el estado de Chihuahua (Villanueva-Díaz y McPherson 1999; Díaz et al. 2002; Villanueva-Díaz et al. 2006) y en menor proporción para el suroeste del estado. Los estudios de reconstrucción de la frecuencia y comportamiento histórico de incendios e impacto ecológico del fuego son aún más limitados para la región (Fulé et al. 2005).

La reserva Cerro El Mohinora, presenta ecosistemas de bosques mixtos con especies de excelente potencial para estudios dendroclimáticos como es el caso de *Pseudotsuga menziesii*, una de las especies más sensibles que registra claramente los cambios climáticos y por ende posee alto potencial para desarrollar estudios paleoclimáticos (Stahle et al. 1998). Así mismo, presenta rodales de especies de pinos como *Pinus durangensis*, *Pinus arizonica* y *Pinus ayacahuite*, que dependen de los incendios de origen natural para su estabilidad ecológica; por lo que representan sitios ideales para estudios de reconstrucción de regímenes de frecuencia de incendios.

Los cambios en los patrones de temperatura y precipitación son fenómenos de importancia mundial debido a los efectos que está ocasionando. A consecuencia de cambios en los patrones de temperatura, se ha observado una prolongación de la estación de crecimiento en regiones con primavera y otoño templados; reducción de la producción en sitios con verano ya cálido, incremento de tasas de evapotranspiración y aumento de probabilidades de sequías severas de gran importancia. Los cambios en los

patrones de precipitación están afectando las tasas de erosión y humedad del suelo, ambos importantes en rendimiento de cultivos. Por lo anterior es importante determinar como ocurren estas variaciones a escala regional; información vital para un mejor entendimiento y modelación del cambio climático a escala general.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Mediante estudios dendroclimáticos y dendroecológicos determinar la relación existente entre la variabilidad hidroclimática histórica de los últimos 350 años y el comportamiento histórico de los incendios para los pasados 300 años en un bosque mixto para el suroeste del estado de Chihuahua; así como, analizar la influencia de patrones atmosféricos de circulación global (ENSO y MNA), en el comportamiento histórico del clima.

1.1.1 Objetivos Específicos

- 1) Desarrollar una reconstrucción de precipitación estacional con series de tiempo dendrocronológicas para el suroeste de Chihuahua.
- 2) Reconstruir regimenes históricos de frecuencia de incendios para el sitio Cerro El Mohinora, Chihuahua.

- 3) Definir la relación histórica clima-incendios.
- 4) Analizar la influencia de patrones circulatorios atmosféricos como el ENSO y MNA en la variabilidad climática, incendios e impacto en los ecosistemas.

1.2 HIPÓTESIS

- a) La variabilidad climática de baja frecuencia para la región suroeste de estado de Chihuahua, no está relacionada directamente con la presencia de fenómenos atmosféricos de circulación global MNA y ENSO.
- b) La variabilidad climática natural no ha influido en el comportamiento histórico de los incendios de origen natural para los pasados tres siglos, en el ecosistema de bosque mixto de la reserva “Cerro Mohinora” Chihuahua.
- c) Los eventos intensos de El Niño Oscilación del Sur no tienen una influencia positiva en la presencia de incendios de mayor intensidad en la época seca del año.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Indicadores paleoclimáticos

Los registros del clima provenientes de satélites y de mediciones hechas por el hombre (por medio de termómetros, pluviómetros, etc.) cubren por lo general menos de 100 años. Estos registros son demasiado cortos para examinar el rango completo de la variabilidad climática. Existen diferentes fuentes, registros o proxy's naturales que registran dicha variación en el tiempo tales como: anillos de árboles, capas de hielo, polen fósil, sedimentos marinos, corales y documentos históricos. Al analizar los registros tomados de éstas y de otras fuentes paleoclimáticas, se puede extender el conocimiento de la variación del clima mucho más allá de los registros climáticos instrumentales (Bradley, 1999).

2.2 Dendrocronología

La palabra dendrocronología proviene del griego: *dendros* que significa árbol, *cronos* tiempo y *logos* conocimiento. La dendrocronología es el conocimiento o estudio de la edad de los árboles. Si se considera a cada árbol como un instrumento capaz de registrar todos los fenómenos que ocurren en el medio que lo rodea, la dendrocronología no es otra cosa que la ciencia que interpreta, o “lee” ese registro ambiental (Dendrocronología, 2002).

En las regiones templadas donde hay una marcada estación de crecimiento, los árboles generalmente producen un anillo anual de crecimiento, que registra las condiciones climáticas imperantes de ese año. De esta forma se pueden presentar patrones en el ancho, densidad y composición isotópica de sus anillos, que refleja las variaciones climáticas. Así, con el análisis dendroclimatológico es posible fechar con seguridad años individuales y se puede obtener un registro continuo de más de mil años de duración con información paleoclimática de alta frecuencia (Fritts, 1976).

2.3 Dendroclimatología

La dendrocronología se define como el estudio de los anillos de crecimiento arbóreo para fechar eventos pasados del clima y analizar sus fluctuaciones de alta y baja frecuencia (Stokes y Smiley, 1996).

2.4 Antecedentes de la Dendrocronología

Las primeras observaciones que relacionaron el ancho de los anillos de los crecimientos de los árboles con el clima datan del siglo XV, y fue el propio Leonardo da Vinci quien reconoció la correlación entre las precipitaciones y los anillos anuales (Dendrocronología, 2002).

En el año 1901, Andrew E. Douglas, conocido como “El Padre” de la dendrocronología, observó que los anillos expuestos en un tronco cortado de un pino en Flangstaff, Arizona EUA, exhibían variaciones en el ancho, se preguntaba si los árboles

de Arizona eran influenciados más por la humedad disponible que por la competencia dentro del rodal y si la cantidad de humedad tenía un efecto de correlación sobre el ancho de los anillos. Douglas razonó que si dicha relación fuera verdadera, los años secos deberían registrarse como anillos delgados y entonces podría usarse el ancho de los crecimientos anuales como una prueba para un registro de largo alcance del clima en el tiempo. No fue hasta 1911 que Douglas reconoció el verdadero significado de sus observaciones.

De esta manera estableció el “cofechado”, un procedimiento que podía ser aplicado en áreas donde el crecimiento de un anillo se ve con frecuencia limitado por variables climáticas. Determinó dos importantes implicaciones de su descubrimiento: La primera, que el cofechado podría ser usado como una herramienta cronológica para identificar el año exacto en que se desarrollaron los anillos de crecimiento, a través de definir un patrón de anillos anchos y delgados. Para lograr lo anterior, se requiere que el año de formación del último anillo sea conocido y que las variaciones relativas del grosor de los anillos sean observadas en muchos árboles. Los modelos de crecimiento de anillos anchos y delgados en sí, representan un registro de las condiciones ambientales sobre una región determinada.

La segunda implicación de su descubrimiento fue que la variación observada en el grosor de ciertos anillos de crecimiento, se puede atribuir a condiciones microclimáticas del hábitat del arbolado, aunque la variación presente en todos los árboles pudiera ser producto del efecto regional del clima (Fritts, 1976).

2.5 Principios de la dendrocronología

La dendrocronología se fundamenta en el hecho de que en muchos árboles, el crecimiento anual de los anillos es visible en una sección transversal, donde se exhiben diferencias en su grosor; sin embargo, se deben tener presentes cuatro condiciones, para que estos crecimientos sean de utilidad en el fechado de una muestra (Stokes y Smiley, 1996).

1. Los árboles deben presentar un anillo para cada estación de crecimiento. No se pueden usar especies que produzcan más de un anillo anual durante la estación de crecimiento.
2. Aunque el crecimiento estacional total es el resultado de muchos factores interrelacionados, entre ellos genéticos y medioambientales, solo un factor medioambiental debe dominar y limitar el crecimiento. En el suroeste de Estados Unidos y norte de México, ese factor limitante es la precipitación.
3. El crecimiento que se propicia por el factor limitante, debe variar de intensidad de un año a otro, y los anillos anuales resultantes deben reflejar tal variación en su anchura de crecimiento.
4. La variable ambiental limitante debe ser uniforme sobre un área geográfica extensa.

2.6 Problemas para el fechado

2.6.1 Anillos perdidos o ausentes

Una complicación que a veces se presenta durante el proceso de fechado cruzado es ausencia de un anillo anual en el árbol donde la muestra fue tomada. Un anillo es equiparable a un cono largo y delgado. El espesor de este cono no es uniforme a lo largo y ancho del tallo, por consiguiente, las anchuras relativas de los anillos a probar de cualquier lugar variarán ligeramente. Los problemas se presentan, sin embargo, cuando los anillos se encuentran cerca de otros desarrollados en años muy secos.

Un anillo anual se forma durante cada estación de crecimiento, pero en años en que el crecimiento es muy pequeño, este anillo no puede hacerse presente en la totalidad del ancho del cono (Figura 1). Durante ciertos años, el crecimiento del árbol probablemente ocurra solo en ciertos puntos de tensión, como es el lado de la pendiente de un tronco o en un punto cercano y bajo las ramas. En un muestreo con fines dendrocronológicos, estas son las áreas del árbol que se evita utilizar; por lo que lo recomendable utilizar secciones transversales para detectar este tipo de problemas.

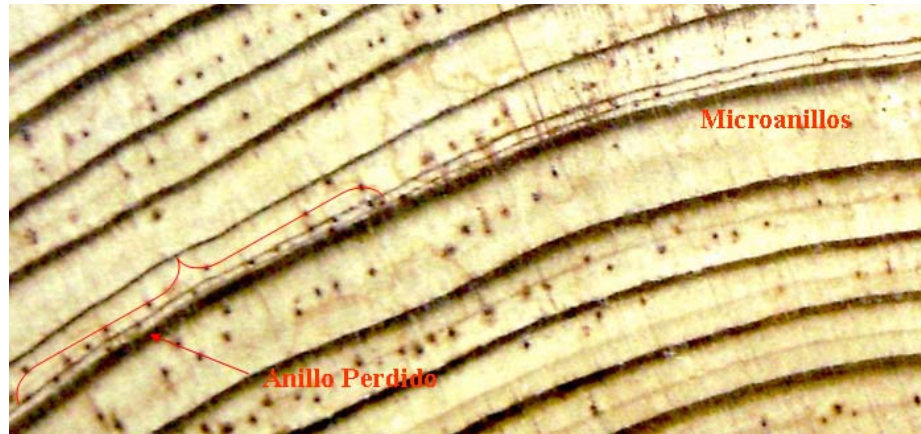


Figura 1. Anillo perdido, esta sección de madera muestra anillos de crecimiento pequeño “Microanillos” y posteriormente un claro ejemplo de cómo en una sección transversal de un árbol se pueden presentar problemas de anillos perdidos.

Los anillos “perdidos” pueden descubrirse fácilmente durante el proceso de fechado cruzado de varios individuos. Para este caso, los gráficos de núcleos de crecimiento se emparejan o enciman anillo por anillo; si un crecimiento está perdido en una de las muestras, el conteo de los anillos estará desfasado un año, a menos que en la corrección del gráfico se haya insertando un “anillo” en el lugar apropiado de la secuencia de crecimientos (Stokes y Smiley, 1968).

Un punto interesante a considerar es la importancia de localizar los anillos ausentes, pero de igual manera se tiene que tener presente que no todos los anillos perdidos en todas las muestras se pueden fechar o reconstruir, existen muestras que debido a un fuerte daño o disturbio presentan graves problemas en su crecimiento que hacen imposible su fechado (Sheppard, 2002).

2.6.2 Anillos dobles o falsos

Otra anomalía que se presenta en el proceso de fechado de un núcleo de crecimiento o sección transversal es la ocurrencia ocasional de “anillos falsos”, o “anillos dobles” (Figura 2). Hay varias maneras posibles de descubrir anillos falsos.

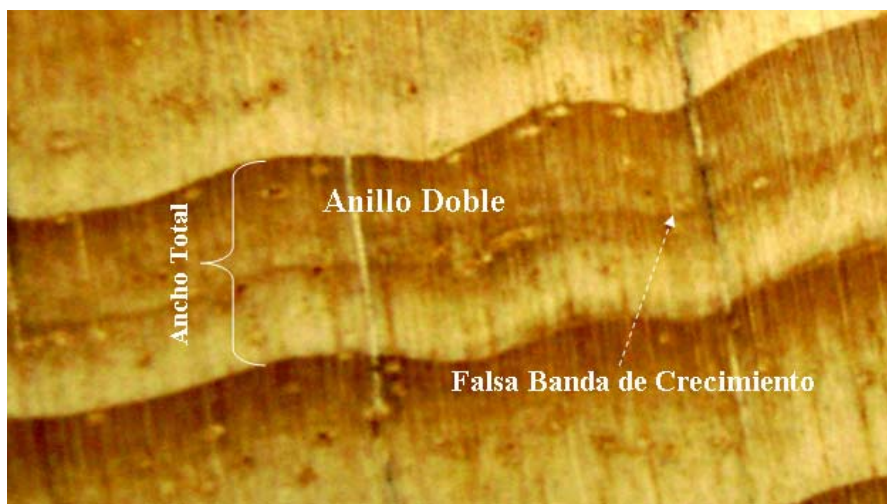


Figura 2. Anillo doble o falso anillo, indica una banda falsa, se aprecia la combinación de ambas porciones de madera, no existe un cambio claro entre madera temprana y madera tardía.

Frecuentemente, la madera tardía, última porción de crecimiento en formarse en un anillo falso no se delinea claramente. En esta situación, la madera tardía se mezcla gradualmente con la madera temprana, que generalmente es de color más claro. Esta combinación gradual en el borde exterior de un anillo falso, como contraste con el cambio abrupto de la madera tardía en anillos normales, es la mayor característica distinguible de anillos falsos y la cual es fácil de detectar con una lente de mano en una superficie bien preparada.

Si una sección transversal está disponible, un anillo que presente este problema puede observarse alrededor de la circunferencia entera. Si la madera tardía es de circunferencia discontinua, es un anillo falso. Con amplificación algo más alta, otros detalles de diagnóstico se pueden notar. A veces, la madera temprana de células delgadas puede verse completamente a través de la madera tardía falsa.

En muestras con conductos de resina, se puede observar que la madera tardía falsa, termina en un conducto, mientras que la verdadera madera tardía, rodea el conducto que lo incorpora a la estructura del anillo anual. Cuando estos métodos de identificación fallan, a veces pueden descubrirse anillos falsos cuando las muestras del mismo sitio son traslapadas y fechadas anillo por anillo (Stokes y Smiley, 1968).

2.7 Sensibilidad en el crecimiento del árbol

2.7.1 Sensibilidad en el crecimiento anual

Se define como el grado de la variación anual en el grosor de los anillos de crecimiento. El factor que causa esta variación en el norte-centro de México y suroeste de los EUA es la precipitación, cuya inconsistencia en términos de cantidad determina la variación interanual. Los árboles que muestran alta variación en su crecimiento radial son los más idóneos con fines dendrocronológicos (Figura 3a) (Sheppard, 2002).

2.7.2 Falta de Sensibilidad en el crecimiento anual

Se define como el grado limitado de variación anual. En este sentido, el ancho de los anillos es similar por varios años consecutivos, producto de una precipitación muy semejante año con año. El empleo de núcleos de crecimiento de árboles complacientes puede dificultar el fechado. Este tipo de muestras son poco útiles para fines dendrocronológicos (Figura 3b) (Sheppard, 2002).

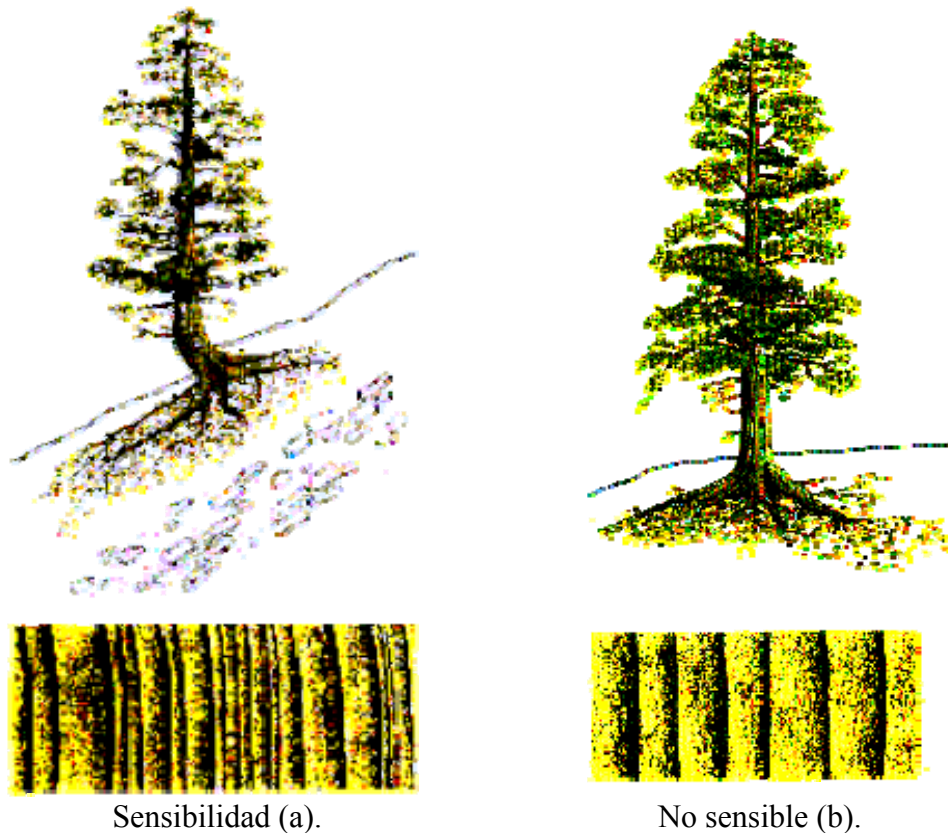


Figura 3. Diferentes modelos de crecimiento, uno sensible (a) y otro no sensible (b) a las condiciones ambientales. Fuente: (Stokes y Smiley, 1996).

Una inspección de anillos bajo un microscopio con alta resolución puede proporcionar una idea más clara de la influencia del clima en el crecimiento de especies con potencial dendrocronológico. El árbol con mayor sensibilidad climática se ve limitado por factores ambientales; mientras que el árbol más sensible exhibirá variación en anchura de sus anillos de crecimiento. El dendrocronólogo se refiere a esta variabilidad en anchura del anillo como sensibilidad y a la falta de variabilidad de anchura como no sensible o complaciente. Tales fluctuaciones en grosor de los anillos pueden ser estimadas cualitativamente por inspección visual o mediante la medición de su anchura y expresarse como sensibilidad media, estadístico que expresa las diferencias relativas en anchura entre anillos adyacentes (Fritts, 1976).

2.8 Reconstrucciones de precipitación

Las primeras cronologías de anillos de árboles desarrolladas para México se realizaron en el periodo de 1940 a 1950 (Schulman, 1944, 1956). Scott (1966) con núcleos de crecimientos procedentes de vigas encontradas en ruinas arqueológicas de Casas Grandes, Chihuahua, generó una cronología de 485 (851 a 1336 A.D.). Posteriormente, Stokes y Taylor en la década de 1970 desarrollaron 20 nuevas cronologías de anillos de árboles.

Recientemente se han generado nuevas cronologías de anillos de árboles para la Sierra Madre Occidental y Oriental. Con estas series se han producido reconstrucciones de precipitación que muestran la presencia de eventos extremadamente secos en el norte de México para los periodos de 1540 a 1579, de 1751 a 1765, de 1798 a 1810, de

1850 a 1860 y de 1950 a 1965. La peor sequía aun detectada ocurrió en el período de 1540 a 1579 (Cleaveland *et al.*, 2003).

Los valores reconstruidos indican que la sequía para la década de 1950 fue la más severa en el siglo XX, pero fue igualada y superada en severidad por la sequías prolongadas de las décadas de 1850 y 1860 (Stahle *et al.*, 1999).

Para la Sierra Madre Oriental se desarrollaron reconstrucciones de precipitación para los pasados 600 años, reconstruyendo extensas sequías para Saltillo y Nuevo León, en los períodos de 1855-1870 y décadas de 1950, 1970 y 1990 (Pohl *et al.*, 2003; Cerano, 2004; Villanueva *et al.*, 2007).

Therrel *et al.*, (2002) con el uso de cronologías de árboles de las regiones centro y norte de México, definió el inicio del período de lluvias en estas regiones y su relación con el monzón mexicano.

Las cronologías de anillos de árboles en México son particularmente sensibles a la precipitación y aquellas derivadas de la región norte, registran la influencia de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) y del Monzón. Una red de cronologías de anillos de *Pseudotsuga menziesii* algunas de ellas con más de 600 años de longitud, se ha desarrollado en sitios de la Sierra Madre Occidental y Oriental (Stahle *et al.*, 1998; Villanueva *et al.*, 2003, 2007).

Actualmente la red de cronologías de *Pseudotsuga menziesii* para México se ha incrementado, ya que en los últimos años se ha logrado desarrollar nuevas cronologías con una extensión de más de 500 años (Villanueva *et al.*, 2003; 2006; 2007).

2.9 Reconstrucción del régimen de incendios

2.9.1 El fuego como un factor ecológico

Los incendios forestales son uno de los principales factores de perturbación en los bosques del mundo y de México, por lo cual el entendimiento del papel ecológico del fuego en la dinámica de los ecosistemas forestales, constituye un elemento fundamental para el diseño de prácticas de manejo apropiadas, tanto para la conservación biológica como para el manejo forestal sustentable y es sin duda un tema controversial (Vélez, 2000; Jardel y Alvarado, 2003; Jardel *et al.*, 2004).

2.9.2 Importancia del fuego en los ecosistemas

Los incendios forestales dentro de los bosques de pino juegan un papel muy importante, ya que estos ecosistemas presentan una gran resistencia y una amplia capacidad de recuperación después de la exposición al fuego, de manera que, un cambio en la frecuencia de incendios puede modificar la estructura del ecosistema (Agee, 1998).

El fuego en estos ecosistemas ha sido un factor evolutivo para varias especies de pino, las cuales presentan algunas adaptaciones a este factor que les proporcionan ventajas en cuanto a competencia, tales como cortezas gruesas que sirven como

protección del cambium vascular ante los incendios, la autopoda de las ramas inferiores, lo cual reduce la continuidad vertical del combustible, un estadio cespitoso de las plántulas que les permite resistir a incendios superficiales, la producción de conos serotinos que se abren con el calor o incluso capacidad de producir rebrotes después de un incendio; una característica poco común en los bosques de coníferas que presentan especies como *Pinus canariensis* C. Smith, *Pinus. echinata* Miller, *P. oocarpa* y *Pinus hartwegii* (Keeley y Zedler 1998; Rodríguez *et al.*, 2004).

2.9.3 Efectos del fuego sobre los ecosistemas

El fuego tiene varios efectos sobre los ecosistemas forestales, que según el tipo de incendio, el ecosistema afectado y las condiciones en que ocurre pueden considerarse tanto positivos como negativos (Rodríguez, 1996; Ruiz, 2000; Jardel *et al.*, 2005).

2.9.3.1 Efectos positivos

Entre los efectos positivos se encuentra la reducción de cargas de combustibles y en consecuencia del peligro de incendios severos; la movilización de nutrientes, la creación de condiciones de hábitat favorable para muchas especies de plantas y animales, y la eliminación de árboles suprimidos, enfermos o plagados (Fulé y Covington, 1997).

2.9.3.2 Efectos negativos

Entre algunos efectos negativos se tiene la mortalidad del renuevo, daño a la madera de los árboles, reducción de la cobertura vegetal y exposición del suelo a la erosión; alteración de la calidad del agua por el arrastre de cenizas y sedimentos, reducción temporal de la disponibilidad de alimento para la fauna silvestre y el ganado, modificación de las condiciones microclimáticas, eliminación de la capa orgánica del suelo y emisión de humos y gases que afectan la calidad del aire (Pyne *et al.* 1996).

2.9.4 Regímenes de incendios

El estudio de los regímenes de incendios en una comunidad vegetal, proporciona información fundamental acerca de su funcionamiento (Medina *et al.*, 2000) ya que su diversidad, composición y estructura se deben tanto a las condiciones del medio físico como a los regímenes históricos de perturbación (Wright 1996). Los regímenes históricos de incendios se pueden definir como la manifestación del fuego (originado por causas naturales o humanas), a través de cierta frecuencia y su variación en tipo, extensión, intensidad y severidad; regularidad o irregularidad de afectación, época del año en que se presenta o temporalidad y el sinergismo con otros tipos de perturbación (Agee 1993, White y Pickett 1985, Wright 1996).

De manera simplificada, el rango de variación en el régimen de incendios en un ecosistema, depende en gran medida de la frecuencia de eventos de fuego, ya que esta afecta a otras dos variables, la severidad y la extensión. Por ejemplo, intervalos largos pueden provocar un aumento en la severidad al incrementar la mortalidad de plantas y formar claros y en la extensión de los incendios a consecuencia de la acumulación de combustibles. A intervalos mas cortos estos efectos se disminuyen (Swanson *et al.* 1994).

2.9.5 Estudio de los regímenes de incendios

Los regímenes de fuego en los bosques pueden ser estudiados a través de la observación directa, el análisis de reportes sobre áreas afectadas a través del tiempo, la obtención de información mediante entrevistas con pobladores de las áreas forestales, la toma de datos sobre indicadores de los efectos del fuego y la interpretación de la estructura y composición de la vegetación, además del uso de técnicas que permiten reconstruir el historial de perturbaciones de un sitio a través la datación de restos de carbono en sedimentos ó métodos dendrocronológicos (Arno y Snack, 1977; Heinselman, 1981; Jardel, 1991; Agee, 1993; McKenzie, 2004).

Una de las ramas de la dendrocronología es la *dendropirocronología*, que utiliza la datación de los anillos de crecimiento de los árboles para estudiar el pasado y presente de los incendios forestales (Grissino-Mayer, 2005).

Con la ayuda de la dendrocronología podemos analizar la frecuencia de los incendios mediante el conteo de las cicatrices de fuego presentes en los anillos de crecimiento de los árboles (Arno y snack, 1977; Agee, 1993; Wright, 1996). Estas cicatrices se forman cuando el fuego es lo suficientemente intenso, o tiene un tiempo de residencia lo suficientemente largo como para penetrar la corteza y matar parte del cambium (cuando se alcanza una temperatura mayor a 61°C). Si el árbol sobrevive al incendio comenzará a cubrir la parte afectada mediante el crecimiento, de manera que quedará grabado en el árbol el año en que fue quemado (Agee, 1993).

Las cicatrices que deja el fuego en varios árboles de un sitio pueden ser utilizadas como señal de incendios históricos. Otros factores como heridas provocadas por la caída de troncos o ramas de árboles aledaños, el daño de insectos barrenadores o el picoteo de pájaros carpinteros, por ejemplo, pueden producir también cicatrices. Sin embargo las cicatrices de fuego presentan restos de carbón que permiten diferenciarlas (Figura 4).

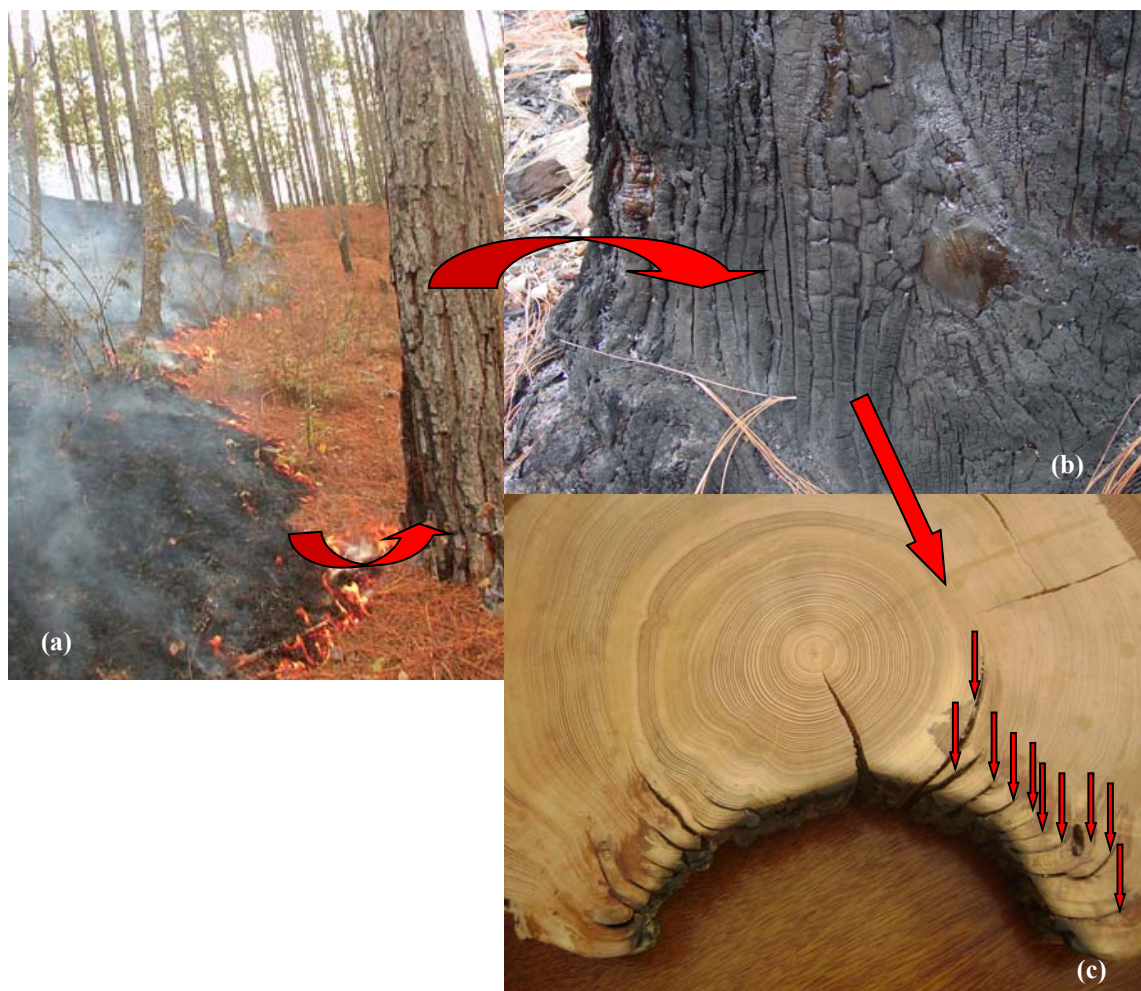


Figura 4. Formación de las cicatrices de incendios en la parte basal de los tallos de árboles de pino. Cuando el fuego quema la corteza y parte del cambium (a), en la parte quemada del tronco se inhibe el crecimiento del árbol y se forma una cicatriz (b); la incidencia de nuevos incendios formara nuevas cicatrices, localizadas en la sección transversal del tallo de árboles afectados por el fuego (c). La lectura de los anillos de crecimiento anuales y las cicatrices de fuego (indicadas por las flechas), permite datar los incendios y analizar su frecuencia histórica.

2.9.6 Frecuencia de incendios

La datación de cicatrices de fuego a partir de los anillos de crecimiento, permite reconstruir el régimen histórico de incendios forestales de los bosques (Wright 1996, Grissino-Mayer 1999, Fulé *et al.* 2005), a través de estadísticas tales como:

Frecuencia media de incendios (FMI): Número de años total de una cronología (la edad de un árbol o un rodal) dividido entre el número de incendios registrados. Esta medida considera los intervalos sin incendios entre el año de inicio de la cronología y el año final del periodo de análisis.

Intervalo medio entre incendios (IMI): El número de años entre el primero y el último incendio dividido entre el número de intervalos de incendios (el número de incendios menos uno). Esta es la medida de tendencia central utilizada más comúnmente en los estudios de frecuencia de incendios (Fulé *et al.* 1995), y a diferencia del FMI considera únicamente la duración de los intervalos entre incendios, excluyendo los intervalos entre el centro de la muestra y el primer incendio y entre el último incendio y la fecha final del período de análisis.

Intervalo medio de probabilidad de Weibull (IMPW): Esta es una medida que describe la tendencia central de distribuciones asimétricas, a diferencia del IMI que es una medida de tendencia central basada en el supuesto de una distribución simétrica de los intervalos entre incendios (una distribución normal) (Swetnam y Baisan, 2003; Grissino-Mayer, 1999; Wright, 1996). El IMPW representa el intervalo de incendios asociado al 50% de la distribución de los datos ajustada a la distribución de Weibull, esto es, la mediana de la distribución.

En los estudios de historial de incendios se utiliza la distribución de Weibull como un modelo altamente flexible, capaz de modelar distribuciones asimétricas, que podría proporcionar nuevas medidas para caracterizar los regímenes de incendios

superficiales por medio del implemento de modelos probabilísticos, derivando una serie de estadísticos descriptivos que ayudan a definir el rango de variabilidad de los incendios históricos (Grissino-Mayer, 1999; Swetnam y Baisan, 2003).

2.9.7 Estudios de reconstrucción de incendios en México

El fuego es un elemento clave en la dinámica de ecosistemas forestales de coníferas del oeste de Norte América, incluyendo los bosques templados del norte de México. Villanueva y McPherson (1995, 1996) emplearon los anillos anuales de crecimiento en una investigación de patrones de uso del suelo, al norte y al sur de la frontera México-Estados Unidos, encontrando que las diferencias en la supresión de incendios, sobrepastoreo y aprovechamientos forestales, tuvieron un marcado impacto en la dinámica de las especies forestales en ambos lados de la frontera.

Al hacer el análisis de anillos de crecimiento de árboles con cicatrices de incendios se encontró que los bosques de pino y bosques mixtos de pino-encino del noroeste de Durango, experimentaron un régimen similar de frecuencia de incendios de baja intensidad, hasta antes del inicio de aprovechamientos de estos bosques, que ocurrió en 1950 (Fulé y Covington, 1996, 1998).

Una perspectiva histórica de regímenes de fuego pasados y las causas de su variabilidad en la frontera de México y Estados Unidos fue desarrollada por Swetnam et al. (2001); mientras que para el norte de México, un análisis de la influencia del clima y el uso del suelo en la variación de la frecuencia de incendios en los bosques de la Sierra

Madre Occidental fue desarrollado por Heyerdahl y Alvarado (2003). Por otra parte, el régimen de fuego para los pasados 400 años en la Reserva Tutuaca, en la Sierra Madre Occidental al oeste de Chihuahua fue desarrollado por Fulé et al. (2005). Finalmente, Rubio (2007) reconstruyó el comportamiento de los regímenes del fuego para los pasados 100 años en la Reserva de Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.

2.10 El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en ingles)

Varias han sido las denominaciones usadas para describir el calentamiento que experimentan los mares del Pacífico tropical del este. El término El Niño, el más aceptado, fue originalmente utilizado para caracterizar una corriente marina cálida del sur a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, que se establece al aproximarse el periodo navideño; de ahí el nombre, asociado a El Niño Jesús. El calentamiento en las aguas de la costa del Pacífico sudamericano pronto fue relacionado con el calentamiento anómalo del Pacífico central y del este, a lo largo del ecuador, extendiéndose desde la línea internacional del tiempo (180 °W) hasta la costa sudamericana, resultando en graves alteraciones en el clima global y los ecosistemas.

El Niño es una condición anómala en la temperatura del océano en el Pacífico tropical del este. El Niño corresponde al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0.5 °C o más, por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos, en la región conocida como “Niño 3” (Figura 5) (4°N-4°S, 150°W-90°W) (Magaña et al. 1999).

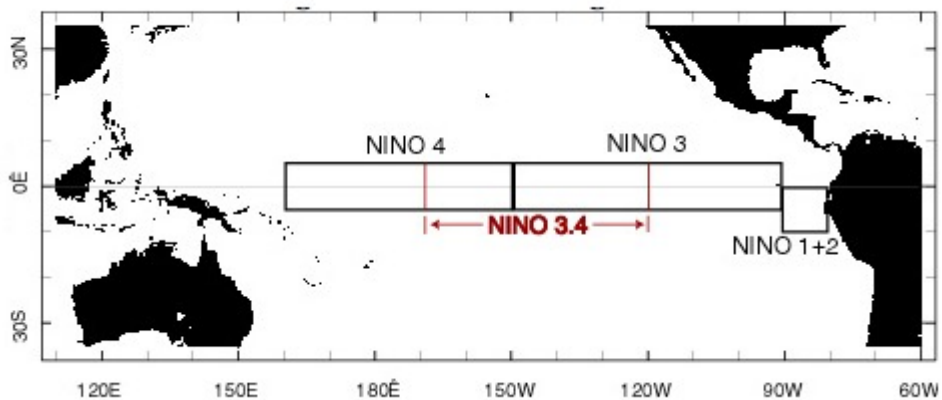


Figura 5. Regiones del Pacífico Ecuatorial cuyas anomalías de temperatura del agua superficial del mar se utilizan como índices para determinar la intensidad del Niño (tomado de Capel, 1999).

Para entender la complejidad inherente a los cambios en el clima, hay que recordar que los primeros intentos por entender tales cambios se dieron durante el siglo pasado, cuando el científico inglés Gilbert Walker (1868-1958) trabajó en el estudio del fenómeno conocido como el Monzón de la India (Fein y Stephens 1987). Sus observaciones mostraron que en años cuando la presión en superficie de Australia (Darwin) era en promedio más baja de lo normal, en el océano Pacífico central (Tahití) era más alta. Esta especie de sube y baja en la presión, con periodos de dos a cuatro años, se denominó Oscilación del Sur. La diferencia entre la presión de ambos puntos se conoce como Índice de la Oscilación del Sur (Figura 6).

Se sabe que el fenómeno de El Niño afecta las lluvias en México (Magaña y Quintanar, 1997). Por ejemplo, Mosiño y Morales (1988) encontraron que el fenómeno de El Niño tiene grandes repercusiones en la precipitación en el centro del país. Otros trabajos han confirmado el papel que juega El Niño, no sólo en las lluvias de verano, sino también en las de invierno (Cavazos y Hastenrath, 1990).

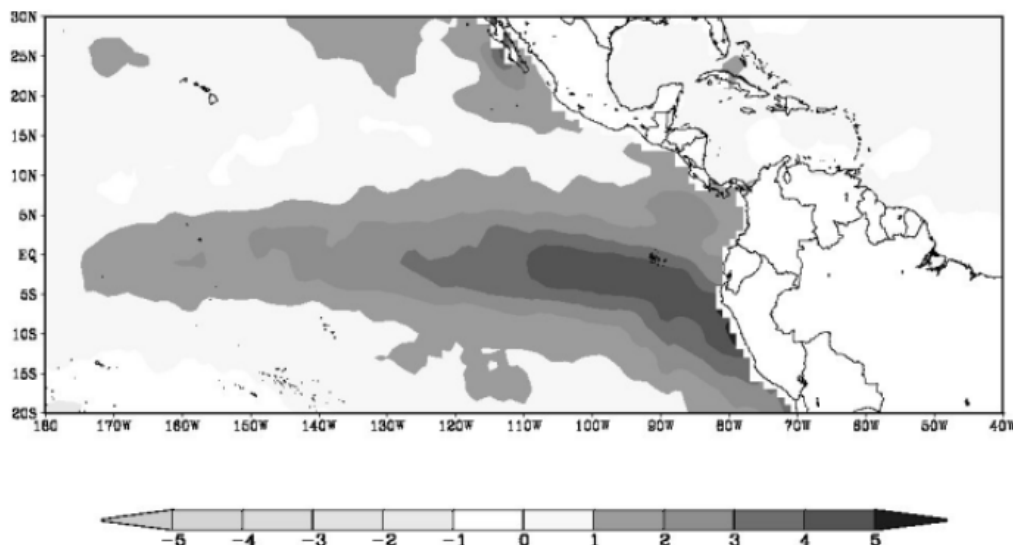


Figura 6. Anomalías de la temperatura de la superficie del mar (°C) en agosto de 1997 (tomado de Magaña *et al.* 1999).

2.11 Influencia del ENOS en la incidencia de incendios

El Niño se manifiesta en la mayor parte de México con un aumento de las lluvias durante el invierno y anomalías negativas de la precipitación durante el verano; la temporada lluviosa comienza más tarde y se observa una baja humedad relativa y altas temperaturas al final de la primavera (Magaña *et al.* 2003), y en consecuencia se presentan condiciones que favorecen la propagación de los incendios.

La relación entre la incidencia de incendios forestales en México y condiciones de sequía para primavera-verano provocados por ENSO ha sido bien documentado (Heyerdahl y Alvarado, 2003; Román-Cuesta *et al.* 2003).

El norte de México es fuertemente afectado por ENSO (Stahle y Cleaveland 1993; Stahle *et al.* 1998), y la ocurrencia de incendios en el norte de México ha estado ligada a este fenómeno, como en el suroeste de los Estados Unidos y sur de Sur América (Fulé y Covington 1997, 1999). La ocurrencia de incendios en 1998 para el centro y sur de México estuvieron asociados con ENSO (Rodríguez-Trejo y Pyne, 1998).

La sequía registrada en el verano de 1997 y la falta de lluvias en el invierno 1997-98 provocó que la vegetación fuera susceptible de incendiarse en la primavera de 1998, observándose un ejemplo claro de los efectos del ENSO en México a nivel general (Figura 7) (Magaña *et al.* 1999).

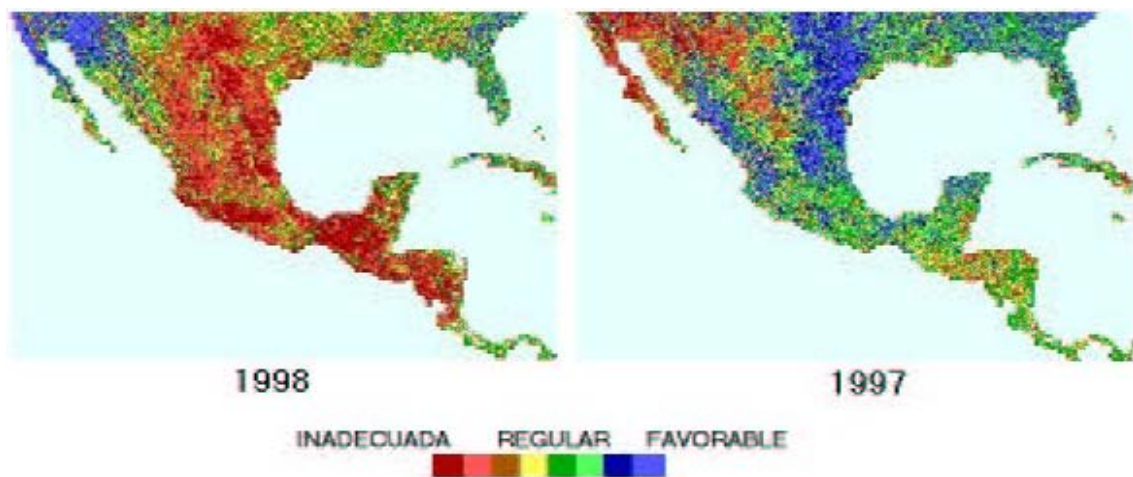


Figura 7. Condición de la salud de la vegetación durante Mayo de 1997 y 1998 (tomada del National Geophysical Data Center, NOAA).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

Cerro El Mohinora se localiza al suroeste del estado de Chihuahua, cerca de los límites con los estados de Durango y Sinaloa ($25^{\circ} 57' 16''$ N $107^{\circ} 01' 38''$ W parte alta, $25^{\circ} 58' 27''$ N $107^{\circ} 02' 26''$ W parte media y $25^{\circ} 58' 23''$ N $107^{\circ} 01' 35''$ W parte baja); el área comprende un gradiente de elevación de 2500 a 3000 m (Figura 8). En la parte alta del área de estudio se distribuyen bosques de pino y *Abies-Pseudotsuga-Picea*; en la parte media se desarrolla bosque de *Abies-Pseudotsuga-Picea* y en la baja bosques de pino. Entre las especies más importantes se encuentran *Pinus duranguensis*, *P. arizonica* y *P. ayacahuite*.

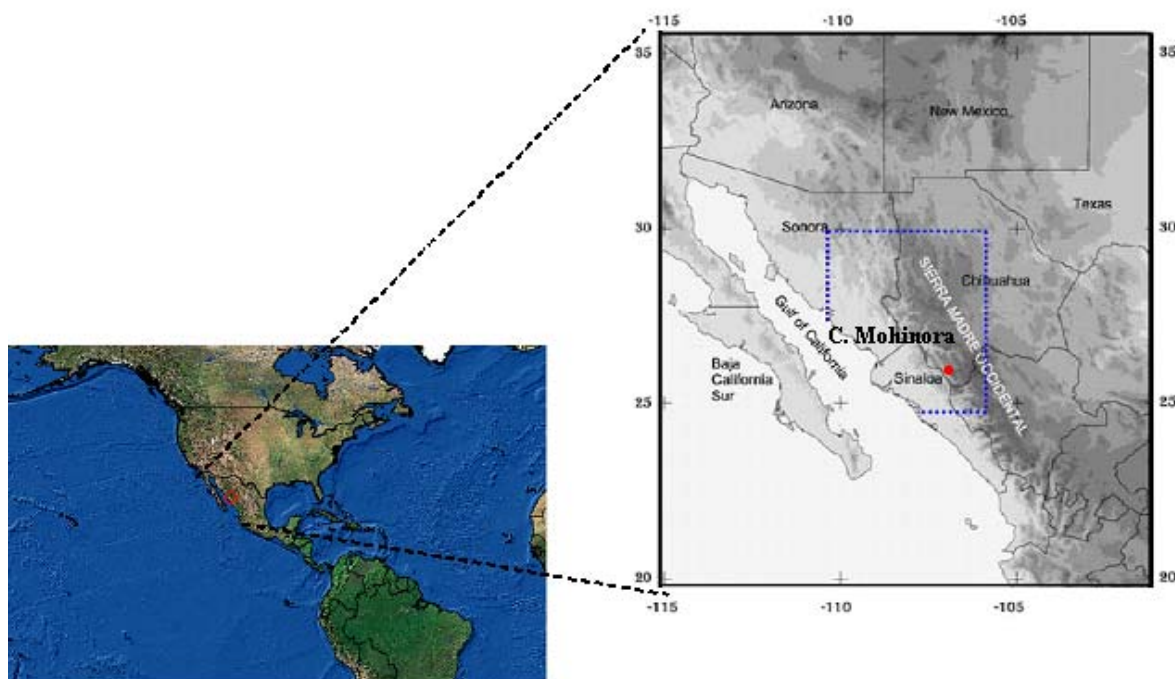


Figura 8. Localización geográfica del sitio de muestreo en el suroeste del estado de Chihuahua.

Las características climáticas del área en términos de temperatura y precipitación son muy variables en el año. La temperatura máxima promedio fluctúa de 25 a 27 °C; la media mensual más elevada se registra en los meses de Mayo a Septiembre; la temperatura mínima registrada en el área es del orden de -1 a -3 °C para los meses de Diciembre a Marzo. El patrón de precipitación indica una distribución bimodal, con un 60% del total de lluvia durante el verano (Julio a Septiembre) y un 19% de la lluvia total durante el invierno (Diciembre a Marzo); el promedio mensual es de 96 mm con un promedio anual de 1130 mm (ERIC II, 2000).

3.2 Selección de las áreas de trabajo

A mediados del año 2006 se realizaron varios recorridos preliminares para ubicar poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* con características apropiadas para estudios dendroclimáticos y áreas con potencial para desarrollar estudios de regimenes históricos de incendios en la Sierra Madre Occidental. Al término de estos recorridos, se seleccionó la reserva “Cerro El Mohinora”, en el estado de Chihuahua. Dentro de esta área inicialmente se seleccionó el sitio para el análisis de variables climáticas; el sitio cuenta con una superficie aproximada de 100 ha donde se desarrollan arboles de *Pseudotsuga menziesii* y presenta sitios con poco disturbio y arbolado longevo con potencial para reconstruir la variabilidad climática del pasado; así mismo, este sitio es importante desde el punto de vista hidrológico, ya que es una región productora de agua que drena hacia la Planicie Costera del Pacífico en el estado de Sinaloa, donde constituye una fuente de agua importante para la producción de cultivos de exportación.

El estudio de reconstrucción de la variabilidad climática se desarrolló en la parte media y alta del “Cerro El Mohinora”, en bosques mixtos de *Pseudotsuga menziesii*, *Abies bejari* y *Picea chihuahuaza*.

Adicionalmente en este sitio se seleccionaron rodales de Pino, donde los incendios de origen natural han mantenido su estabilidad ecológica a través del tiempo; por lo que representan áreas con excelente potencial para estudios de reconstrucción histórica de incendios en la zona.

Para este estudio, el área se dividió en dos secciones, en la primera ubicada en la parte baja (2500 m), se muestrearon individuos seleccionados en una superficie de 40 ha; mientras que en la segunda, ubicada en la parte alta (3000 m) se tomaron muestras de individuos seleccionados en una superficie de 60 ha. El sitio de la parte baja se localiza geográficamente en las coordenadas 25° 58' 23'' de latitud N y 107° 01' 35'' de longitud W; y la parte alta en 25° 57' 16'' de latitud N y 107° 01' 38'' de longitud W.

Dado el impacto de los patrones circulatorios (Monzón de Norte América y El Niño Oscilación del Sur) en la precipitación de la época cálida y fría del año para la región del suroeste de Chihuahua; se considero importante analizar el impacto de estos fenómenos circulatorios en la variabilidad del clima regional y su relación con la ocurrencia de incendios.

De esta manera el conocimiento del impacto de estos fenómenos atmosféricos en la ocurrencia de incendios en estos ecosistemas es benéfico para establecer planes de manejo que contribuyan a su conservación e inclusive restauración.

3.3 Diseño de muestreo

El sistema de muestreo empleado para la toma de muestras tanto para análisis climático como para reconstrucción histórica de regímenes de incendios, fue selectivo, es decir, se seleccionó en cada uno de los sitios estudiados especímenes con características fenotípicas determinadas para cumplir con los objetivos planteados en el estudio.

3.4 Reconstrucción de la variabilidad climática

3.4.1 Métodos de campo

3.4.1.1 Características del arbolado muestreado

Un aspecto importante en el desarrollo de estudios dendrocronológicos es la selección adecuada del arbolado. Los árboles más sensibles a las variables climáticas son aquellos localizados en terrenos de ladera seca, donde los suelos son de profundidad somera, pobres en fertilidad y donde los individuos están más limitados por la humedad del suelo y por ende son más susceptibles de registrar la señal climática. En este estudio, los árboles seleccionados fueron aquellos con apariencia longeva, generalmente fueron

individuos con la parte terminal de la copa seca, tallo y corteza torcida en forma espiralada, copa no cónica; así mismo, se procuró que los árboles tuvieran el tronco sólido, para obtener el mayor radio posible y se evitaron árboles podridos del centro, que pudieran generar muestras de mala calidad debido al rompimiento y pérdida de anillos internos. Otras consideraciones en el muestreo consistieron en, evitar seleccionar árboles en sitios con alta competencia intraespecífica e interespecífica y de esta manera incrementar la señal climática.

3.4.1.2 Registro de información del sitio

En cada sitio estudiado, se llenó un formato específico para registrar información geográfica y ecológica, el que incluyo coordenadas geográficas, altitud, pendiente del terreno, nombre del paraje, tipo de vegetación, especies dominantes, uso del suelo y ocurrencia de incendios, entre otros. Así mismo, se obtuvo información de cada uno de los árboles muestreados, en el que se registró: presencia de plagas y enfermedades, daños por descarga eléctrica, incendios, presencia de daños físicos, ocoteado, etc. También se registró si el árbol muestreado se ubicaba cerca o sobre un arroyo, en una fuerte pendiente o cañada. Se aplicó una clave para cada sitio de colecta, la cual consiste en las tres primeras letras del nombre del lugar, seguido por el número de árbol y muestra obtenida (A, B, C, etc), orientación de la muestra, fecha de colecta y observaciones adicionales pertinentes a cada árbol muestreado.

La información anterior permitió que al momento de analizar con los programas dendrocronológicos cada uno de los núcleos de crecimiento, corroborar e interpretar

mejor los análisis, ya que cualquiera de los daños indicados, aunado a las condiciones físico-químicas del sitio donde se desarrolla cada uno de los árboles puede alterar el crecimiento anual. Esta información, permitió explicar variaciones en crecimiento no atribuible a factores climáticos y de esta manera eliminarlas para maximizar la señal climática.

3.4.1.3 Toma de núcleos de crecimiento o virutas y secciones transversales de árboles

Los núcleos de crecimiento o virutas se obtuvieron con taladro tipo Pressler, utilizando diversas longitudes de barrena para obtener virutas lo más cercano al centro del árbol (Figura 9a). La barrena es una herramienta de precisión diseñada para extraer un núcleo pequeño de un árbol vivo sin provocar daños considerables (Stokes y Smiley, 1968).

El proceso de obtención de un núcleo de crecimiento o viruta, consiste en seleccionar una parte sana y sólida en el fuste principal, generalmente a la altura del pecho (diámetro normal), que para fines prácticos se considera a 1.30 m. Para propósitos dendrocronológicos, lo principal es extraer la mejor muestra y puede obtenerse a tres metros, treinta centímetros o en la base del árbol; si el árbol es muy longevo y el tallo principal esta dañado, es conveniente tomar muestras de las ramas y es recomendable obtener más de dos núcleos de crecimiento distribuidos uniformemente en la periferia del fuste.

En este estudio se obtuvieron dos muestras por individuo (A y B), esto cuando el árbol es sano y permite la obtención de muestras de calidad. Cada muestra se tomó en sentido opuesto a la pendiente del terreno y se evitó perforar en puntos del fuste con madera de tensión y compresión. Para los árboles localizados en sitios planos, solo se considero la extracción de núcleos de crecimiento en secciones del fuste sin daño aparente.

Para el caso de árboles viejos, se obtuvo más de dos muestras, debido a que estos individuos son los de mayor interés por aportar mayor número de crecimientos anuales, lo que permite extender las series de crecimiento en el tiempo.

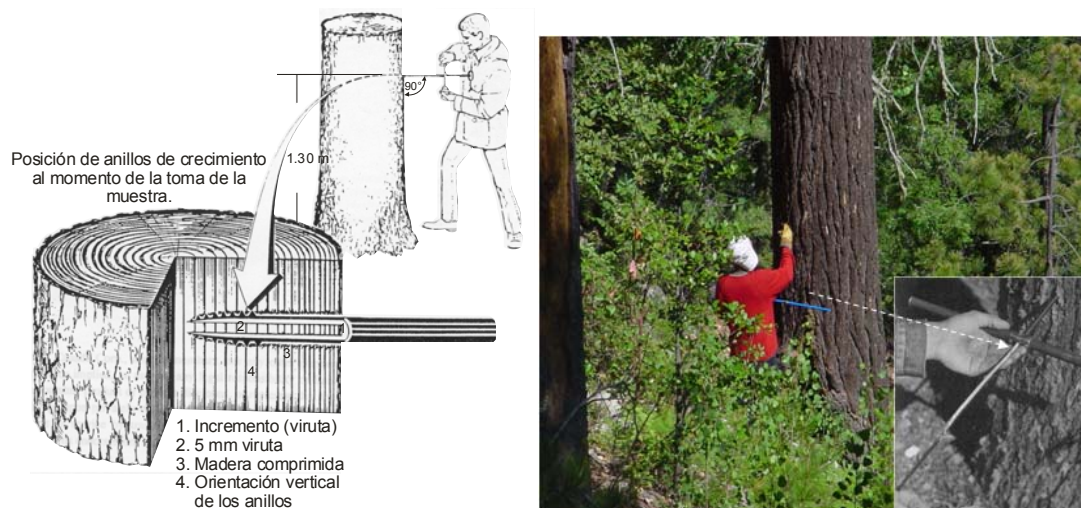


Figura 9. a) Posición en que la barrena va cortando la madera e indica la forma en que se ubican los anillos de crecimiento (Jozsa, 1988). **b)** Obtención de una muestra o viruta con el taladro de Pressler en el sitio de estudio.

Las virutas extraídas con la barrena son frágiles y deben manejarse con cuidado (Figura 9b). Las virutas se almacenaron en popotes de plástico con perforaciones

previamente realizadas para permitir una mejor aireación de la muestra y evitar problemas de pudriciones a consecuencia de hongos. Cada muestra, al sacarla del taladro con el extractor, se colocó inmediatamente en un popote. A continuación se anotó la clave del sitio, número de muestra, (01A o 01B), fecha de la toma de muestra, diámetro normal y así como observaciones relacionadas con daños físicos, orientación de la muestra, daño de incendio, plaga, etc.

En aquellos sitios en los cuales se encontraron árboles muertos, a causa de incendios, plagas, aprovechamientos, etc., se extrajeron secciones transversales con una motosierra marca STIHL y barra de dimensiones variables. Estas secciones permitieron extender la cronología en el tiempo y ayudaron a detectar la presencia de anillos perdidos o anillos dobles que muchas veces en los núcleos de crecimiento no se detectan adecuadamente. Lo anterior se fundamenta en que un anillo nunca está perdido en la superficie total de la circunferencia del tallo o rama (Stokes y Smiley, 1968).

3.4.2 Métodos de laboratorio

3.4.2.1 Preparación y fechado de muestras

En laboratorio, la preparación y fechado de muestras se realizó mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968; Swetnam *et al.*, 1985). Los núcleos de incrementos extraídos con taladro son pequeños y frágiles y por consiguiente es necesario montarlos antes de que sufran daño. Cuando el núcleo de crecimiento perdió suficiente humedad, se insertó en una moldura de madera con pegamento y luego se ajustó firmemente con cinta adhesiva (Figura 10a).

El montado correcto de la muestra es de gran importancia, ya que de esto depende el observar con mayor claridad las bandas de crecimiento anual. Las células de la madera (traqueidas) deben quedar perpendiculares a los incrementos anuales.

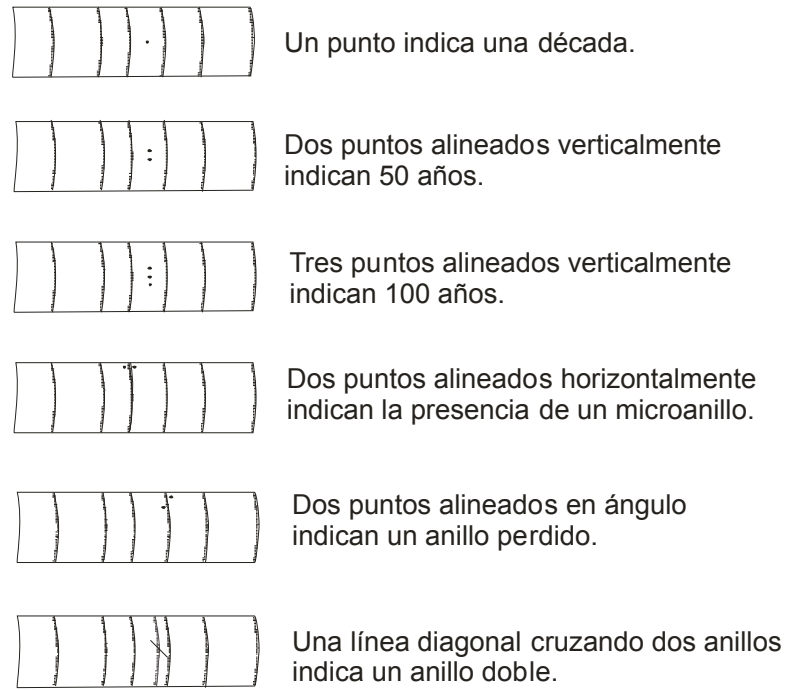


Figura 10. a) Preparación y montado de núcleos de crecimiento, etapa básica para el inicio de análisis dendrocronológico de la muestra y **b)** muestras pulidas y preparadas para el conteo de crecimiento en microscopio.

Una vez que las muestras están montadas y fijas con el pegamento se procede a su pulido para resaltar sus estructuras de crecimiento anual. El procedimiento consiste en el pulido con lijas de diferente textura y para tal efecto se utilizan granos de 120 a 1200. Dicho procedimiento se inicia con lija de grano grueso y uso progresivo de lija de grano fino (Figura 10b). En el caso de secciones transversales, primero se trabajó con un cepillo eléctrico y posteriormente se lijaron con grados de lijas en el rango de 30 a 1200. Este procedimiento permitió diferenciar con mayor claridad los anillos en la mayoría de las muestras (Figura 11).



Figura 11. Sección transversal sujeta a diferentes grados de lijado, que muestra con claridad la presencia de microanillos y anillos perdidos, dos problemas principales en el dateo exacto de crecimientos anuales.



UN ESQUEMA DE LA SECUENCIA DE ANILLOS.

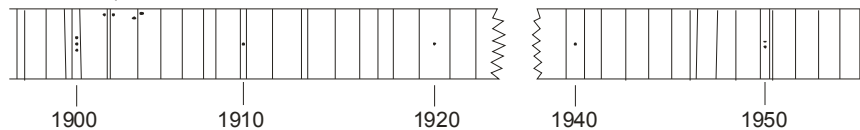


Figura 12. Sistema de conteo, representación de micro anillos y anillos ausentes (Stokes y Smiley, 1996; Swetnam et al., 1985).

Las virutas colectadas de árboles vivos, se analizaron con la lupa estereoscópica de aumento 3.5X a 15X. El conteo de anillos se realizó mediante el procedimiento siguiente: cada década (un punto), cada cincuenta años (dos puntos) y cien años (tres puntos). Así mismo, se ubicaron anillos con reducción en anchura (anillos pequeños) y aquellos donde sólo se observa una parte de la banda de crecimiento (microanillo), en cuyo caso se utilizaron dos puntos paralelos. Para el caso de anillos perdidos se utilizaron dos puntos alternos y una línea diagonal para indicar un falso anillo (Figura 12). Posterior al conteo y mediante representaciones esqueléticas o gráficos de crecimiento y con la identificación de patrones comunes de crecimiento entre las series se logró asignar fechas tentativas de formación de los anillos de crecimiento (Figura 13).

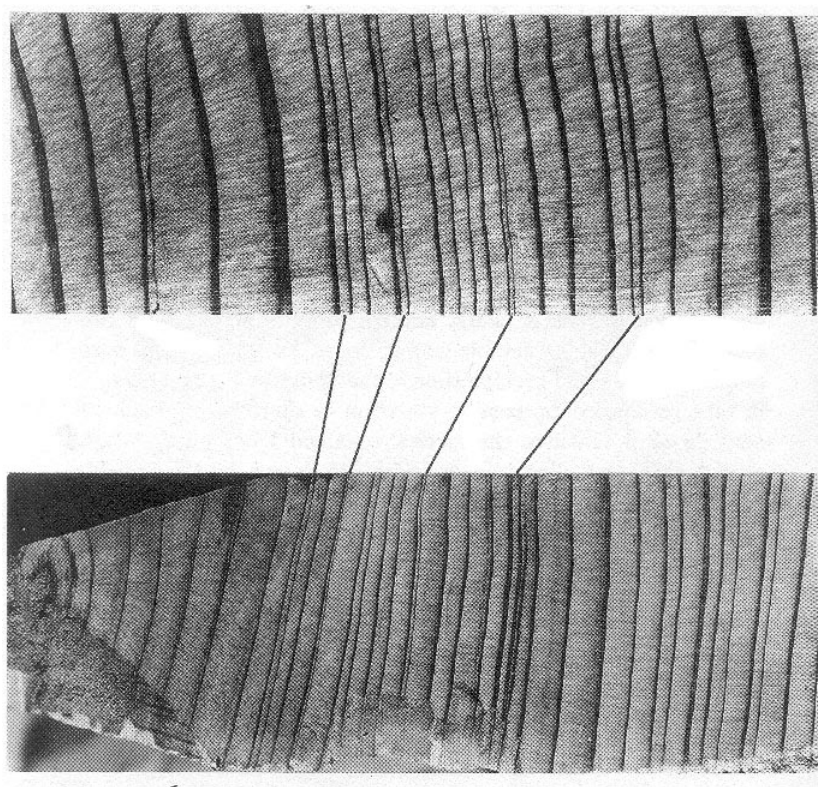


Figura 13. Dos secciones de incrementos que muestran patrones comunes de crecimiento, donde se observa la presencia de bandas angostas (microanillos) y anillos ausentes o perdidos (Stokes y Smiley, 1996).

La técnica del grafico de crecimiento “skeleton plot”, es una forma gráfica de representar de manera subjetiva el grosor de los anillos. Estos gráficos se usan como una ayuda cronológica para comparar un grupo de muestras y definir patrones de tendencia, esenciales para el fechado exacto de los crecimientos anuales. El método del grafico de crecimiento tiene la ventaja de ser más rápido en comparación a los métodos que requieren la medida del anillo real o actual. El proceso de fechado se inicia con la construcción de un gráfico de crecimiento para cada muestra individual.

En el gráfico de crecimiento los anillos estrechos (más angostos) son los primeros en ser comparados y plasmados en el gráfico; así que una línea está marcada en cada intervalo donde un anillo estrecho ocurre (Figura 14). La decisión de estrechez (angostos) se basa en la comparación de cada uno de los anillos inmediatos vecinos o los de a lado. Entre más estrecho el anillo, mayor la longitud de la línea marcada. La estrechez de los anillos está representada arbitrariamente con una línea de 2 cm en altura. Los anillos anchos se marcan con una “B” (Big) o una “G” de grande; los anillos promedios no se marcan. Si un anillo muestra reducción en anchura y se observa incompleto, se trata de un microanillo. Una línea mayor a las trazadas para anillos pequeños es colocada en el gráfico de crecimiento y en el caso de anillos perdidos se traza una línea punteada ubicada en la posición gráfica donde en teoría debe estar para señalar su presencia.

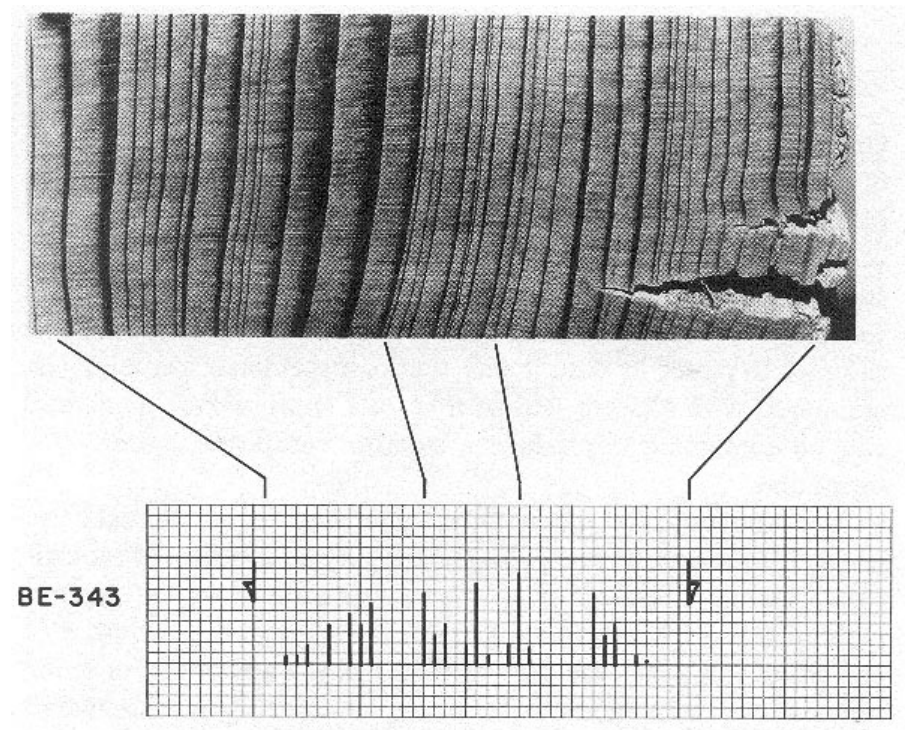


Figura 14. Grafico de crecimiento (Skeleton plot), modelo de crecimiento plasmado en papel lo cual permite la comparación simultanea de varios individuos para determinar similitud de patrones de crecimiento (Stokes y Smiley, 1996).

Después de trazar el gráfico (skeleton plot) para cada una de las muestras, entonces se comparan entre sí simultáneamente. Al hacer lo anterior, se puede observar similitudes en los patrones de crecimiento de los anillos, ya que se desarrolla un mosaico de gran número de muestras. Cuando el emparejado o cruzado de todos los gráficos de crecimiento se realiza correctamente, todos los anillos durante cualquier año dado (aunque todavía no se asigne una fecha) se colocan en la misma línea vertical, esto indica que los anillos de las diferentes muestras que se localizan en una misma línea corresponden a un año específico. Para este caso, estas muestras son de árboles vivos para los cuales se conoce la fecha del año exterior y como los patrones de crecimiento ya

coinciden perfectamente, solo resta asignarles las fechas correspondientes; a esta etapa se le conoce como prefechado.

Después de que todas las muestras han sido colocadas, un nuevo gráfico de papel cuadriculado se pone en la parte inferior, y un gráfico compuesto (cronología maestra) se desarrolla al trazar una media de la longitud de las líneas por cada año (Figura 15). Puesto que estas líneas no tienen una longitud específica los promedios generados, similar a los gráficos individuales, son cuestión de juicio personal.

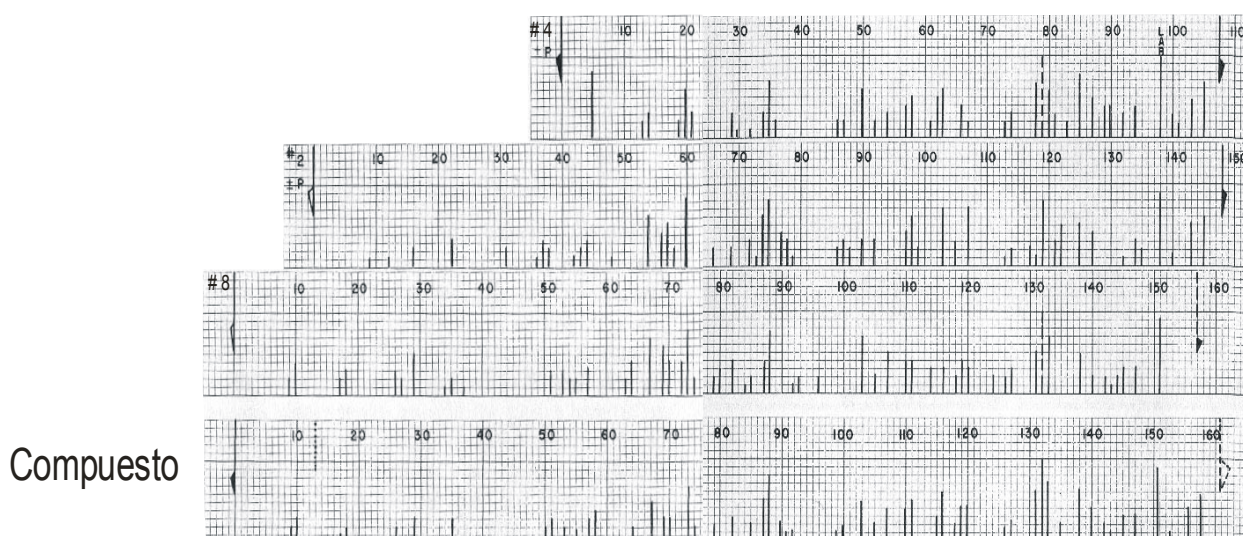


Figura 15. Fechado cruzado o empalme. Gráficos de crecimiento de diferentes individuos permiten generar un gráfico maestro (Stokes y Smiley, 1996).

3.4.2.2 Medición de anillos, crecimientos anuales

Posterior al prefechado de las muestras se procedió con la medición de los anillos de crecimiento y para tal fin se utilizó un micrómetro con precisión de 0.01 mm y platina de fase deslizante, conectado a una computadora (Robinson y Evans, 1980). Las

muestras se midieron una a una, deslizando la platina y observando la muestra a través de un estereoscopio con un ocular reticulado. La medición, se inició con el anillo más interno y se procedió de esta manera hasta el anillo exterior (corteza). La medición de cada anillo se registra con la fecha asignada en el prefchado. En cada anillo de crecimiento se realizaron tres mediciones, una para madera temprana (clara), una para tardía (obscura) y una para el ancho total (anillo total).

La base de datos de las mediciones generadas para cada una de las muestras, quedó registrada en el software de medición de la computadora.

3.4.3 Análisis de datos

3.4.3.1 Control de calidad de los datos

Una vez que se generaron los archivos de medición, éstos se ingresaron al programa COFECHA, que realiza el control de calidad de fechado y medición (Holmes, 1983). Este programa además permite identificar segmentos de la serie de anillos con baja correlación con la serie maestra por lo que podrían representar posibles errores de fechado o de medición. El programa genera también una serie maestra, como la media de cada uno de los años de todas las series individuales; analiza estadísticamente el fechado de cada serie al correlacionar contra la serie maestra segmentos sobrepuestos de 50 años de cada serie individual y finalmente produce un resumen de las estadísticas descriptivas para el conjunto total de datos.

Las series para las que COFECHA identificó problemas se graficaron con la rutina BARPLOT (Holmes *et al.* 1986). Esta subrutina calcula la desviación estándar de cada serie individual.

Mediante la comparación de los gráficos de las series individuales y la serie promedio para el sitio y análisis cuidadoso de las muestras con problemas en microscopio, se identificaron y se corrigieron los errores detectados por el programa, que pueden ser anillos omitidos o anillos perdidos.

Al finalizar el fechado de muestras de árboles vivos se continuó con el fechado de las muestras de árboles muertos, para los cuales no se sabía la fecha del último año. Para el caso de secciones transversales de árboles muertos es común que la parte externa correspondiente a la albura se haya perdido o eliminado debido a pudrición. Para estas muestras al igual que para las de árboles vivos se llevó acabo un conteo de los anillos existentes, se generó un gráfico de crecimiento y este se comparó contra el gráfico maestro para definir la fecha del último anillo desarrollado y así determinar el fechado exacto de cada una de las bandas de crecimiento.

3.4.3.2 Generación de cronologías

El término cronología de anillos de crecimiento o serie de tiempo dendrocronológica, se refiere a una serie de valores que representa los promedios de los índices de crecimiento anual estandarizados y debidamente fechados (Fritts, 1976).

Estas series de tiempo se generan después de que se tiene certeza de que los anillos de crecimiento están perfectamente fechados y sujetos a control de calidad mediante el programa COFECHA. La generación de los índices dendrocronológicos se producen con el programa ARSTAN (Cook y Holmes, 1984). Este programa realiza la estandarización de las series individuales de cada núcleo de crecimiento al remover la varianza debida a factores biológicos, como edad y crecimiento radial, así como la aquella debida a la productividad diferente entre micrositios y cambios en el ambiente de los árboles, no relacionados con el clima (Fritts, 1976, y Cook y Kairiuskstis, 1990).

El programa ARSTAN maximiza la varianza debida a factores ambientales que afectan a la población en su conjunto. Este programa tiene la opción de ajustar diferentes curvas teóricas (recta, exponencial negativa, horizontal o spline de diferente rigidez), las cuales tratan de emular o reproducir las tendencias biológicas del crecimiento.

Finalmente, las series resultantes de amplitud de anillos estandarizadas, se puede comparar la parte interna con la parte externa a través de la media y la varianza. Al eliminar la varianza debido al crecimiento diferente entre árboles jóvenes con crecimiento rápido y árboles viejos con crecimientos lento, se promedia cada uno de los

índices anuales de las series individuales y se obtiene la cronología maestra o estandarizada para el sitio ((Fritts, 1976; Swetnam et al., 1985).

El programa ARSTAN genera tres cronologías, estándar, residual y arstan. Para este trabajo, todos los análisis se desarrollaron con la versión estándar, que a diferencia de las versiones residual y arstan, retienen variaciones de baja frecuencia pero que son de utilidad para el análisis de tendencias en periodos largos (Grissino-Mayer, 1995).

3.4.3.3 Desarrollo del modelo climático

Después de generados los índices estandarizados de crecimiento para el sitio (cronologías), se procedió a desarrollar una correlación con la estación climatológica de Guadalupe y Calvo, Chihuahua, estación meteorológica que posee el registro regional de datos climáticos más completo para el período 1961-1985 (ERIC II, 2000). Geográficamente la estación se ubica en las coordenadas 26.100° de latitud norte, 106.967° de longitud oeste, a una altitud de 2,316 m (Figura 16).

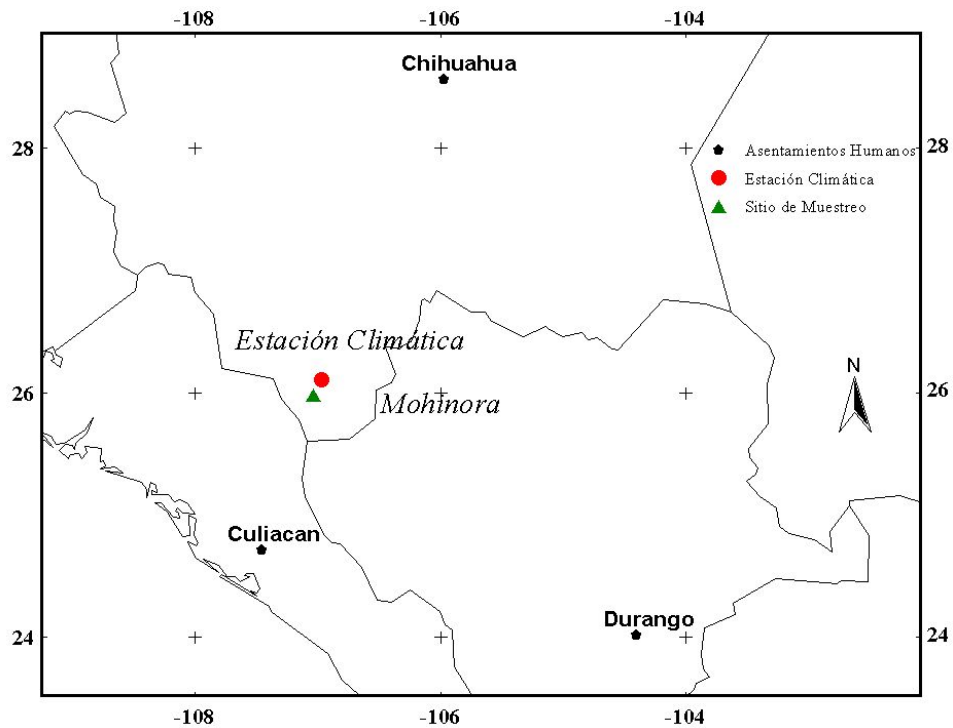


Figura 16. Ubicación del sitio de muestreo “Cerro Mohinora y la estación climática cuyos datos se utilizaron para los análisis.

La definición del período en el cual los índices dendrocronológicos y los datos de precipitación estuvieron más correlacionados, se determinó al procesar una función de respuesta producida mediante análisis de correlación y verificada con el programa PRECON (Fritts, 1999). Este programa define el período de precipitación con más influencia en el crecimiento anual del arbolado.

Con base en lo anterior, se seleccionaron sólo aquellos meses o períodos estacionales en que el crecimiento de los árboles respondió significativamente ($p < 0.05$) a la precipitación. Definido el período estacional de precipitación este se dividió en dos subperíodos. En el primero, se generó una ecuación de calibración y se verificó en el otro. Las funciones de calibración y de verificación se analizaron estadísticamente con la

subrutina VERIFY5 del DPL (Dendrochronological Program Library, por sus siglas en ingles) del Laboratorio de Anillos de Árboles de la Universidad de Arizona, EUA. La función de calibración se desarrollo en el total de datos climáticos registrados, con lo cual se obtuvo el grado de asociación entre los datos reconstruidos y registrados.

Finalmente, se generó el modelo de reconstrucción con el programa STATISTICA Kernel release 5.5 (Stat Soft Inc. 2000) y se desarrolló la reconstrucción para el período total de índices de la cronología.

Para resaltar la presencia de eventos de baja frecuencia en la reconstrucción, es decir períodos secos y húmedos y observar posibles tendencias en la reconstrucción, los datos reconstruidos se suavizaron con una curva flexible de 10 años empleando la subrutina FMT del DPL.

Análisis de tendencia histórica de la presencia de eventos climáticos extremos detectados en la reconstrucción para la parte suroeste de Chihuahua, se realizó al comparar con reconstrucciones generadas para el norte de México, con lo cual se detectó similitud o sincronización entre fenómenos secos o húmedos, lo que permitió determinar la ocurrencia de estos fenómenos a escala regional o nacional.

3.4.3.4 Análisis histórico

La presencia de eventos extremos presentes en la reconstrucción, se verificó en lo posible con archivos históricos para la región, así como a nivel nacional, ya que algunas sequías abarcan grandes extensiones e incluso sobrepasan fronteras (Florescano, 1980; García, 1997; Enfield and Tejedo, 2006).

3.5 Reconstrucción del régimen histórico de incendios

3.5.1 Métodos de campo

3.5.1.1 Características del arbolado muestreado

Para un estudio de reconstrucción de incendios es importante la ubicación de arbolado con el mayor número de cicatrices, así como cubrir la mayor superficie disponible, de tal manera que la reconstrucción sea lo más representativa de las diversas condiciones fisiográficas del sitio y que se extienda lo más posible en el tiempo. En este estudio se muestreó de manera intensiva tanto en la parte alta como baja de Pico Cerro Mohinora, Chihuahua.

3.5.1.2 Toma de muestras

Las muestras de incendios fueron tomadas tanto de tocones, como de árboles tirados, árboles muertos en pie y de árboles vivos (Arno y Snack, 1977). Se utilizó una motosierra para extraer secciones transversales totales de tocones y de árboles tirados y

secciones parciales de árboles muertos en pie y de árboles vivos (Figura 17). Se enfatizó la toma de secciones en árboles muertos para dañar en lo mínimo árboles vivos (Baisan y Swetnam, 1990). En sitios donde no se encontró material muerto con registros de incendios, el muestreo se enfocó hacia árboles vivos, donde se tomó una sección parcial de madera con cicatrices de incendios.

El número total de muestras colectadas totalizó 100 secciones transversales, 40 en la parte baja y 60 en la parte alta. En ambos sitios, el muestreo cubrió todo el gradiente altitudinal.



Figura 17. Colecta de secciones parciales con cicatrices de incendios de un árbol muerto en pie localizado en la parte alta del Cerro El Mohinora, Gpe y Calvo, Chihuahua.

En los estudios de reconstrucción del historial de incendios es recomendable la toma de muestras de árboles vivos para generar una cronología maestra que sea de utilidad para el fechado de las muestras tomadas de árboles muertos. Alternativamente

se emplea alguna serie de tiempo generada para alguna área cercana a la región de estudio y para el presente se utilizó la serie de tiempo generada para la reconstrucción de precipitación de esta misma región.

3.5.2 Métodos de laboratorio

En el laboratorio de Dendrocronología ubicado en las instalaciones del INIFAP CENID-RASPA en Gómez Palacio, Dgo., las muestras fueron secadas al aire y cortadas a un grueso uniforme (3 a 5 cm) para facilitar su manejo. Las secciones se sometieron a un proceso de pulido con grados de lija secuenciales grano 30 a la 1200 para resaltar las estructuras de los anillos de crecimiento y apreciar con mayor claridad la ubicación exacta de la cicatriz (Figura 18).



Figura 18. Muestra con cicatrices de incendios después del proceso de pulido.

La datación de las muestras se realizó mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stoke y Smiley, 1968). En muestras de árboles jóvenes, donde se conoce la fecha del primer anillo exterior (corteza) el fechado se realizó directamente en la muestra contando los anillos desde la parte exterior (corteza) a la interior. Para el presente caso, el anillo exterior fue el 2005. Las muestras más longevas de árboles vivos y las de árboles muertos se fecharon mediante un gráfico de crecimiento para cada muestra y comparando estos con el gráfico maestro derivado de la reconstrucción de precipitación (fechado cruzado) (Figura 19).

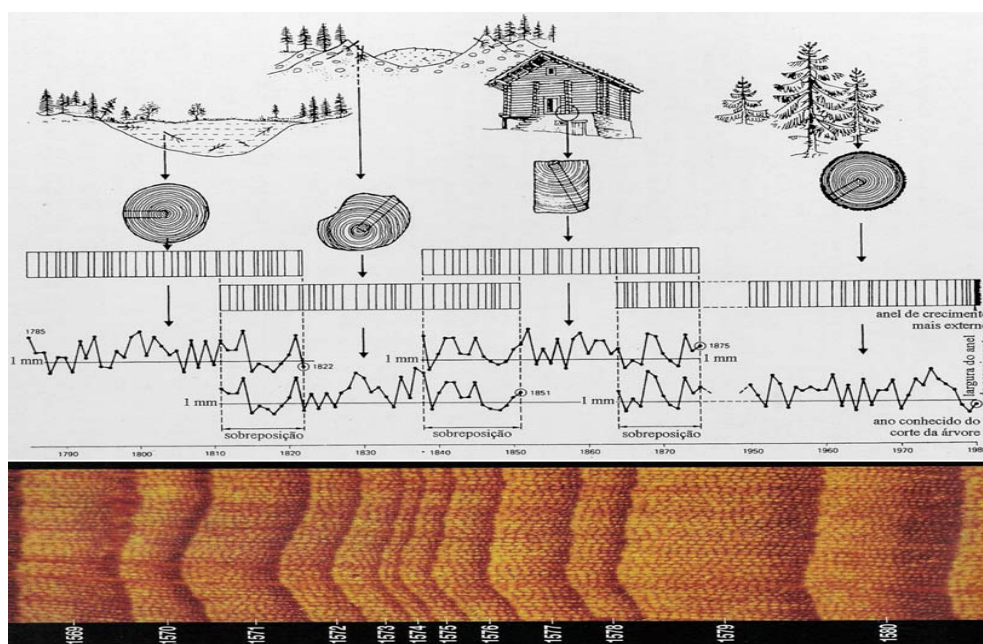


Figura 19. Esquema del fechado cruzado, principio de la Dendrocronología (Stoke y Smiley, 1968).

Para algunas muestras con cicatrices de incendios se midieron sus anillos de crecimiento mediante un micrómetro con precisión de 0.01 mm y platina de fase deslizable, conectado a una computadora (Robinson y Evans, 1980). El programa

COFECHA (Grissino-Mayer y Holmes, 1993) fue usado como apoyo para el fechado de muestras de incendios cuando fue necesario.

Después de fechar exactamente cada anillo anual de las muestras de incendios, se identificó el período de ocurrencia de cada incendio, con base en la posición relativa de cada cicatriz dentro del anillo anual (Baisan y Swetnam, 1990). La época de ocurrencia de cada incendio se categorizó según metodología propuesta por Grissino-Mayer (2001) (Figura 20), fundamentada en los siguientes códigos:

a) D, dormancia (cicatriz localizada entre la madera tardía del año anterior y el inicio de la madera temprana del año siguiente).

b) E, madera temprana (cicatriz localizada en la primera tercera parte de la porción de la madera temprana).

c) M, mitad de la madera temprana (cicatriz localizada en la porción media de la madera temprana).

d) L, madera temprana tardía o final (cicatriz localizada en la ultima tercera parte de la madera temprana); y

e) A, madera tardía (cicatriz localizada en la madera tardía).

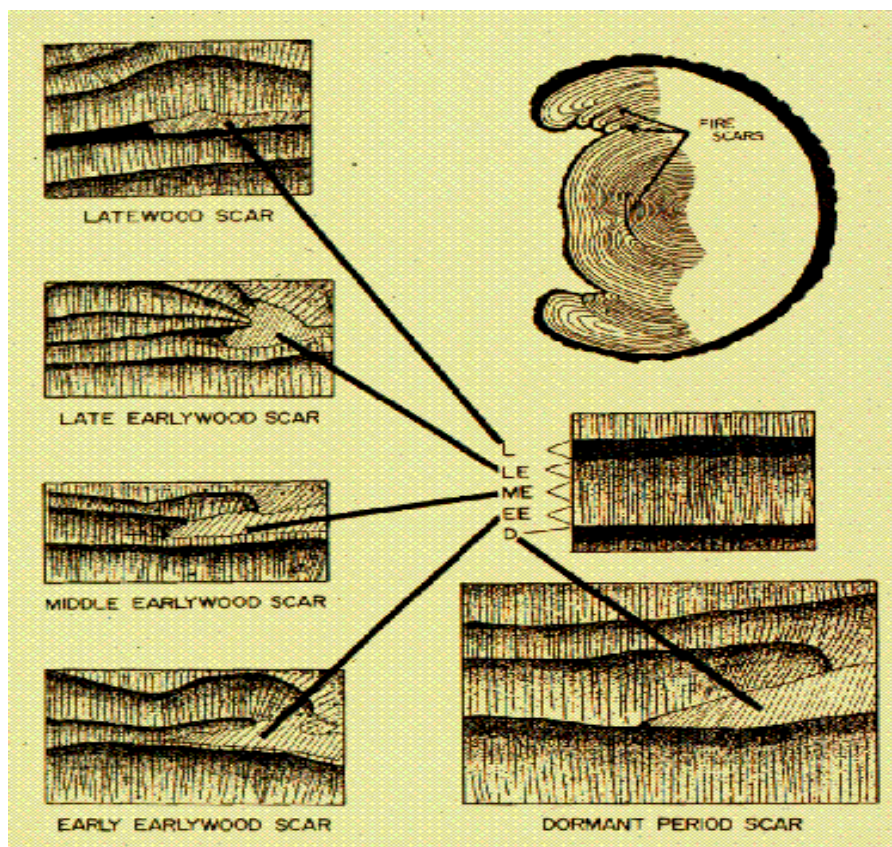


Figura 20. Categorización de la época de ocurrencia de incendios (Grissino-Mayer, 2001).

3.5.3 Análisis de datos

Los datos de historia de incendios fueron ordenados en una base de datos, que involucra el año en que se presentó cada incendio y la época de ocurrencia. Posteriormente se creó una cronología compuesta de incendios y se realizaron análisis estadísticos de la distribución de los intervalos de recurrencia de incendios para cada uno de los sitios mediante el software de análisis de incendios FHX2 (Grissino-Mayer, 2001). Finalmente se generó una cronología maestra de incendios (gráfico) para cada uno de los sitios (Dieterich, 1980). Los análisis estadísticos para la distribución de

intervalos de recurrencia de incendios abarcaron un periodo de 305 años (1700 a 2005) para el sitio de la parte alta y de 255 años (1750 a 2005) para la parte baja.

Los intervalos de incendios fueron analizados estadísticamente mediante diferentes categorías o filtros, primero, al considerar todas las muestras con cicatrices de incendio, incluyendo aquellas aún con una cicatriz. Segundo, todas las muestras con cicatrices de incendio registradas en el 10% ó más, y por ultimo años con cicatrices de incendio registrados en el 25% de las muestras ó más (Grissino-Mayer 2001, Fulé *et al.* 2005).

En contraste con la categoría que comprende todas las cicatrices de incendios, estos filtros captan los incendios que fueron más extensos e intensos en comparación con aquellos incendios que registran solo una cicatriz en pocos árboles (Swetnam y Baisan 2003). Los estadísticos utilizados para describir la distribución de los intervalos de incendio fueron los siguientes (Grissino-Mayer 1995, 2001; Fulé *et al.* 2005):

- a) Frecuencia media de incendios (FMI)
- b) Intervalo mínimo entre incendios (IMIN), el intervalo más cortó.
- c) Intervalo máximo entre incendio (IMAX), el intervalo más largo.
- d) Intervalo medio de probabilidad de Weibull (IMPW)

Los intervalos de recurrencia de incendios raramente se distribuyen de manera normal; el IMPW puede ser utilizado con mejores resultados que el FMI, aunque los valores son con frecuencia similares numéricamente.

3.5.3.1 Relación del clima y frecuencia de incendios

La relación entre las variaciones del clima y la ocurrencia de incendios fue analizada con el programa Análisis de Época Superimpuesta (SEA, pos sus siglas en ingles), usando el software FHX2 (Grissino-Mayer, 1995). Para el desarrollo de este análisis fueron necesarias dos bases de datos. Primero, una cronología regional de anillos de árboles para emplearse como proxy del clima; para esto se empleó la cronología generada para este mismo sitio con la especie *Pseudotsuga menziesii*. La cronología maestra comprende el período de 1657-2005, que tiene una intercorrelación entre series de 0.602 y una sensibilidad media de 0.218. Segundo, se requiere de la cronología maestra de incendios, cronología que fue generada para el análisis de reconstrucción del historial de incendios.

El programa SEA sobrepone los años de incendios y resume la variable climática para los años con presencia de incendios; analiza la influencia del clima de varios años atrás y años después del incendio, para conocer el efecto de estas condiciones del clima en la ocurrencia del fenómeno. Se desarrollaron intervalos de confianza de 95%, 99% y 99.9% usando el método de bootstrapping; este método realiza 1000 simulaciones al azar, tomando como base los eventos actuales de incendios.

De esta manera, se puede determinar significativamente la influencia de las condiciones climáticas uno ó más años previos al evento del incendio. Así mismo, permite observar si los años posteriores a los incendios son generalmente húmedos o secos y si esta relación es también significativa.

3.6 Análisis de El Niño Oscilación del Sur en el suroeste de Chihuahua

3.6.1 Análisis de datos

Para el análisis de la influencia del patrón atmosférico circulatorio como El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) en las condiciones climáticas del suroeste del estado Chihuahua, se utilizó la serie de tiempo dendrocronológica generada para esta región que cubre un período de 349 años (1657-2005). La serie de precipitación reconstruida indica tendencias de alta, (resolución anual) y baja frecuencia (diez o más años). Para el análisis de la influencia del ENSO en la variación climática de la región se utilizó la serie estandarizada o índice de ancho de anillo.

El Índice de Lluvia Tropical (TRI, por sus siglas en inglés), es un estimativo de la variabilidad del ENSO que cubre un periodo de 1896–1995. Este índice fue utilizado para analizar la influencia de ENSO en la variabilidad climática del área de estudio.

Mediante el programa MATLAB 6.5, los índices generados de madera temprana se relacionaron con los índices TRI; para tal efecto se utilizaron gráficos de resolución anual y sus espectros potenciales de ondeleta que permitieron determinar la influencia de estos fenómenos en el clima regional.

La relación entre fluctuaciones climáticas a causa del fenómeno circulatorio ENSO y su relación con la ocurrencia de incendios en la Reserva Cerro El Mohinora, se

determinó al sobreponer las épocas de análisis y se evaluó estadísticamente mediante SEA.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Reconstrucción de la variabilidad climática para el suroeste de Chihuahua

Con el análisis de 53 núcleos de crecimiento se desarrollaron cronologías de madera temprana, tardía y anillo total de 349 años, que se extiende para el período de 1657 a 2005. De acuerdo con el programa COFECHA la cronología de madera temprana tuvo una intercorrelación entre series alta ($r = 0.61$), lo cual es indicativo de una respuesta climática común (Holmes, 1983).

La reconstrucción climática se fundamentó en la madera temprana como variable independiente y se ha demostrado que su formación está ligada significativamente con la precipitación invernal y esta a su vez por índices ENSO (Ropelewski y Harper, 1989; Stahle *et al.* 1998, Magaña *et al.* 1999). En México esta relación se registra de manera clara en la porción de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* en rodales de la Sierra Madre Occidental (Cleaveland *et al.* 1992).

4.1.1. Función de respuesta

Para definir la respuesta climática de la cronología se utilizó el programa PRECON (Fritts, 1999). El programa desarrolló un análisis de función de respuesta que es verificado mediante un análisis de correlación con base a los índices de crecimiento y los registros de precipitación disponibles, en este caso para el período 1966-1985, y

determinar a que período de precipitación está respondiendo el crecimiento de los árboles del sitio.

Los meses individuales de precipitación acumulada que se correlacionaron significativamente ($p < 0.05$) con la cronología de madera temprana son: Diciembre del año anterior, Marzo, Abril, Mayo, Julio y Agosto del año de crecimiento (Figura 21).

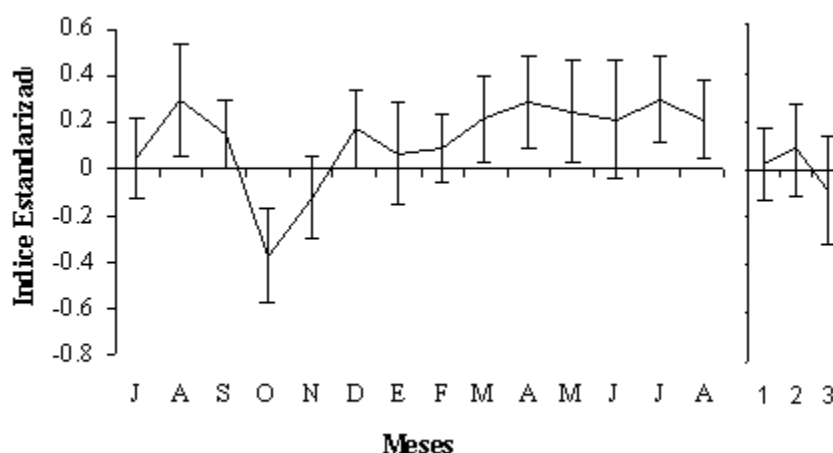


Figura 21. Función de Respuesta entre el índices de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* en la Reserva Cerro Mohinora, Chihuahua, y los registros de precipitación para el período 1961-1985 de la estación climática Guadalupe y Calvo, Chih. La Función de Respuesta incluye 14 meses de precipitación de Julio del año previo a Agosto del año en curso que comprende la estación de crecimiento. Tres elementos adicionales son asociados con el índice de crecimiento en 1, 2 y 3 años previos. Un coeficiente positivo indica una directa relación de las variables clima o crecimiento previo con el ancho del anillo, y un coeficiente negativo indica una relación inversa. Las líneas verticales indican un nivel de significancia del $p < 0.05$.

No obstante que la correlación entre el índice de madera temprana y precipitación para los meses de Enero, Febrero y Junio presentan una relación positiva pero no significativa; se encontró una respuesta significativa ($p < 0.05$) al período estacional Enero-Junio. Una explicación a dicha respuesta es que la lluvia invernal

generalmente es de baja intensidad y queda almacenada en el perfil del suelo para ser utilizada al inicio de la estación de crecimiento (Fritts, 2001).

Resultados similares se han encontrado para reconstrucciones de precipitación en el norte de México y suroeste de EUA (Stahle y Cleaveland, 1993; Stahle *et al.*, 1999; Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Cerano; 2004).

4.1.2. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera

Al relacionar la cronología de madera temprana con datos instrumentales del periodo de precipitación estacional Enero-Junio para el período 1966-1986, se encontró una respuesta significativa entre ambas variables con una correlación de 0.74 ($p < 0.05$), lo que sugiere potencial adecuado para la reconstrucción de precipitación (Figuras 22 y 23).

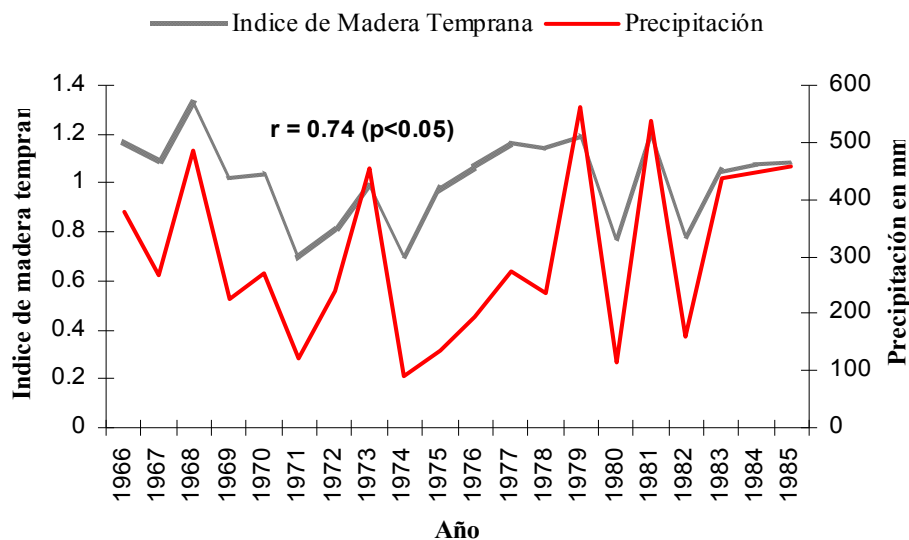


Figura 22. Asociación entre el índice de madera temprana y precipitación estacional observada Enero-Junio, periodo 1966-1985.

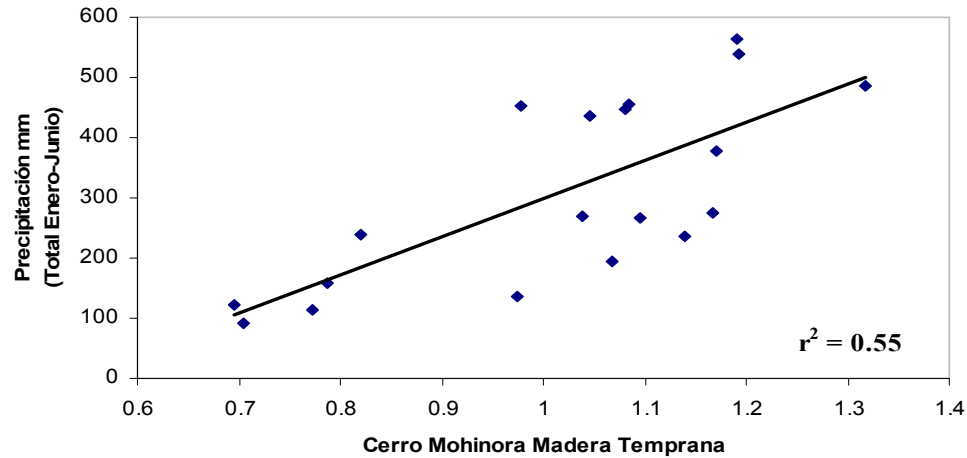


Figura 23. Gráfico de dispersión del modelo de regresión lineal que muestra la variabilidad de la cronología de madera temprana con la precipitación total de enero-junio, período 1966-1985.

4.1.2.1. Calibración y Verificación

Para que un modelo de reconstrucción sea estadísticamente válido es preciso desarrollar dos procesos; uno de calibración, realizado en la mitad de los datos climáticos disponibles y uno de verificación en la mitad restante. En este estudio el modelo se calibró con datos del subperíodo 1974-1985 y se verificó en el subperíodo 1966-1973. El modelo utilizado para la reconstrucción incluyó el período total de datos disponibles (1966-1985).

Los resultados del modelo indican una correlación de $r = 0.75$ ($r^2 = 0.56$, $p < 0.001$) entre la cronología y los datos de precipitación y explican 56% de la variabilidad en precipitación para el período de calibración. Para la verificación presentó una correlación de $r = 0.76$, explicando 58% ($r^2 = 0.58$, $p < 0.001$) de la varianza.

Debido a que tanto el subperíodo utilizado para realizar la calibración como la verificación estuvieron significativamente correlacionados con la cronología de madera temprana, se utilizó todo el período de datos climáticos disponibles (1966-1985) para generar la ecuación de reconstrucción que mostró una $r = 0.76$ ($r^2 = 0.58$, $p < 0.001$) (Cuadros 1 y 2, Figura 24).

Cuadro 1. Modelo lineal generado para la reconstrucción estacional de precipitación invierno-primavera.

Periodo	R ²	Coefficientes	Error estándar	Prueba de “t”	Probabilidad
1966 - 1985	0.58	a -374.647	137.74	-2.71	0.014
		b 670.357	134.44	4.98	0.000

Cuadro 2. Análisis de varianza del modelo de reconstrucción.

Periodo	Suma de cuadrados	df	Cuadrados medios	f	p
Regresión	247357.4	1	247357.4	24.86059	.000096
Residual	179096.1	18	9949.8		
Total	426453.5				

La subrutina VERIFY5 del Programa Dendrocronológico de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés) indicó que tanto la calibración como la verificación pasaron la prueba de significancia ($p < 0.05$) para la correlación, reducción de error, valor de “t” y primera diferencia significativa. El modelo de regresión obtenido para el periodo 1966-1985 se consideró estadísticamente válido para reconstruir el período total de la serie dendrocronológica.

El modelo bivariado utilizado fue el siguiente:

$$Y_t = -374.647 + 670.357 * X_t$$

Donde:

Y_t = Valor de precipitación reconstruido Enero-Junio para un año específico (mm).

X_t = Índice de madera temprana.

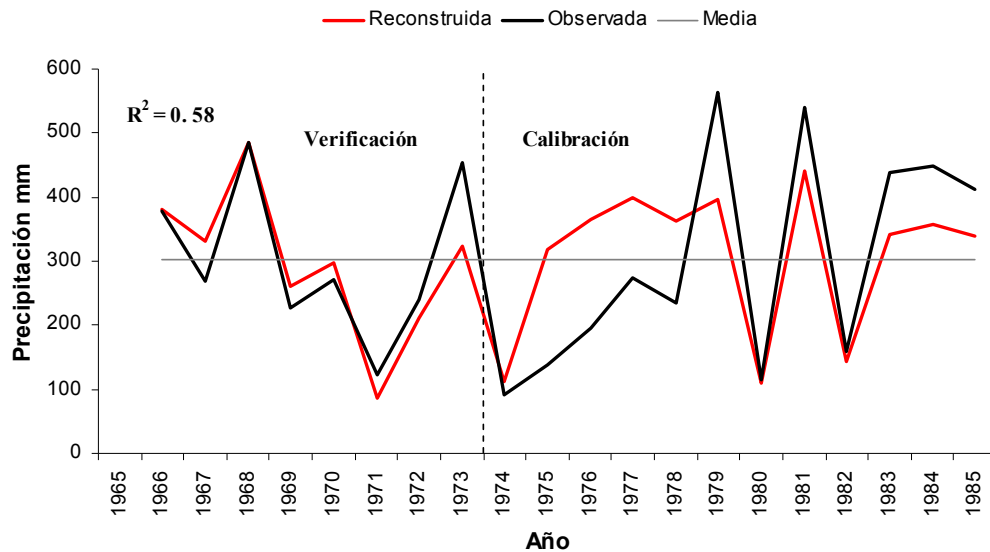


Figura 24. Calibración entre precipitación actual (línea negra) y precipitación reconstruida invierno-primavera (línea roja) para el período estacional Enero-Junio.

4.1.2.2. Análisis de variabilidad climática

La reconstrucción de precipitación invierno-primavera para la Reserva Cerro El Mohinora indica gran variabilidad interanual (alta frecuencia), decenal y multidecenal (baja frecuencia) de los patrones de precipitación para la región (Figura 25).

Sequías severas fueron reconstruidas para los periodos 1695-1715, 1753-1760, 1785-1792, 1798-1806, 1819-1830, 1841-1870, 1890-1897, 1906-1912, 1924-1941, 1971-1977 y 1994-2005. Las sequías más prolongadas ocurrieron en los periodos 1695-1715, 1841-1870, 1924-1941. Las últimas tres décadas del siglo XX y los años corrientes de la primera década del siglo XXI (1971-2005) indican un período de intensa sequía para la región, que continúa hasta el presente afectando el suroeste de Chihuahua (Figura 25).

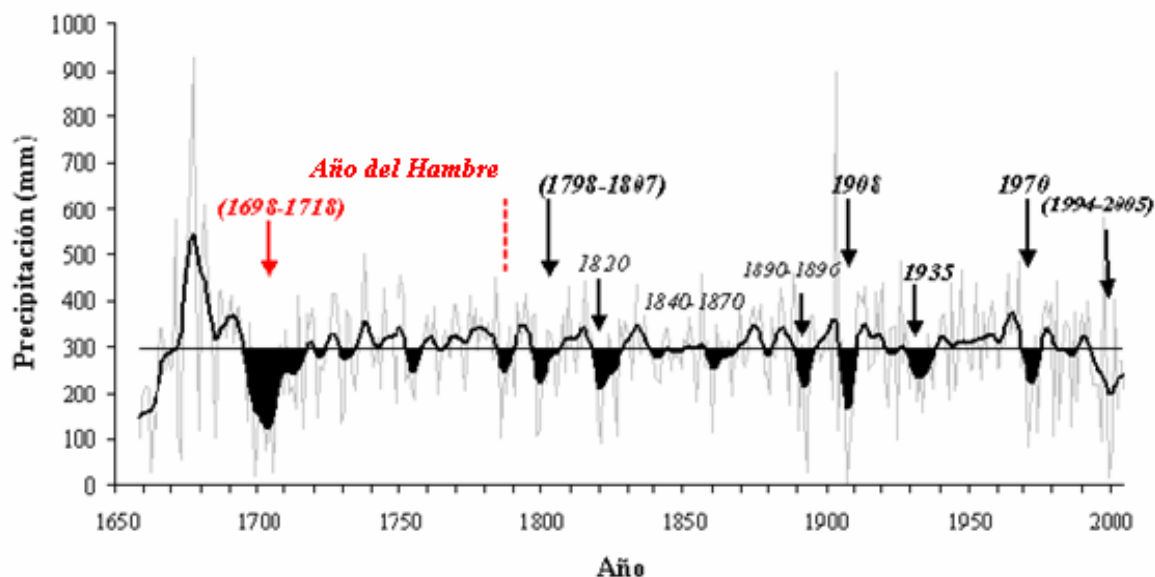


Figura 25. Precipitación estacional reconstruida para los últimos 350 años en la reserva ecológica Cerro El Mohinora, Chihuahua.

El período más seco de la reconstrucción se presentó de 1695 a 1715, lapso en el que ningún año superó la precipitación promedio. En esta sequía se presentaron epidemias intensas de sarampión y viruela que provocaron gran mortalidad entre niños y mujeres (Dunne, 1958). Información histórica indica que la población de Cusiuriachic sufrió la muerte de 1,817 adultos y más de 3,000 niños en diversas epidemias acontecidas entre 1690 y 1720 (Gerhard, 1996). Una sequía similar es reportada por Villanueva et al. (2006) para la región del noroeste de Chihuahua y este de Sonora. Esta sequía también estuvo presente en los estados de Durango y Chihuahua (Stahle *et al.* 1999; Díaz *et al.* 2002; Cleaveland *et al.* 2003).

Los períodos secos de 1752, 1758-1759 y 1785-1786 provocaron falta de grano, enfermedades y pestes en el estado de Chihuahua (Enfield y Tejedo, 2006). Los años secos de 1785 y 1786 conocidos como “El año del Hambre” provocaron una hambruna generalizada en el Valle de México, debido a la carestía de alimento (Florescano y Swam, 1995; Therrell *et al.* 2006).

Durante la sequía de 1798-1810 para el norte-centro de México el descontento social aumentó debido a los altos precios del maíz; situación que pudo haber contribuido como detonante de la Guerra de Independencia (Florescano y Swam, 1995).

El período seco indicado también se ha detectado en diversas reconstrucciones paleoclimáticas para el norte, noreste, centro de México y Texas (Stahle y Cleaveland, 1988; Stahle *et al.*, 1999; Therrell *et al.*, 2002; Díaz *et al.* 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Pohl *et al.*, 2003; Villanueva *et al.* 2006).

Otro de los periodos secos ocurrido en el siglo XIX (1841-1870) que causó severos estragos a la región norte de México. En este período ningún año superó la precipitación promedio. Esta sequía también se extendió para otras regiones del país como lo constata una reconstrucción invierno-primavera para Saltillo (Cerano, 2004), Chihuahua y Durango (Stahle *et al.*, 1998; Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003) y Nuevo León (Villanueva *et al.*, 2007).

Un período considerado como sequía nacional, es el intervalo de tiempo de 1890 – 1897, ocho años en los cuales la agricultura y ganadería se vieron diezmadas con fuertes repercusiones sociales. Este periodo seco también se ha observado en otras reconstrucciones para Coahuila, Durango, Chihuahua, Baja California Sur, Sonora y Nuevo México (Stahle *et al.* 1999; Villanueva y McPherson, 1999; Díaz *et al.* 2001; Díaz *et al.* 2002; Cleaveland *et al.* 2003; Cerano, 2004).

Florescano (1980) indica que en la década de 1890 se presentaron dos años muy secos a nivel nacional. La sequía ocurrida en 1891 se concentró en los estados norteros con efectos en el resto del país y la de 1895 a nivel nacional durante la cual se perdieron cosechas, ganado, y murió gente por inanición. La sequía de principio de la década de 1890 ha sido considerada por algunos estudiosos como una de las “sequías más generalizadas” del siglo XIX es equiparada al “año del hambre”. Eventos secos también se reportan para el período 1899 – 1895, donde los años 1891 – 1892 son los más secos en todo el país.

La reconstrucción también registra al período de 1906 a 1912 con una disminución en precipitación. Los años de 1908 y 1910 se consideran años con sequía severa, en especial 1910 que afectó el norte de México y originó descontento en la población por falta de alimento, lo cual también pudo haber influido en detonar la Revolución Mexicana (Florescano, 1980).

A mediados del siglo XX y específicamente en la década de 1950 se presentó un período seco que afectó el norte y centro de México. Este período seco se ha detectado con reconstrucciones paleoclimáticas para todo el país (Díaz *et al.* 2002; Cleaveland *et al.* 2003; Cerano, 2004; Vilanueva *et al.* 2006, 2007).

Para el caso específico de este estudio la reconstrucción desarrollada no indica la presencia de sequías severas para este período; no obstante, el período 1924 – 1941 fue seco y constituyó una intensa sequía.

Durante la sequía de 1936 se reportan en Chihuahua 475 casos de sarampión en Fujigaki y González (1982). En la década de 1930 también se presentó una sequía severa para la región suroeste de Sonora y suroeste de Chihuahua (Villanueva *et al.* 2006) lo que implica que esta sequía tuvo mayor impacto social y económico en esta región que la que se presentó más tarde en la década de 1950 y que fue más generalizada.

Finalmente el período 1971-2005 muestra una severa sequía prolongada donde solo los años de 1978-1982 y 1992-1993 excedieron la precipitación media. La década de 1970 se ha caracterizado como de extrema sequía para el norte de México, en especial los años de 1971, 1972, 1974, 1975, 1976 y 1977 (Florescano, 1980).

Dichos años secos también se encuentran presentes para Durango y noreste de México (González, 2003; Cerano, 2004; Villanueva *et al.* 2007).

4.2. Reconstrucción de los regímenes históricos de incendios

De 100 secciones transversales de *Pinus duranguensis*, *P. arizonica* y *P. ayacahuite* con cicatrices de incendios colectadas en la parte alta y baja de Cerro Mohinora, Chihuahua, se logró fechar 73 secciones con un total de 277 cicatrices de incendios (Figura 26). Del total de secciones, 32 correspondieron a la parte alta con 143 cicatrices y 41 a la baja con 134 cicatrices de incendios. El año inicial de la cronología de incendios fue 1700, para la parte alta y 1750 para la baja, el incendio registrado en la parte más interna en la parte alta fue 1737 y para la baja en 1902.

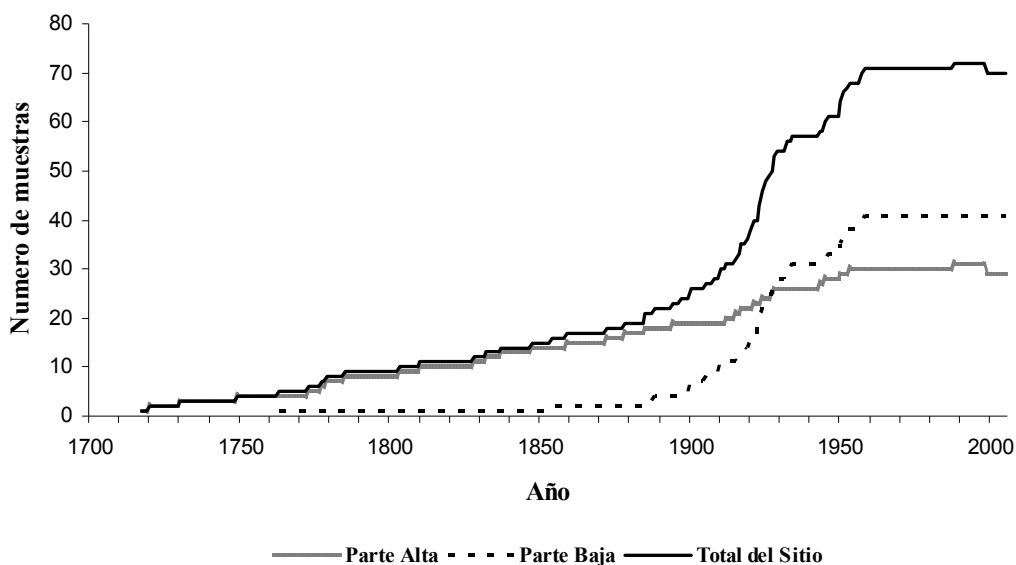


Figura 26. Profundidad de la muestra en los sitios de estudio y para el total de las muestras consideradas en el estudio.

El régimen del fuego se reconstruyó de 1700 a 2005 para la parte alta, donde los años con evidencia de incendios intensos fueron 1902, 1904, 1922, 1945 y 1971

(Figura 27). Después de 1970 a la fecha existe un período libre de incendios, solo perturbado por incendios localizados y de baja intensidad ocurridos en los años 1979, 1988, 1995, 1998 y 1999.

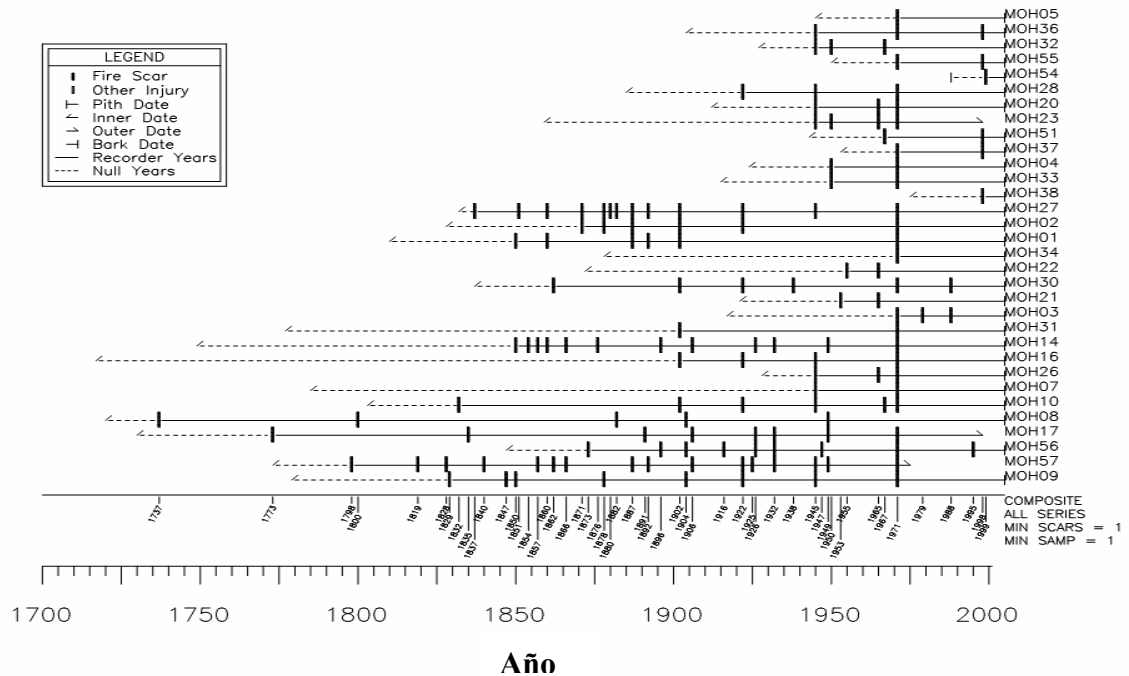


Figura 27. Reconstrucción de la frecuencia de incendios para los últimos 300 años en la parte alta de la reserva Cerro Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan la extensión de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior.

Para la parte baja el historial del fuego se reconstruyó para el período 1900-2005, donde los años con alta incidencia de incendios fueron 1995, 1988, 1985, 1971 y 1945, sin embargo se lograron también datar incendios para los años 1933, 1922 y 1902. Los dos últimos también tuvieron presentes en la parte alta de la montaña (Figura 28).

Ambos sitios indican registros de incendios para los años de 1998, 1995, 1988, 1971, 1945, 1922 y 1902; en la que sobresalen los años de 1971 y 1945, como los años en que se presentaron los incendios más intensos y extensos por su distribución en la mayor parte de la superficie; esto se relaciona con a la intensa sequía que afectó esta región en las décadas de 1940 y 1970.

El año de 1998 se caracterizó por la ocurrencia de incendios a nivel nacional, no obstante Cerro Mohinora presento incidencia de incendios localizados y de baja intensidad.

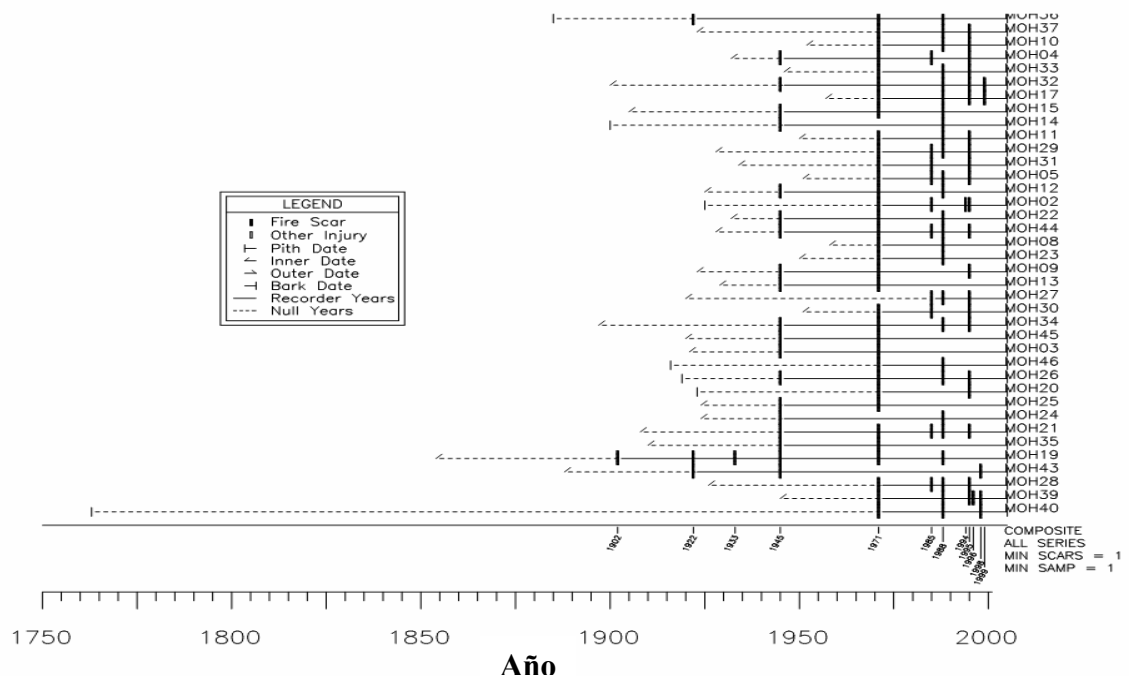


Figura 28. Reconstrucción de los regimenes históricos de incendios para los últimos 100 años en la parte baja de Cerro El Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan el periodo de tiempo de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior.

Los intervalos medios de frecuencia de incendios (MFI, por sus siglas en ingles) para la reserva “Cerro Mohinora” variaron de 5.14 a 8.82 años y el intervalo medio de probabilidad de Weibull (WMPI, por sus siglas en ingles) fue de 3.83 a 6.01 años, considerando el total de las muestras con cicatrices de incendios, aún aquellas con una sola cicatriz. Para todas las muestras con cicatrices de incendios registradas en el 10% de las secciones o más, el MFI varió entre 7.05 a 13.29 años y el WMPI de 5.10 a 12.41 años; mientras que para las cicatrices registradas en el 25% o más de las muestras, el MFI varió entre 13.76 a 13.29 años y el WMPI entre 11.63 y 12.41 años. Los intervalos mínimos por sitio fueron un año y los intervalos máximos de 26 a 36 años entre incendios (Cuadro 3).

Cuadro 3. Intervalos de recurrencia de incendios para dos sitios de estudio en bosques mixtos de pino en Cerro Mohinora, Chihuahua. El 10% indica que los estadísticos corresponden a las cicatrices de incendio registradas en el diez por ciento ó más de las muestras. El 25% corresponde a las cicatrices registradas en el veinticinco por ciento o más de las muestras. Estos filtros nos permiten observar los incendios que fueron más extensos e intensos en comparación con aquellos incendios que registran solo una cicatriz en pocos árboles, que indica un incendio que cubrió poca superficie y muy probable fue un incendio de baja intensidad.

<i>Sitio</i>	<i>Periodo de de Análisis</i>	<i>Categoría de Análisis</i>	<i>No. de Intervalos</i>	<i>MFI³</i>	<i>Min.</i>	<i>Máx.</i>	<i>WMPI⁴</i>
MOHPA¹	1700-2005	Todas las cicatrices	51	5.14	1	36	3.83
		10% cicatrices	37	7.05	1	36	5.10
		25% cicatrices	17	13.76	1	36	11.63
MOHPB²	1750-2005	Todas las cicatrices	11	8.82	1	26	6.01
		10% cicatrices	7	13.29	3	26	12.41
		25% cicatrices	7	13.29	3	26	12.41

¹MOHPA = Mohinora parte alta

²MOHPB = Mohinora parte baja

³MFI = Intervalo Medio de Frecuencia

⁴WMPI = Intervalo Medio de probabilidad Weibull.

Los intervalos son similares a los reportados en otros estudios sobre historia de incendios en bosques de pino mixtos de México. Para la Michilia, Durango, se reconstruyeron intervalos mínimos de incendios de un año y máximos de 8 a 51 años (Fulé y Covington, 1999); mientras que para la Sierra los Ajos, Sonora, se reportan intervalos mínimos de un año y máximos de 18 a 38 años (Swetnam *et al.* 2001) y para la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California Norte, mínimo de un año y máximo de 25 a 32 años (Stephens *et al.* 2003). Un estudio reciente de frecuencia de incendios para la reserva Tutuaca, Chihuahua indica intervalos mínimos de 1 a 2 años y máximos de 10 a 32 años (Fulé *et al.* 2005).

El tamaño de muestra fue de 32 para MOHPA y 41 para MOHPB. La estación de ocurrencia del incendio se estimó mediante la ubicación física de la cicatriz del incendio en el anillo de crecimiento, señalado como número total y porcentaje (número de incendios donde la estación fue determinada). Los códigos para representar la estacionalidad de los incendios son: D = dormancia; E = madera temprana; M = mitad de la madera temprana; L = final de la madera temprana y A = madera tardía (Grissino-Mayer, 2001).

Cuadro 4. Estacionalidad de incendios para dos sitios de bosque mixto de pino en la reserva “Cerro Mohinora”, Chihuahua.

Sitio	Estación Determinada	Estación No Determinada	D	E	M	L	A	Incendios de Primavera^A	Incendios de Verano^B
MOHPA									
<i>Numero</i>	143	0	0	135	3	5	0	135	8
<i>Porcentaje</i>	100	0	0	94.4	2.1	3.5	0	94.4	5.6
MOHPB									
<i>Numero</i>	134	0	0	89	35	10	0	89	45
<i>Porcentaje</i>	100	0	0	66.4	26.1	7.5	0	66.4	33.6

^ADormancia más madera temprana (D + E).

^BMitad de la madera temprana más final de madera temprana más madera tardía (M+L+A).

La estación de ocurrencia se determinó para el 100% de las muestras para la parte alta y se clasificó en su totalidad la posición de las cicatrices de incendios dentro del anillo de crecimiento (Cuadro 4). Ninguna muestra registró cicatrices de incendio para el período de dormancia y madera tardía (0%); pocas muestras registraron incendios en la porción media (2.1%) y final de la madera temprana (3.5%). En su totalidad las muestras registraron incendios en la parte inicial de crecimiento de la madera temprana (94.4%), que corresponde a los meses de primavera y solo el 5.6% se registró en los meses de verano.

Siguiendo con el mismo procedimiento también se registraron los incendios para la parte baja de Cerro Mohinora (Cuadro 2).

Los resultados indican que ninguna muestra registró cicatrices de incendios para el período de dormancia y época de formación de madera tardía (0%); pocas muestras registraron incendios en la porción final de la madera temprana (7.5%). A diferencia de la parte alta, en este sitio se registró un mayor número de cicatrices de incendios en la parte media de la madera temprana (26.1%), aunque la gran mayoría de muestras registraron incendios en la parte inicial de crecimiento de la madera temprana (66.4%).

Para la parte baja, un poco más de la mitad de incendios se registró en los meses de primavera (66.4%) y el resto durante los meses de verano (33.6%).

Estudios similares realizados en la Reserva “Tutuaca” al oeste de Chihuahua, se reporta un comportamiento similar en la ocurrencia estacional de los incendios; el 73%

de las cicatrices de los incendios se registraron en la estación de dormancia e inicio de la madera temprana, período que corresponde a los meses de primavera y 27% de las cicatrices se registró en la mitad del crecimiento de la madera temprana y final de la madera temprana, período que corresponde a los meses de verano (Fulé *et al.* 2005).

Caso contrario sucede en el norte de Arizona, EUA, donde el 70% de los incendios se presentan en el período que corresponde a los meses de verano y un 30% se registra en los meses de primavera (Heinlein *et al.* 2005). En otro trabajo en el sur del parque nacional “Gran Cañon” el 82% de los incendios se presentaron en el período de verano y el 18% en primavera (Fulé *et al.* 2003).

4.3. Relación entre el clima y ocurrencia de incendios en el suroeste de Chihuahua.

Dada la variabilidad climática reconstruida para los últimos 350 años con variaciones de alta (interanual) y baja frecuencia (diez o más años) en el tiempo y la reconstrucción de los regímenes de incendios para los últimos 300 años, para el suroeste de Chihuahua, surge la pregunta de cual es la relación entre ellos.

Al comparar la serie de tiempo reconstruida con los regímenes históricos de incendios para la parte alta en un mismo intervalo de tiempo (300 años), se observa una correspondencia significativa entre eventos de incendios y la disminución en la precipitación promedio (Figura 29a y b).

Los incendios reconstruidos más intensos para la parte alta corresponden con los años secos de 1971, 1945, 1922, 1904, 1902 y 1987. También se observa una frecuencia de incendios alta en el período de 1850 a 1880, situación que se puede atribuir a la intensa sequía reconstruida para el periodo 1840-1870.

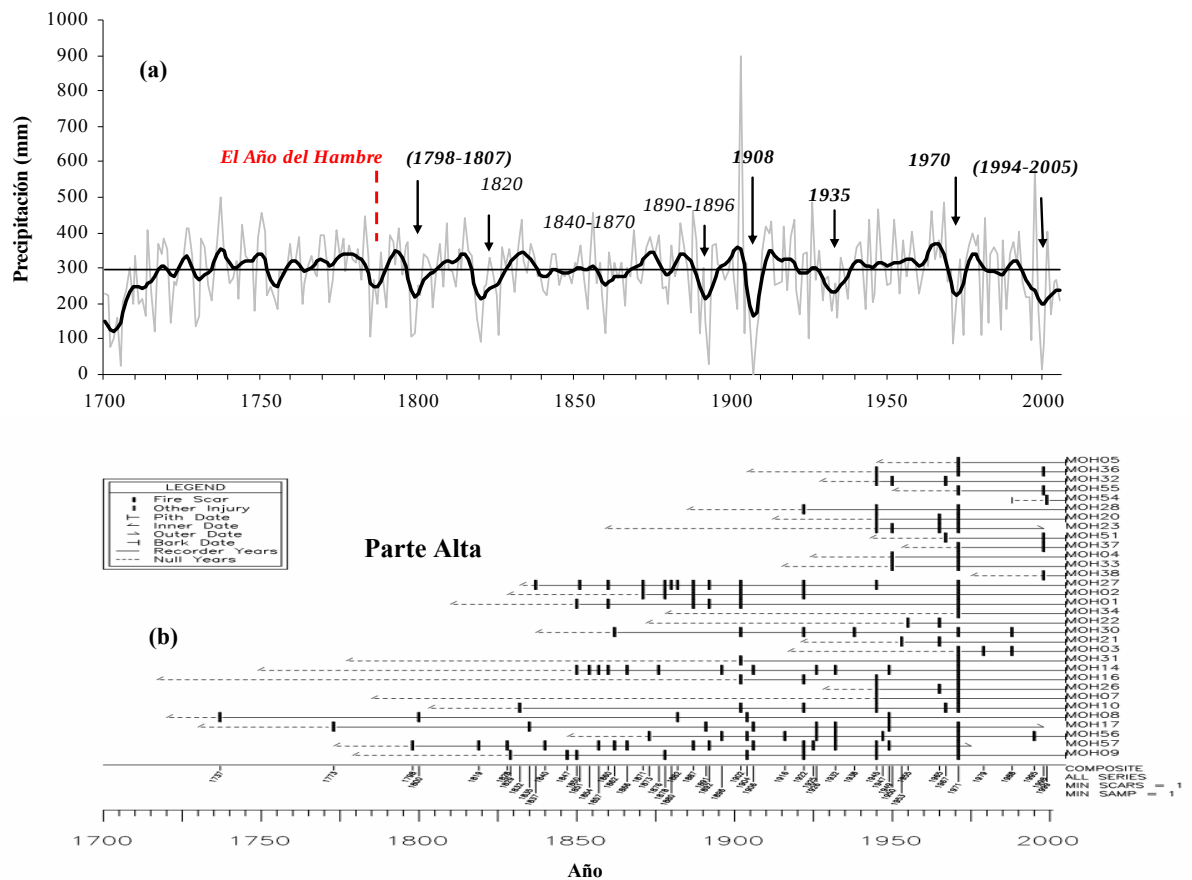


Figura 29. Relación entre la variabilidad del clima (a) y la ocurrencia de incendios (b) para los últimos 300 años en la parte alta de Cerro Mohinora, Chihuahua.

Des pues de 1970 la frecuencia y comportamiento de los incendios, cambió radicalmente para el suroeste del estado de Chihuahua, situación atribuida a cambios en el uso del suelo y sobrepastoreo, principalmente (Fulé *et al.* 2005). En contraste en los EUA los cambios en la frecuencia y comportamiento de incendios ocurrió después de

1850, 100 años antes que en México, lo que se atribuye principalmente a efectos de exclusión (Fulé *et al.* 2003; Heinlein *et al.* 2005).

En la parte baja de Cerro Mohinora, los incendios reconstruidos de mayor intensidad corresponden a los años de 1995, 1988, 1971 y 1945, encontrándose evidencias de los incendios de 1922 y 1902 de gran intensidad en la parte alta, que de igual manera se relacionan con eventos secos (Figura 30a y b).

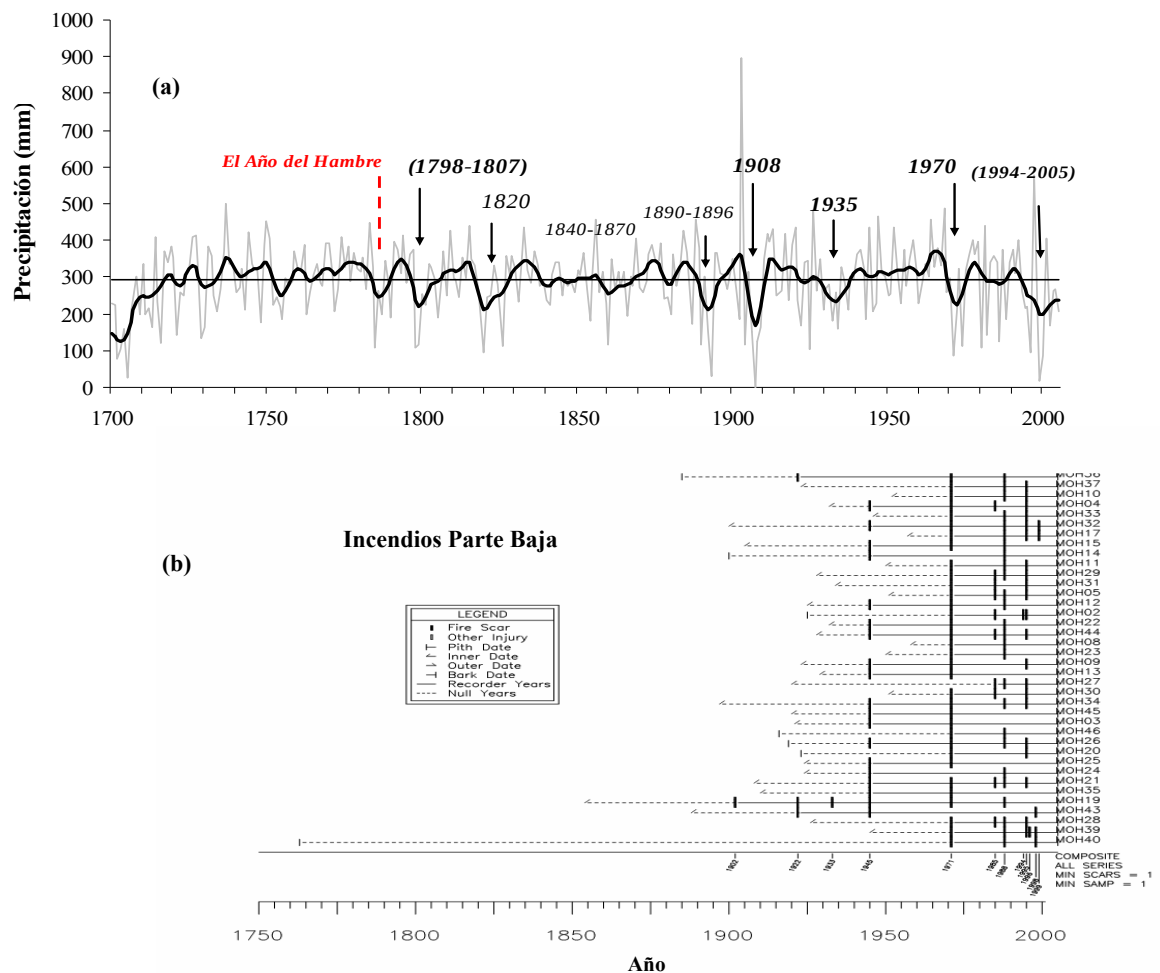


Figura 30. Relación entre la variabilidad de precipitación (a) y la ocurrencia de incendios (b) en los últimos 250 años para la parte baja de Cerro Mohinora, Chihuahua.

En general, tanto la parte alta como la baja se vieron afectadas por incendios de gran intensidad en los años de 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902.

El área de estudio reserva “Cerro Mohinora”, se localiza en la región de influencia del MNA que produce más del 60% de la precipitación anual para el suroeste del estado de Chihuahua (ERIC II, 2000).

Algunos estudios recientes (Higgins *et. al.*, 1999) concluyen que el monzón mexicano en la región de Sonora y Sinaloa, es débil durante veranos de Niño. Sin embargo, su efecto en la precipitación durante periodos de La Niña, no está bien definida. El inicio del monzón en el noroeste mexicano, puede presentar adelantos o retrasos substanciales (30 días), con respecto a la fecha de inicio de la temporada de lluvias (17 de junio). Un inicio tardío en el monzón del noroeste mexicano generalmente significa una temporada de lluvias deficientes, lo cual parece ocurrir en años de Niño.

Englehart y Douglas (2002) indican que la región oeste de la SMO presenta correlaciones bajas con El Niño Oscilación del Sur, pero sólo durante la fase positiva de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), fenómeno que es un estimativo de la variabilidad del Monzón. En contraste, durante fase positiva del PDO, la región Altiplano en el centro de México no correlaciona con el ENSO. Sin embargo, se presentan correlaciones significativas entre el ENSO y la precipitación durante la fase negativa del PDO.

Eventos intensos de ENSO provocan que la señal del Monzón sea negativa, originando una caída en la precipitación y por ende sequías de gran magnitud también asociadas con la presencia de incendios en el suroeste del estado de Chihuahua.

En años normales, el clima mexicano es parcialmente modulado por frentes fríos y lluvias invernales, tanto en la región de Baja California, Sonora y Chihuahua, como en Nuevo León y Tamaulipas (Schultz *et al.* 1997).

Las lluvias de invierno se intensifican durante años El Niño en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen hacia la parte sur (Magaña, *et. al.* 1998). Los inviernos de Niño resultan más fríos en casi todo el país. Por otra parte, los veranos de Niño son más secos y cálidos que los veranos de Niña. El impacto de El Niño en las lluvias de invierno de México no es siempre el mismo. Esto quiere decir que existen diferencias en las características regionales y temporales de las anomalías de lluvia y temperatura de un año Niño a otro.

Durante el verano El Niño provoca que las lluvias en la mayor parte del país disminuyan, llegando con frecuencia a producir sequías. La constante aparición de El Niño en la década de 1990 ha llevado a declarar zonas de desastre a gran parte de los estados del norte del país por la falta de lluvias (*La Jornada*, 25 de mayo de 1999, tomado de Magaña *et al.* 1999). Los efectos de El Niño en materia ambiental, asociados a menores precipitaciones incluyen menos humedad en el suelo y frecuentemente, pérdidas de miles de hectáreas de bosques por incendios forestales. Es por ello que los

mayores esfuerzos en materia de diagnóstico y pronóstico del clima se centran en la temporada de primavera y verano (Magaña *et al.* 1999).

En veranos de Niña, las lluvias parecen estar alrededor o por encima de lo normal en gran parte de México, pero especialmente en el noreste del país. La respuesta de las lluvias a La Niña parecen casi opuestas a las observadas durante El Niño, aunque como se ha mencionado, los patrones de anomalías no son exactamente inversos (Magaña *et al.* 1999).

La relación entre la incidencia de incendios forestales en México y condiciones de sequía para primavera-verano provocados por ENSO ha sido bien documentado (Heyerdahl y Alvarado, 2003; Román-Cuesta *et al.* 2003).

En la reconstrucción del régimen de incendios para Cerro Mohinora, Chihuahua, 1971 representa el año con mayor intensidad de incendios para los meses de primavera-verano, lo anterior se atribuye al ENSO de 1969 en su fase calida, que origino intensas sequías en el verano de 1970, iniciando así la fuerte sequía de los setentas, para 1970 se presenta nuevamente un evento ENSO en su fase fría que no represento ningún incremento en la precipitación, de esta manera el verano de 1971 represento el año más seco de la década de los setentas, originado la alta ocurrencia de incendios reportada para este año en el suroeste de Chihuahua.

El año de 1945 es el segundo lugar en cuanto a severidad de incendios, derivado del período seco de 1929 a 1940, provocado por los eventos del Niño de 1929, 1930 y

1940, ambos en su fase calida, originando una reducción de lluvia en el verano, seguidos de está sequía se presentaron eventos el Niño para los años 1942 y 1944 en su fase fría, propiciando un incremento en la precipitación de verano y esto a su vez el crecimiento de combustibles (pastos y plantas arbustivas) y que al registrarse una caída en la precipitación en el año de 1945, se dieran las condiciones ideales para el desarrollo de fuertes incendios en el período primavera-verano.

Otro año crítico fue el de 1922, atribuible a un período libre de sequías que ocurrió de 1910 a 1920. Posterior a este período se presentó una disminución en la precipitación, el Niño de 1922 en su fase fría no generó un incremento en la precipitación, propiciando que la sequía del verano de 1922 se intensificara, a cuyo evento se atribuye la ocurrencia de intensos incendios al existir gran cantidad de combustible disponible como resultado del periodo húmedo que antecedió a este evento seco.

Para principios del siglo XX se reconstruyó una fuerte incidencia de incendios para los años de 1902 y 1904. Antes de 1902 las condiciones de lluvia no mostraban caídas considerables, sin embargo, en 1902 se presenta un intenso año Niño en fase calida, originando una fuerte disminución en la precipitación de verano, lo que dio paso a fuertes incendios en los meses de primavera-verano de este año. Para 1903 se registra un fuerte año Niño en su fase fría y propicia intensas lluvias (reconstruido como el año con la mayor cantidad de lluvia de los últimos 350 años), seguido en 1904 por una fuerte sequía derivada de la influencia de otro Niño en fase calida (intensas sequías para

primavera-verano) provocando nuevamente fuertes incendios para el suroeste de Chihuahua.

Aunque existe una clara disminución en la frecuencia de incendios en la parte alta después de 1970, en la parte baja se reconstruyeron intensos incendios en 1988 y 1995. Los incendios de 1988 se atribuyen al Niño de 1986-1987 que provocó una disminución en la precipitación primavera-verano de 1988 y originó una alta incidencia de incendios a nivel nacional. Finalmente el Niño 1994-1995, que marca el inicio de la intensa sequía que hasta la fecha persiste en la región, ocasionó fuertes incendios en la estación primavera-verano de 1995, lo que se vio favorecido por las buenas condiciones de precipitación de años anteriores.

Los incendios se presentaron generalmente en años secos, ya que existe una correlación estrecha entre la presencia de un año o periodo seco y la ocurrencia de incendios. Se observa una correspondencia con la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENSO), los años previos a la ocurrencia del incendio son generalmente húmedos o con una precipitación superior a la media (Fulé *et al.* 2005). El mismo fenómeno se observa para el suroeste de los Estados Unidos (Swetnam y Baisan, 2003), donde la ocurrencia de un incendio es favorecido cuando un año seco es seguido de un año húmedo, por presentarse una alta producción de combustible. Un mecanismo similar se observa para otras áreas de Chihuahua, donde las gramíneas perennes son abundantes en los bosques de esta región (Fulé *et al.* 2005).

El norte de México es fuertemente afectado por ENSO (Stahle y Cleaveland 1993; Stahle *et al.* 1998), y la ocurrencia de incendios en el norte de México ha estado ligada a este fenómeno, como en el suroeste de los Estados Unidos y sur de Sur América (Fulé y Covington, 1997, 1999). La ocurrencia de incendios en 1998 para el centro y sur de México estuvieron asociados con ENSO (Rodríguez-Trejo y Pyne, 1998).

En este estudio los incendios más antiguos se detectaron para el año 1835. Posteriormente se presenta un período libre de incendios entre 1790 y 1830, posiblemente relacionado con una baja frecuencia de cambios en la variabilidad de ENSO (Grissino-Mayer y Swetnam, 2000; Kitzberger y Veblen, 2003; Stahle y Cleaveland, 1993).

4.4 Análisis de Sobreposición de Época

Se ha analizado la relación existente entre eventos secos y la presencia de incendios en el suroeste de Chihuahua al sobreponer las series reconstruidas de precipitación e incendios. Los bosques de coníferas son más susceptibles de sufrir incendios cuando se registra una disminución en la precipitación (años secos), antecedida de años con precipitación por arriba de la media.

Las Series reconstruidas de precipitación e incendios se analizaron con la subrutina SEA del software FHX2 (Grissino-Mayer, 1995).

El SEA determina la relación entre el clima local (ancho del anillo estandarizado) y la ocurrencia de incendios. El sitio de estudio se analizó por separado, es decir parte alta y parte baja.

El valor del clima promedio esta representado por 1 en el eje de las “Y”. El procedimiento Bootstrapping fue utilizado para evaluar la significancia estadística del clima tanto cuando supera la media (años húmedos) como cuando cae por debajo de la media (años secos); el prime año (año 0) representa el año en que ocurrió el incendio y los valores -5 hasta -1 constituyen los cinco años anteriores al incendio y los valores 1 y 2 indican la influencia del clima los siguientes dos años posteriores al incendio. Las tres líneas ubicadas arriba y abajo del eje de las “X” en cada uno de los gráficos, constituyen los intervalos de confianza al 95%, 99% y 99.9% respectivamente (Gráficos 31 y 32).

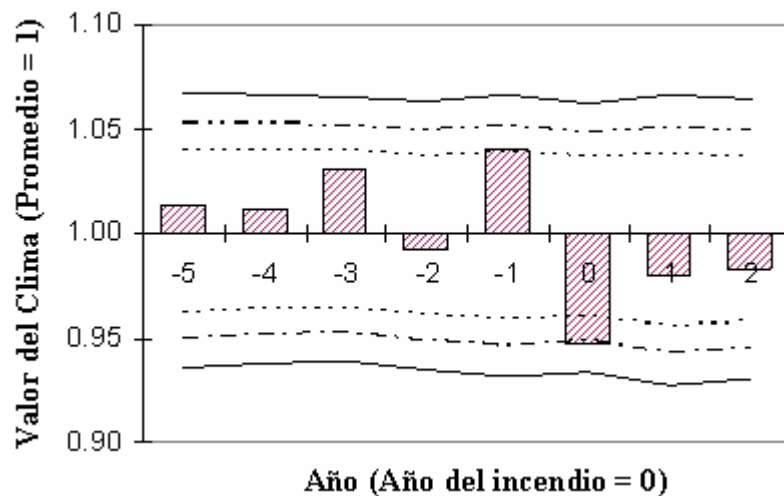


Figura 31. Análisis de clima e incendios mediante Análisis de Sobreposición de Época para la parte alta del Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones de humedad en un año previo al incendio y secas durante el incendio.

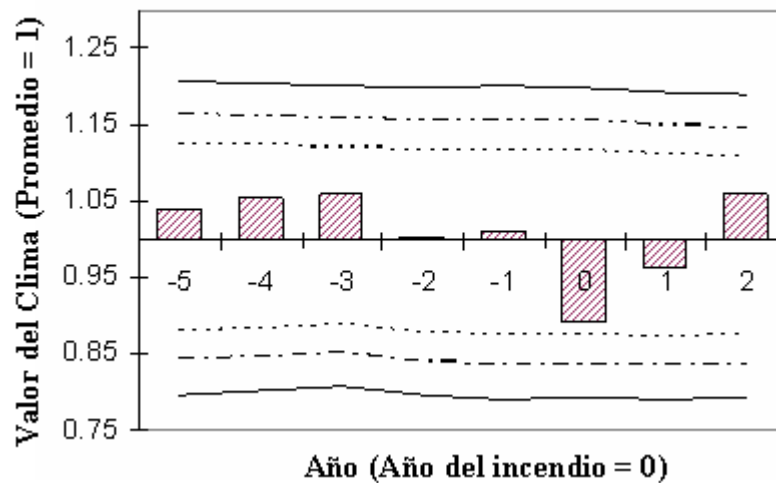


Figura 32. Análisis de clima e incendios mediante Análisis de Sobreposición de Época para la parte baja del Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones secas durante el incendio y ligeramente húmedas antes del incendio.

Para la parte alta, se encontró que los incendios tendieron a ocurrir en años secos estadísticamente significativo al 99%, seguido de años secos. El año anterior a los incendios fue un año húmedo, condiciones de precipitación por arriba de la media estadísticamente significativo al 95% (Figura 31). Patrones similares en el comportamiento de los incendios se han reportado para el oeste de Chihuahua (Fulé et al. 2005).

La parte baja mostró un comportamiento similar a la parte alta, los incendios se presentaron en años secos aunque no de manera significativa, seguidos de años secos. El año anterior a la ocurrencia de los incendios presentó condiciones húmedas, aunque no es estadísticamente significativa (Figura 32).

Siete de los años con mayor incidencia de incendios entre ellos 1995, 1988, 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902 para el suroeste de Chihuahua, coincidieron con años secos que a su vez estuvieron asociados a eventos extremos del Niño Oscilación del Sur. Los años de 1971 y 1945 presentaron los incendios más intensos y extensos que se hayan registrado en toda la superficie de estudio. Lo cual es indicativo de la intensidad del fenómeno ENSO para dichos años.

En la parte baja no fue necesaria la presencia de sequías intensas y años muy húmedos anteriores al incendio. Lo anterior se puede atribuir a que en la parte baja, las condiciones ambientales generalmente son más húmedas, existe generación y acumulación de combustible año con año, de tal manera que en la estación de primavera-verano al registrarse una reducción en la precipitación, aunque no de manera significativa, se den las condiciones propicias que hacen más susceptible al área a la incidencia de incendios.

Por el contrario, en las partes altas generalmente las condiciones ambientales son más secas, siendo necesario precipitaciones intensas, por ejemplo un año Niño en su fase calida, que incrementa significativamente la precipitación invernal, lo que permite el desarrollo de combustible, que a su vez favorece la presencia de incendios en la estación primavera-verano, aunado a una disminución de la precipitación a consecuencia del mismo fenómeno.

La topografía es uno de los factores con mayor influencia en el comportamiento del fuego. Conforme un incendio se propaga pendiente arriba, su intensidad se

incrementa, particularmente en las cimas y laderas altas ha consecuencia de condiciones relativamente más secas, en comparación a la parte baja, por lo que se espera que los árboles sean afectados más severamente en una posición topográfica alta y como consecuencia se registren más cicatrices de incendios (Pyne *et al.* 1996; Fulé *et al.* 2003; Rubio, 2007).

4.5 Influencia del ENSO en el crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* en el suroeste de Chihuahua

De manera general, las lluvias de invierno se intensifican durante años El Niño en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen hacia la parte sur (Magaña, *et. al.* 1998). Esta influencia significativa del Niño en el aumento de la precipitación invernal para el norte de México es detectada en los crecimientos anuales de los árboles de la Sierra Madre Occidental. La serie de tiempo generada para el suroeste de Chihuahua con *Pseudotsuga menziesii* indica de manera evidente los impactos de seis de los eventos más recientes del Niño 1965-66, 1972-73, 1982-83, 1986-87, 1991-92 y 1997-98, donde de acuerdo con Magaña (1999), los eventos del Niño para los años 1965-66, 1982-83 y 1991-92 produjeron lluvias invernales por encima de lo normal, lo que se tradujo en un incremento en los crecimientos anuales de los árboles para estos periodos (Figura 33).

Caso contrario, los eventos de El Niño en los años 1972-73, 1986-87 y 1997-98 no parecen haber incrementado la lluvia invernal, a lo cual se atribuye una disminución en el crecimiento anual del arbolado. El Niño 1997-98 produjo una cantidad reducida de precipitación invernal para las áreas del norte y así mismo se redujo las lluvias de

primavera-verano a nivel nacional, lo que propicio un año extremadamente seco con alta incidencia de incendios en todo el país (Gay, 2004).

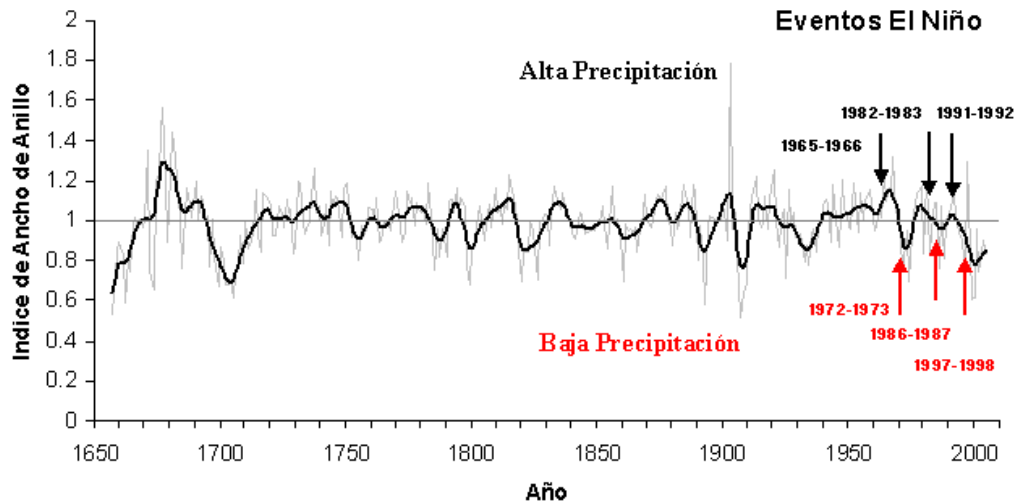


Figura 33. Serie de tiempo generada con ejemplares de *Pseudotsuga menziesii* para el Suroeste del estado Chihuahua y la influencia en los crecimientos anuales (índice de ancho de anillo) de eventos El Niño.

Trenberth (1997), señala que en los últimos cincuenta años han ocurrido doce acontecimientos El Niño. De 1982 a principios de 1999, ocurrieron cuatro Niños en los inviernos 1982-83, 1986-87, 1991-92 (que algunos definen de 1991 a 1995) y 1997-98, siendo el primero y el último de los anteriormente referidos, los más intensos del siglo XX. En el invierno de 1997-1998 las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el extremo oriental del Océano Pacífico Ecuatorial llegaron a ser de casi 6 °C (WMO, junio 1998).

La teleconexión extratropical de ENSO en el norte de México es significativa, pero su intensidad y extensión varía a través del tiempo (Cleaveland *et al.* 2003). Esta inestabilidad se ilustra con la variabilidad de la correlación entre los Índices de Lluvia Tropical (TRI, por sus siglas en inglés) para el período 1897-1999 que son estimativos de la variabilidad de ENSO y la serie de tiempo de madera temprana generada para el suroeste de Chihuahua.

Las figuras 34a y 35a muestran de manera gráfica la extensión de cada una de las series de índices que se compararon, los índices de crecimiento comprenden una extensión de 1657 al 2005 y de 1896 a 1995 los índices de ENSO. El gráfico del ENSO permite observar la periodicidad con que se presenta dicho fenómeno, las manchas de color rojo delimitadas por una línea de color negro representan períodos de ocurrencia altamente significativos de este fenómeno, se consideraron todos aquellos períodos significativos que se localizan dentro del límite de confianza representado por una línea oscura delgada que une los ejes superior e inferior en forma de ovalo.

Las figuras 34b y 35b son el resultado de la relación entre los índices de crecimiento y los índices de ENSO a nivel anual. Las manchas de color rojo delimitadas por una línea de color negro indican que existe una relación altamente significativa entre ambos fenómenos, las flechas de color negro en diferente posición determinan si la relación es positiva o negativa, flechas horizontales o paralelas hacia la derecha indican que ambos fenómenos están en fase, que su relación es positiva, caso contrario, cuando las flechas se localizan hacia la izquierda esto indica que ambos fenómenos están en antifase, su relación es negativa, las flechas que se presentan en forma vertical o forman-

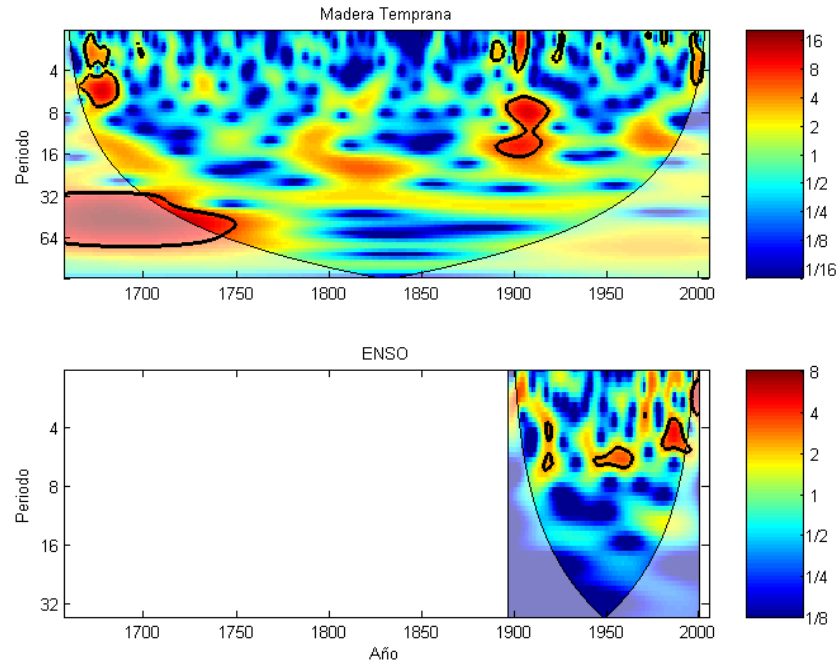


Figura 34a. Series de tiempo de índices de madera temprana y los Índices de Oscilación del Sur a nivel anual y sus espectros potenciales de ondeleta.

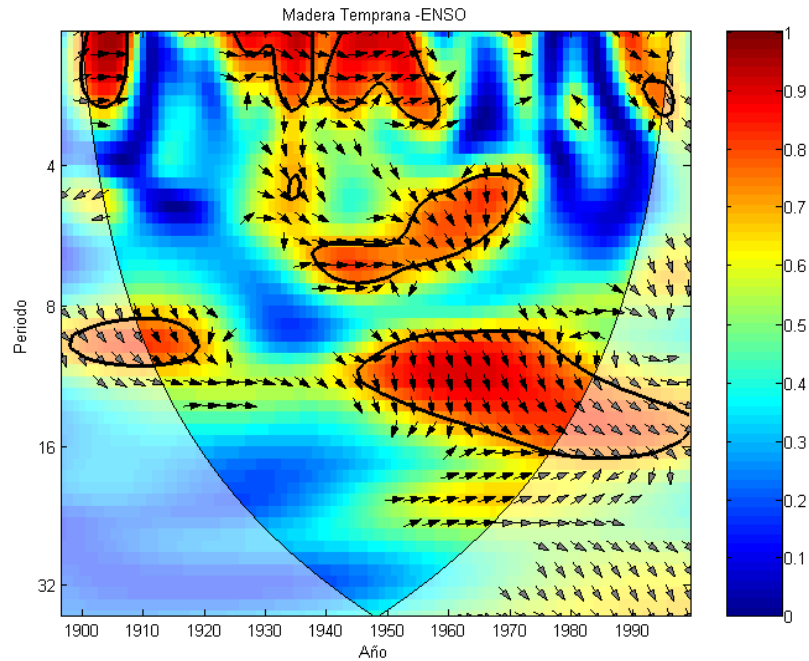


Figura 34b. Coherencia de ondeleta cruzada entre los índices de la serie de tiempo madera temprana y los índices del ENSO a nivel anual.

do un ángulo de 90° indican que los fenómenos no están en fase se desconoce si la relación es negativa o positiva. Se consideraron todos aquellos periodos con relación significativa localizados dentro del límite de confianza representado por la línea oscura delgada que une los ejes superior e inferior formando un ovalo.

De esta manera se encontró, que el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur presenta una periodicidad irregular de 4 a 7 años de manera significativa para los periodos: 1915-1922, 1945-1962 y 1980-1992 (Figura 34a y 35a).

El análisis de coherencia de ondeletas considerando las series de tiempo madera temprana e índices del ENSO a nivel anual (Figuras 34b) permitió evidenciar que el fenómeno de El Niño que se presenta en periodos de 4 a 7 años muestra una asociación significativa ($P < 0.001$) con el crecimiento anual de las masas forestales en la Reserva Cerro El Mohinora, en el suroeste del estado de Chihuahua, especialmente durante el periodo 1935-1975 con el crecimiento de madera temprana. De 1935 a 1953 ambos fenómenos se encuentran en fase, pero de 1954 a 1975 presentan un desfase; es decir, en el primer lapso señalado se correlacionan positivamente, mientras que en el último lo hacen de manera negativa.

Considerando periodicidades (8-14 años) que son múltiplos de los periodos previamente citados (4-7), se aprecia la asociación significativa entre ambos índices durante el lapso de 1948 en adelante; sin embargo las flechas inclinadas y verticales indican el desfase entre ellos y por consiguiente una correlación negativa (Figura 34b).

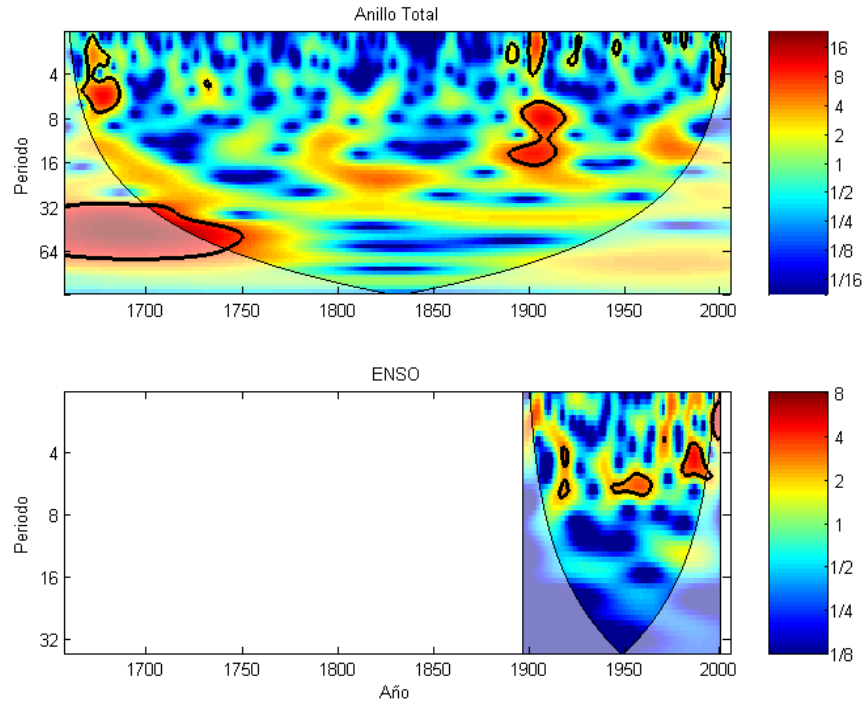


Figura 35a. Series de tiempo índices de anillo total y los Índices de Oscilación del Sur a nivel anual y sus espectros potenciales de ondeleta.

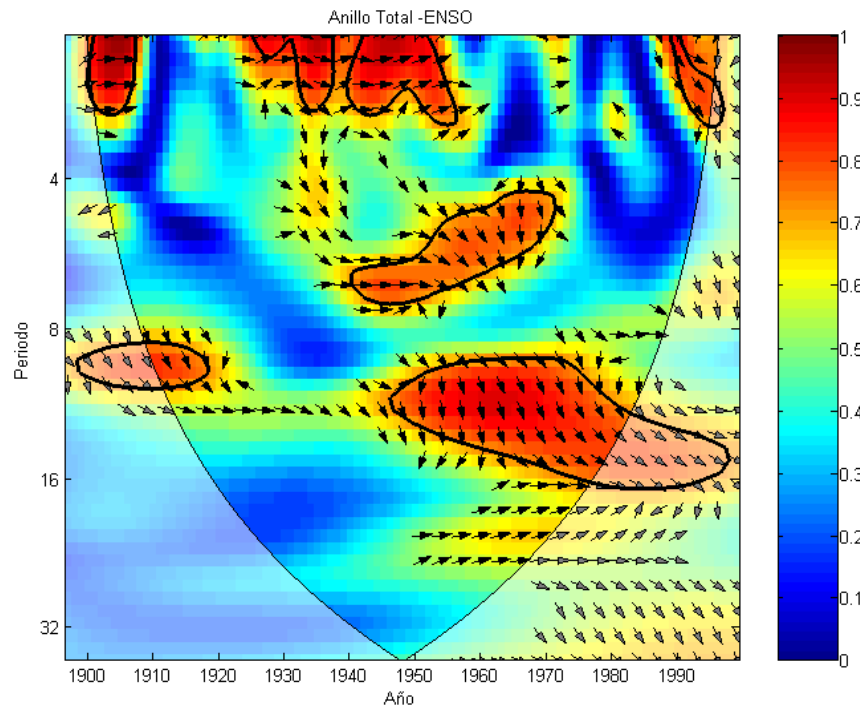


Figura 35b. Coherencia de ondeleta cruzada entre los índices de de la serie de tiempo anillo total y los índices del ENSO a nivel anual.

Este resultado implica que además de la periodicidad irregular de 2-12 años evidenciada en la figura 34a (concerniente al crecimiento de los árboles) también es influenciada por El Niño.

El mismo comportamiento se observó para el análisis de la serie de índice de ancho de anillo total al relacionarlo con los índices del ENSO (Figuras 35a y 35b).

El comportamiento similar entre el crecimiento de madera temprana y ancho de anillo total con índices del ENSO se debe a que la madera temprana representa el 80 ó 90% del crecimiento anual, el crecimiento de madera temprana esta influenciado de manera significativa por las lluvias de invierno-primavera, por tal motivo el crecimiento total presenta una misma respuesta al índice del ENSO.

CONCLUSIONES

- La similitud o sincronización de eventos secos reconstruidos para Cerro Mohinora y los reconstruidos para otros sitios del norte y centro de México permiten determinar la cobertura de los fenómenos climáticos. Las fuertes sequías que afectaron a esta región, no son eventos localizados, sino que se refiere a fenómenos climáticos de amplio impacto influenciados por patrones de circulación global que determinan la precipitación en grandes áreas de México, como es el caso de las sequías generalizadas en el norte de México en los periodos 1695-1715, 1790, 1810, 1841-1870, 1910, 1924-1941, 1970-1976 y 1994-2005.
- En los 350 años de precipitación reconstruida se detectaron fuertes sequías tanto a finales como a inicios de cada siglo es decir 1698 a 1718, 1798 a 1807, 1890 a 1908 y 1994 a la fecha, así como sequías menos intensas pero de mayor duración cada mediados de siglo como en 1650, 1750, 1850 y la más reciente de 1950. Para otras reconstrucciones en el norte de México que se extienden para un periodo más prolongado se observó un comportamiento similar con sequías intensas a finales de 1500 e inicios de 1600 (Villanueva *et al.* 2005). Actualmente para el suroeste de Chihuahua se vive una sequía que inició en la década de 1990 y continúa hasta el presente. Si en un futuro se tiene la misma tendencia climática, la sequía se presentaría en 2020 o bien 2050; debido a que las sequías después de 1900 a la fecha se han presentado con intervalos de 20 años.

- Se reconstruyeron 300 años de frecuencia de incendios para la reserva Cerro Mohinora, Chihuahua; donde se observó que los años con evidencia de incendios de alta intensidad correspondieron a los años 1995, 1988, 1985, 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902. Los incendios más intensos y extensos se presentaron en los años 1971 y 1945, situación que se relaciona con la sequía que afectó esta región en las décadas de 1940 y 1970.
- Los intervalos medios de frecuencia de incendios para la reserva “Cerro Mohinora” variaron de 7.05 a 13.29 años y el intervalo medio de probabilidad de ocurrencia de incendios, reconstruido fue de 5.10 a 12.41 años, considerando todas las cicatrices de incendios registradas en el 10% de las muestras o más. Las muestras registraron incendios en la parte inicial de crecimiento de la madera temprana en 80.4%, que corresponde a los meses de primavera y solo el 19.6% se registró en los meses de verano.
- Los fenómenos circulatorios ENSO y MONZÓN afectan la variabilidad climática regional del suroeste de Chihuahua. El Monzón explica las lluvias de verano; sin embargo, el crecimiento de los bosques de estas regiones está influenciado significativamente por las lluvias de invierno y por ende por la fase cálida de ENSO.

- Al comparar las series reconstruidas de clima e incendios se observó una relación significativa entre años secos y la ocurrencia de incendios ($p < 0.01$) para el suroeste de Chihuahua. La presencia de años húmedos, precipitaciones por arriba de la media seguidos de años secos, determinan de manera significativa ($p < 0.05$) la incidencia y comportamiento de los incendios en esta región.
- El impacto de ENSO en esta región es significativa en la presencia de incendios.

RECOMENDACIONES

- La reconstrucción de precipitación para el suroeste de Chihuahua, indica la influencia del fenómeno del Niño en el período invernal; sin embargo, no proporciona información de la precipitación de verano. El fenómeno del Monzón representa más del 60% de la lluvia para la región y esta precipitación es de importancia económica para el llenado de presas, agricultura de temporal y productividad de ecosistemas. Con la serie de madera tardía desarrollada, no fue factible detectar una respuesta significativa entre los índices dendrocronológicos y la precipitación de verano. Por lo tanto, existe la necesidad de generar una red de cronologías de madera tardía climáticamente sensitiva a la precipitación de verano para estudiar con mayor detalle patrones de circulación global como el Monzón Mexicano, el cual explica en gran medida la precipitación de dicha época.
- La quema prescrita o controlada es la aplicación controlada del fuego a combustibles en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas que llevan a confinar el fuego a un área predeterminada y al mismo tiempo, producir una intensidad calorífica y tasa de propagación requerida para atender objetivos planeados de manejo de recursos naturales (Chandler *et al.* 1983b). Ante esto, se recomienda la elaboración de programas de manejo para la aplicación de quemas controladas en el suroeste de Chihuahua, tomando en cuenta los regímenes de incendios reconstruidos y principalmente poner especial

atención en los intervalos de probabilidad de ocurrencia reconstruidos a lo largo del gradiente altitudinal de Cerro El Mohinora.

- El régimen de incendios determinado se aplica básicamente al bosque mixto de pino. Este régimen, sin embargo, no aplica a rodales con especies sensibles al fuego como es el caso de *Picea Chihuahuaza* (especie relictos en México), que debe protegerse del impacto de incendios.
- La importancia de los incendios en la estabilidad ecológica de los bosques templados en el norte de México es bien conocida; sin embargo, el entendimiento histórico de los regimenes de incendios en esta región ha sido poco estudiado. De esta manera es deseable el desarrollo de una red de cronologías de incendios que permita determinar el comportamiento histórico de este fenómeno y su impacto en la dinámica de estos ecosistemas.
- La ocurrencia de los incendios están muy ligada con el Niño Oscilación del Sur; por esta razón, es de suma importancia considerar este fenómeno a futuro. Los eventos del ENSO, actualmente tienen cierta predictibilidad, por lo que el conocimiento con anterioridad de la incidencia de este fenómeno permitirá el tomar las medidas preventivas para disminuir la susceptibilidad e intensidad de los incendios en las áreas del suroeste de Chihuahua. Más del 80% de los incendios se reconstruyeron para los meses correspondientes al período de primavera, esto indica las épocas en las cuales debemos poner especial énfasis en su prevención.

LITERATURA CITADA

- Agee, J.K. 1993. *Fire Ecology of Pacific Northwest Forests*. Island Press, Washington, D.C. 477 pp.
- Agee, J.K. 1998. Fire and pine ecosystems. En: Richardson M.S. (Ed.) *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, pp. 193-218.
- Arno, S.F. and Snack K.M. 1977. A method for determining fire history in the coniferous forests in the mountain belt. USDA Forest Service, General Technical Report INT-142.
- Baisan, C.H. and Swetnam, T.W. 1990. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research* **20**, 1559-1565.
- Bradley, R.S. 1999. Paleoclimatology. Reconstruction climates of the Quaternary. Second Edition. Academic Press. USA. 613 p.
- Capel, J. 1999. El Niño, y el sistema climático terrestre, ed. Ariel International Research Institute. <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html>
- Canadian Environmental Agency. 1997. Environmental Issues. [Http://www.eei.org/](http://www.eei.org/).
- Cavazos, T., y Hastenrath, S. 1990: Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *Int. J. Clim*, 10, 377-386.
- Cerano P., J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila. 152 pp.
- Cleaveland, M.K., D.W. Stahle, M.D. Therrell, J. Villanueva-Díaz, B.T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369-388.

- Cook, E.R. and R.H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and users manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. 15 pp.
- Cook, E.R. and L.A. Kairiukstis. 1990. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 394 pp.
- Dendrocronología. (2002). El árbol como indicador de cambios ambientales.
<http://usuarios.lycos.es/picadura/dendrocronologia.htm>
- Díaz, S.C., R. Touchan and T.W. Swetnam. 2001. A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico. International Journal of Climatology. 21: 1007-1019.
- Díaz Castro S., M.D. Therrell, D.W. Stahle, and M.K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992. Climate Research 22: 237-244.
- Dieterich, J.H. 1980. Chimney Spring forest fire history. USDA Forest Service Research Paper RM-220.
- Douglas, M., Maddox, R.A., Howard, K., Reyes, S., 1993. The Mexican monsoon. J. Climate 6, 1665–1677.
- Dunne, Peter M. 1958. Las antiguas misiones de los tarahumaras, 2 vols. Editorial Jus, Ciudad de México.
- Endfield, G. H., Tejedo, H.I. 2006. Decades of drought, years of hunger: archival investigations of multiple year droughts in late colonial Chihuahua. Climatic Change (2006) 75: 391–419.
- Englehart, P. J. and Douglas, A.V. 2002. Mexico's summer rainfall patterns: An analysis of regional modes and changes in their teleconnectivity, Atmosfera, 15, 147–164.
- ERIC II. 2000. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Extractor Rápido de Información Climatológica.

- Florescano, E.M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.
- Florescano, E. and S. Swan. 1995. Breve historia de la sequía en México. Universidad Veracruzana. México. 246 pp.
- Fritts, H.C. 1976. Tree-rings and Climate. Academic Press, London - New York – San Francisco.
- 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.
- Fritts, H.C. 2001. Tree Rings and Climate, Blackburn Press, Caldwell, New Jersey.
- Fujigaki Lechuga, Augusto, González Galván Alfonso. Epidemias conocidas en México en el siglo XX: Enrique Flores Cano y Elsa Malvido. compiladores 1982. Ensayos sobre la historia de las epidemias en México. Instituto Mexicano del Seguro Social. pp. 689-723.
- Fulé, P.Z. and W.W. Covington. 1996. Changing fire regimes in Mexican pine forests: ecological and management implications. *Journal of Forestry* 94: 33 – 38.
- Fulé, P.Z. and Covington W.W. 1997. Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Acta Botánica Mexicana* 41:43-79.
- Fulé, P.Z. and W.W. Covington. 1998. Spatial patterns of Mexican pine-oak forests under different recent fire regimes. *Plant Ecology* 134: 197 – 209.
- Fulé, P.Z.; Heinlein, T.A; Covington, W.W and Moore, M.M. 2003. Assessing fire regimes on Grand Canyon landscapes with fire-scar and fire-record data. *International Journal of Wildland Fire*, 12, 129-145.
- Fulé, P.Z., Villanueva-Díaz, J., and Ramos-Gómez, M. 2005. Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, México. *NRC Can. J. For. Res.* 35: 320-330.

- Gay, C.G. 2004. Presentación. En: L Villers R. y J. López- Blanco (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F., pp. 9-12.
- García, A.V. 1997. Las “sequías” y sus impactos en las sociedades del México decimonónico, 1856-1900. CIESAS, México. 32 pp.
- Gerhard, Peter. La Frontera norte de la Nueva España: Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 1996.
- Grissino-Mayer, H.D. and R.L. Holmes. 1993. An update list of species used in tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*. 53: 17-43.
- Grissino-Mayer, H.D. 1995. Tree-ring reconstruction of climate and fire history at El Malpais National Monument, New Mexico. Ph.D. dissertation, The University of Arizona, Tucson. 407 pp.
- Grissino-Mayer, H.D. 1999. Modeling fire interval data from the American Southwest with the Weibull distribution. *International Journal of Wildland Fire*. Canada **9**: 37–50.
- Grissino-Mayer, H.D., and Swetnam, T.W. 2000. Century-scale climate forcing of fire regimes in the American Southwest. *Holocene*, **10**: 213–220.
- Grissino-Mayer, H.D. 2001. FHX2-software for analyzing temporal and spatial patterns in fire regimes from tree rings. *Tree-Ring Research* **57**, 115-124.
- Grissino-Mayer, H.D. [En línea]. *The Ultimate Tree~Ring Web Pages*. 2005 .[fecha de consulta: Octubre 2007]. Disponible en: <<http://web.utk.edu/~grissino/principes.htm>>
- Gochis, D.J., Leal, J.-C., Jimenez, A., Watts, C.J., Garatuza- Payan, J., Shuttleworth, W.J., 2004. Analyses of 2002 and 2003 North American monsoon precipitation from the NAME event raingauge network (NERN). *Mon. Wea. Rev.* 132, 2938–2953.

- 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, N.L. 193 p.
- Heinlein, T.A; Moore, M.M; Fulé, P.Z and Covington, W.W. 2005. Fire history and stand structure of two ponderosa pine-mixed conifer sites: san Francisco Peaks, Arizona, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 307-320.
- Heinselman, M.L. 1981. Fire Intensity and Frequency as Factors in the distribution and structure of northern ecosystems. En: Mooney H.A. *et al.* (Eds.). *Regimes and Ecosystems properties*. Unites States Department of Agriculture (USDA). Forest Service. *General Technical Report*, WO-26, pp. 7-57.
- Heyerdahl, E.K. y Alvarado E. 2003. Influence of Climate and Land Use on Historical Surface Fires in Pine-Oak Forests, Sierra Madre Occidental, Mexico. En: Veblen *et al.* (Eds.). *Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Springer Verlag, Nueva York, pp.196-217.
- Higgins, R.W., Chen, Y., Douglas, A.V., 1999. Interannual variability of the North American warm season precipitation regime. *J. Climate* 12, 653–680.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and mesurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Holmes, R.L., R.K. Adams and H.C. Fritts. 1986. Quality control of crossdating and measuring: A user's manual for program COFECHA. In: *Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*. Arizona, University of Arizona.
- Houghton, J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. pp. 365.
- Houghton, J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1992. *Climate Change 1992: The Supplemental Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. pp. 200.

- Jardel, J.P. 1991. Perturbaciones naturales y antropogénicas y su influencia en la dinámica sucesional de los bosques de las joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco. *Tiempos de Ciencia* **22**: 9-26.
- Jardel, J.P. y Alvarado E. 2003. Reseña del Seminario sobre Manejo del Fuego y Restauración de los Bosques. *Memorias*. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Autlán, Jalisco, México, pp.1-5.
- Jardel, J.P., Castillo-Navarro F., Ramírez V.R., Chacón M.J. y Balcázar M.O. 2004. Los incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. En: L Villers R. y J. López- Blanco (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F., pp.147-164.
- Jardel, J.P., Ramírez V. R., Castillo-Navarro F., García R.S., Balcázar M.O., Chacón M.J. y Morfín J.E. 2005. *Programa de Manejo del Fuego y Restauración de Bosques en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán*, Jalisco-Colima. Universidad de Guadalajara-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Autlán, Jalisco, México. 48 pp.
- Jozsa, L. 1988. Increment core sampling techniques for high quality cores. Wood Science Department, Forintek Canada Corp. Special Publication No. SP-30.
- Keeley, E.J. and Zedler H.P. 1998. Evolution of life histories in *Pines*. En: Richardson M.D. (Ed) *Ecology and biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, pp. 219-250.
- Kitzberger, T., and Veblen, T.T. 2003. Influences of climate on fire in northern Patagonia, Argentina. In Fire and climatic change in temperate ecosystems of the western Americas. *Edited by* T.T. Veblen, W.L. Baker, G. Montenegro, and T.W. Swetnam. Springer-Verlag, New York. pp. 296–321.
- Magaña V, and A. Quintanar, 1997: On the use of a general circulation model to study regional climate. *2nd. UNAM-CRAY Supercomputing Conference on Earth Sciences*. Mexico City. June 1997. Ed. Cambridge University Press. 39-48
- Magaña, V. y J.L. Pérez, 1998: Usos de un modelo de mesoescala en la dinámica atmosférica regional de México. *GEOUNAM*. Vol 5, 1. Oct. 1998, 33-39.

- Magaña, V.; Pérez, J.L.; Vázquez, J.L.; Carrizosa, E. y Pérez, J. 1999. El Niño y el clima. En V. Magaña (editor). Los impactos de El Niño en México. SEP - CONACYT. Mexico. Pp. 23 - 68.
- Magaña, V.O., Vázquez J.L., Pérez J.L. y Pérez J.B. 2003. Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica internacional*. UNAM, México **42**: 313-330.
- McKenzie, D. 2004. Historia del fuego y su relación con el clima. En: Villers R. L. y López-Blanco J. (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México, D.F., pp.13-28.
- Medina, A.A., Dussart E.G., Estelrich H.D. y Morici E.A. 2000. Reconstrucción de la Historia del Fuego en un Bosque de *Prosopis caldenia* (burk.) de Arizona, sur de la provincia de San Luis. *Multequina* **9**: 91-98.
- Mosiño, P. y T. Morales. 1988. Los ciclones tropicales, El Niño y las lluvias en Tacubaya. *Geofis. Int.*, 27, 1, 61-82.
- NOAA. 2000. Una Paleoperspectiva del Calentamiento Global. <http://wdc.cricyt.edu.ar/paleo/es/globalwarming/home.html>
- Pohl, K., M.D. Therrell, J.S. Blay, N. Ayotte, J.J. Cabrera, S.C. Díaz, E.O. Cornejo, J.A. Elvir, M.E. Gonzalez, D. Opland, J. Park, G. Pederson, S.S. Bernal, L.S. Vazquez, J. Villanueva-Díaz, and D.W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. *Tree-ring research*, Vol. 59(1), 2003, pp. 11 – 19.
- Pyne, S.J., Andrews P.L. y Laven R.D.1996. *Introduction to Wildland Fire*. Second Edition, Wiley, EUA. 753 pp.
- Robinson, W. J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-ring bulletin*. 40: 59 – 64.
- Rodríguez, T.D.A. 1996. *Incendios Forestales*. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi-Prensa. México D.F. 617 pp.

- Rodríguez, T.D.A., Martínez H.H.C. y Horteaga B.V. 2004. Ecología del fuego en bosques de *Pinus hartwegii*. En: L Villers R. y López-Blanco J. (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F., pp.107-124.
- Román-Cuesta R. M., Gracia M. and Retana J. 2003. Environmental and human factors influencing fire trends in ENSO and non-ENSO years in tropical Mexico. *Ecological Applications* **13**(4):1177-1192.
- Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. 1989. North American precipitation and temperature patterns associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Monthly Weather Review* **114**: 2352 - 2362.
- Rubio, 2007. Frecuencia de incendios forestales en el bosque de *Pinus douglasiana* del Ejido Ahuacapán, Reserva de la Biosfera Sierra de Manatlán, Jalisco, México. Tesis Profesional. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. 60 pp.
- Ruiz, C.J. 2000. El fuego, factor ecológico. En: Vélez M. R. (Ed.). *La defensa contra incendios forestales, Fundamentos y Experiencias*. Mc-GRAW Hill/ Interamericana de España, Aracava, Madrid, España, pp. 4.1-4.3.
- Schulman, E. 1944. Dendrochronology in México. *Tree-Ring Bulletin* **10**: 18 – 24.
- Schulman, E. 1956. Dendroclimatic Changes in Semiarid America. University of Arizona Press, Tucson. 142 pp.
- Schultz D.M., W.E. Bracken, L.F. Bosart, G.J. Hakim, M.A. Bedrick, M.J. Dickinson And K.R. Tyle, 1997. The 1993 superstorm cold surge: frontal structure, gap flow, and tropical impact. *Monthly Weather Review*, **125**. I. 5-39.
- Scott, S.D. 1966. Dendrochronology in México. Papers of the Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona Press, Tucson. 80 pp.
- Sheppard, P.R. (2002). Crossdating Tree Rings Using Skeleton Plotting.
<http://tree.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/introcrossdate.htm>

Sheppard P. R. 2002. Ring-Growth Anomalies.
<http://tree.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/ringanomalies.htm>

Sheppard P. R. 2002. Sensitive vs. Complacent Tree-Ring Growth.
<http://tree.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/sensitivitycomplacency.htm>

Stahle, D.W., D'Arrigo, P.J. Krusic, M.K. Cleaveland, E.R. Cook, R.J. Allan, J.E. Cole, R.B. Dunbar, M.D. Therrell, D.A. Gay, M.D. Moore, M.A. Stokes, B.T. Burns, J. Villanueva-Díaz, and L.G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(10): 2137 – 2152.

Stahle, D.W. and M.K. Cleaveland. 1993. Southern Oscillation extremes reconstructed from tree-rings of the Sierra Madre Occidental and Southern Great Plains. *Journal of Climate* 6: 129-140.

Stahle, D.W., M.K. Cleaveland, M.D. Therrell, and J. Villanueva-Díaz. 1999. Tree-ring reconstruction of winter and summer precipitation in Durango, Mexico, for the past 600 years. 10th Conference of Global Change Studies. Preprint volume, American Meteorological Society, 79th Annual Meeting. January 10 – 15. Dallas, Texas.

Stat soft Inc. 2000. STATISTICA Kernel release 5.5 A Copyright © 1984-2000.

Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago.

Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1996. *An introduction to the Tree-Ring Dating*. The University of Arizona Press. 73.

Swanson, F.J., Jones J.A., Wallin D.O., and Cissel.1994 J.H. Natural variability implications for ecosystem management. En: Jensen, M.E. y Bourgeron, P.S. (Eds.). *Eastside forest ecosystem health assessment*. Vol 2, *Ecosystem management: principles and applications*. Unites States Department of Agriculture (USDA). Forest Service. *General Technical Report*, PNW-GTR-318, pp. 89-104.

- Swetnam, T.W., M.A. Thomson, and E.K. Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliate trees. USDA-Forestry Service. Agriculture Handbook No. 639.
- Swetnam, T. W., Baisan C. H. and Kaib J. M. 2001. Forest fire histories in the sky islands of La Frontera. En G. L. Webster and C. J. Bahre (eds). *Changing Plant Life of La Frontera: Observations on Vegetation in the United States/Mexico Borderlands*. University of New Mexico Press, Albuquerque, pp 95-123.
- Swetnam, T.W. and C.H. Baisan. 2003. Tree-ring reconstruction of fire and climate history in the Sierra Nevada and southwestern United States. In fire and climatic change temperate ecosystems of the western Americas. Edited by T.T. Veblen, W.L. Baker, G. Montenegro, and T.W. Swetnam. Springer-Verlag, New York. pp. 158-195.
- Therrell, M.D., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland, and J. Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107 (D14): ACL 6-1 –ACL 6-8.
- Therrell, M.D., D. W. Stahle, J. Villanueva D., E. Cornejo O., M.K. Cleaveland. 2006. Tree-ring reconstructed maize yield in central Mexico: 1474-2001. *Climatic Change* 74: 493-504.
- Trenberth, K.E. 1997. The definition of El Niño, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78. 2771-2777.
- Vélez, M.R. 2000. Perspectiva Global: El fuego en los ecosistemas forestales del mundo, En: Vélez M. R. (Ed.). *La defensa contra incendios forestales, Fundamentos y Experiencias*. Mc-GRAW Hill/ Interamericana de España, S.A.U., Aracava Madrid, pp. 2.1-2.11.
- Villanueva-Díaz, J. and G.R. McPherson. 1995. Forest stand structure in mountains of Sonora, México and New México, USA. In : DeBano, L.F., P.E. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre, and C.E. Edminster (tech. Coord.). *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico*. USDA-Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264. Pp. 416-423.

- Villanueva-Díaz, J. y G.R. McPherson. 1996. Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New Mexico, USA and Sonora, Mexico. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*. Hydrology Section, Arizona-Nevada Academy of Science 26: 45 – 54.
- Villanueva-Díaz, J. y G.R. McPherson. 1999. Estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del Norte de México. *Ciencia Forestal en México* 24(86): 37-61.
- Villanueva, D.J., J. Cerano-Paredes, D.W. Stahle, M.D. Therrell, y M.K. Cleaveland. 2003. Cronologías de anillos de árboles del norte de México y su potencial hidroclimático. XII Congreso Nacional de Irrigación (ANEI). Zacatecas, Zac. Mex. 13 al 15 de Agosto.
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano-Paredes, D.W. Stahle, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland, B.H. Luckman. 2005. Estudios paleoclimáticos en México utilizando anillos de crecimiento de especies arbóreas. Capítulo I. Libro Técnico Núm.1. Contribución al estudio de los servicios ambientales. SAGARPA, INIFAP. Pp. 7-32.
- Villanueva Díaz, J., J. Cerano Paredes., D.W. Stahle, M.D. Therrell, L. Vázquez Selem, R. Morán Martínez y B.H. Luckman. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México: Importancia ecológica y paleoclimática. Folleto Científico No. 20. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 46 pp.
- Villanueva-Díaz, J, D.W. Stahle, B.H. Luckman, J. Cerano-Paredes, M.D. Therrell y M.K. Cleaveland. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climate Change* 83:117-131.
- White, P.S. and Pickett S.T.A. 1985. Natural disturbance and patch dynamics an introduction, definitions of patch dynamics, perturbation and disturbance. En: Pickett S.T.A. y White P.S. (Eds.). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, Nueva York, EUA, pp. 4-13.
- World Meteorological Organization. Junio 1998. *World Climate News*. El Niño and climate change. **13**.
- Wright, C. S. 1996. Fire History of the Teanaway River Drainage, Washington. *Tesis de Maestría*. University of Washington, Seattle, Washington, EUA. 187 pp.

ANEXOS

Cuadro 5. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de anillo total de *Pseudotsuga menziesii*, Cerro Mohinora, Chihuahua. MOHRW Clave del sitio, (MOH) Viga y (RW) Anillo Total.

MOHRW Std: Mohinora, Chihuahua											[Estándar]
MOHRWS1657990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0 587	1 793	1 907	1
MOHRWS1660 952	1 886	1 627	1 863	1 784	11038	11068	1 997	11053	11001	11001	1
MOHRWS16701037	11393	1 772	1 677	11224	11253	11515	21620	21261	2 921	2 921	2
MOHRWS16801273	21477	21354	21218	21033	2 766	21176	21134	21019	21079	21079	2
MOHRWS16901195	21005	21116	21097	2 997	21014	2 756	2 993	2 810	2 661	2 661	2
MOHRWS1700 857	2 786	2 666	2 671	2 698	2 608	3 741	4 814	4 947	4 804	4 804	4
MOHRWS17101075	4 879	4 904	4 971	41235	4 949	4 855	41147	41130	41126	41126	4
MOHRWS17201086	4 929	4 927	41060	51088	61038	61277	61228	61101	6 847	6 847	6
MOHRWS1730 898	71224	71195	7 996	7 926	7 983	71125	71263	81040	81077	81077	10
MOHRWS1740 918	10 975	101091	10 891	101131	101069	101144	101092	10 890	101123	101123	11
MOHRWS17501158	121054	14 898	15 959	15 916	15 813	15 979	15 923	15 961	151059	151059	15
MOHRWS17601060	151012	151118	16 888	16 894	16 987	16 996	16 956	17 942	171076	171076	17
MOHRWS17701150	171043	17 885	18 935	181166	191086	191125	19 997	221107	221074	221074	22
MOHRWS17801060	221098	231006	231214	231045	23 753	23 975	23 818	23 965	23 924	23 924	24
MOHRWS1790 831	251117	251120	251056	251174	251043	251115	251065	25 776	26 692	26 692	26
MOHRWS1800 867	26 879	26 995	261081	261016	26 901	261002	281092	29 981	301210	301210	31
MOHRWS18101060	331084	33 995	331099	341060	341235	351147	351122	351012	36 845	36 845	36
MOHRWS1820 699	37 843	37 840	37 991	37 943	37 862	37 704	37 987	37 986	371024	371024	37
MOHRWS18301018	40 876	411036	411175	411090	431053	431143	431060	431019	43 993	43 993	43
MOHRWS1840 933	43 911	43 949	431041	431030	43 929	43 945	44 947	44 962	44 941	44 941	44
MOHRWS18501016	471001	481079	48 985	49 875	49 994	491179	491001	491011	49 913	49 913	49
MOHRWS1860 704	49 981	49 948	50 956	50 931	50 962	50 842	51 952	51 964	511125	511125	51
MOHRWS18701014	51 965	51 998	511093	511120	511098	531126	531167	531010	53 981	53 981	53
MOHRWS1880 880	531047	53 963	53 991	531185	531127	531072	53 921	531175	531143	531143	53
MOHRWS1890 812	53 980	53 812	53 582	53 952	531037	531016	531008	53 991	531007	531007	53
MOHRWS19001087	53 996	53 905	531795	53 971	531057	52 832	52 530	52 651	52 703	52 703	52
MOHRWS1910 973	521133	511162	511230	511021	51 974	51 994	491125	49 965	491110	491110	49
MOHRWS19201263	491007	49 890	49 999	491063	49 727	491159	47 994	471046	46 920	46 920	46
MOHRWS1930 913	46 938	45 801	45 889	45 787	45 937	45 962	44 850	44 987	44 989	44 989	44
MOHRWS19401086	441113	441094	44 900	441190	43 940	43 882	431209	431059	431045	431045	43
MOHRWS1950 974	43 966	411192	411113	40 950	401136	401017	401104	391157	381082	381082	38
MOHRWS1960 949	38 972	371039	371021	371221	371087	371156	371118	371327	371051	371051	37
MOHRWS19701057	37 757	37 818	37 943	37 698	37 931	361037	361132	361140	361169	361169	36
MOHRWS1980 836	361195	36 844	361038	341092	341089	34 762	341079	34 818	341022	341022	34
MOHRWS19901040	341070	341152	341029	34 932	34 924	34 739	331316	33 877	33 629	33 629	33
MOHRWS2000 645	33 979	32 778	32 870	32 933	32 873	329990	09990	09990	09990	09990	0
											[Residual]
MOHRWR16629990	09990	0 652	1 889	1 824	11101	11106	11025	11050	1 990	1 990	1
MOHRWR16701031	11383	1 755	1 655	11195	11280	11437	11810	11385	1 902	1 902	1
MOHRWR16801115	11280	11237	21111	2 933	2 678	21094	21069	2 981	21047	21047	2
MOHRWR16901181	21010	21099	21071	2 978	2 989	2 728	2 990	2 825	2 703	2 703	2
MOHRWR1700 909	2 851	2 754	2 754	2 796	2 631	2 901	2 920	31059	4 860	4 860	4
MOHRWR17101111	4 943	4 871	4 970	41199	4 880	4 858	41146	41089	41126	41126	4
MOHRWR17201077	4 856	4 895	4 972	41034	4 963	61171	61149	61036	6 761	6 761	6
MOHRWR1730 818	61159	61090	6 885	7 808	7 947	71087	71233	7 954	71067	71067	7
MOHRWR1740 946	10 986	101058	10 860	101148	101029	101040	101009	10 845	101142	101142	10
MOHRWR17501177	101133	12 905	14 923	15 921	15 857	151011	15 972	151035	151115	151115	15
MOHRWR17601078	151024	151096	15 896	15 921	151007	151019	16 979	16 983	171112	171112	17
MOHRWR17701154	171009	17 900	17 982	171178	181054	181072	19 984	191103	211041	211041	22
MOHRWR17801018	221064	22 986	231225	231041	23 723	23 946	23 863	231048	23 956	23 956	23
MOHRWR1790 853	241141	251124	251025	251149	25 998	251092	251070	25 746	25 754	25 754	26
MOHRWR1800 966	26 943	261059	261087	261007	26 885	261016	261092	27 944	291158	291158	30
MOHRWR1810 961	311023	33 928	331084	331010	341181	341047	351040	35 944	35 816	35 816	36
MOHRWR1820 745	36 938	37 934	371063	37 974	37 899	37 763	371093	371030	371046	371046	37
MOHRWR18301021	37 903	381103	411177	411050	411007	411091	421018	43 978	43 989	43 989	43

MOHRWR1840	931	43	933	43	981	431060	431028	43	922	43	970	43	976	44	994	44	958	44
MOHRWR18501030	441015	461084	47	959	48	869	481030	481195	48	959	491007	49	896	49				
MOHRWR1860	738	491085	49	982	49	994	49	954	501000	50	866	501010	51	996	511147	51		
MOHRWR1870	986	51	961	51	995	511096	511107	511067	511076	531112	53	931	53	963	53			
MOHRWR1880	877	531084	53	959	531013	531194	531071	531020	53	876	531190	531087	53					
MOHRWR1890	763	531002	53	816	53	646	531092	531076	531054	531001	53	987	531000	53				
MOHRWR19001087	53	960	53	894	531787	53	720	531014	52	776	52	581	52	792	52	849	52	
MOHRWR19101111	521179	511145	511176	51	937	51	938	51	990	491138	49	919	491107	49				
MOHRWR19201204	49	905	49	847	491023	491087	49	739	491234	47	948	471054	46	897	46			
MOHRWR1930	929	46	981	45	850	45	975	45	851	451035	451010	44	881	441040	441010	44		
MOHRWR19401102	441101	441051	44	852	441200	43	892	43	905	431239	431013	431029	43					
MOHRWR1950	954	43	961	411189	411047	40	902	401123	40	960	401097	391114	381032	38				
MOHRWR1960	896	38	968	371051	371010	371215	371018	371113	371050	371254	37	934	37					
MOHRWR1970	995	37	712	37	878	371020	37	753	371026	361078	361155	361102	361097	36				
MOHRWR1980	758	361195	36	798	361062	341076	341069	34	754	341126	34	834	341093	34				
MOHRWR19901063	341068	341126	34	971	34	904	34	904	34	752	331383	33	842	33	652	33		
MOHRWR2000	752	331098	32	852	32	969	32	993	32	899	329990	09990	09990	09990	0			

[Arstan]

MOHRWA1660	907	1	952	1	631	1	796	1	737	11017	11083	11047	11070	11012	1					
MOHRWA16701041	11394	1	854	1	660	11099	11269	11512	11961	11670	11162	1								
MOHRWA16801222	11350	11344	21230	21024	2	708	21026	21045	2	994	21050	2								
MOHRWA16901192	21061	21133	21110	21018	21004	2	731	2	926	2	780	2	642	2						
MOHRWA1700	800	2	766	2	677	2	652	2	679	2	518	2	751	2	811	3	988	4	838	4
MOHRWA17101070	4	943	4	865	4	931	41168	4	913	4	854	41102	41099	41160	4					
MOHRWA17201126	4	903	4	885	4	934	41006	4	958	61161	61184	61097	6	803	6					
MOHRWA1730	780	61086	61089	6	915	7	797	7	890	71040	71231	71014	71094	7						
MOHRWA1740	970	10	988	101052	10	871	101122	101045	101064	101029	10	859	101111	10						
MOHRWA17501189	101190	12	970	14	935	15	902	15	826	15	959	15	944	151018	151113	15				
MOHRWA17601107	151061	151121	15	931	15	917	15	980	151006	16	979	16	979	171105	17					
MOHRWA17701177	171063	17	933	17	972	171164	181090	181110	191019	191119	211072	22								
MOHRWA17801048	221083	221011	231236	231099	23	771	23	901	23	816	23	993	23	935	23					
MOHRWA1790	836	241095	251130	251066	251178	251047	251122	251104	25	784	25	713	26							
MOHRWA1800	875	26	884	261018	261080	261028	26	900	26	995	261080	27	962	291157	30					
MOHRWA1810	995	311038	33	936	331072	331021	341193	341096	351083	35	974	35	818	36						
MOHRWA1820	699	36	847	37	867	371015	37	964	37	892	37	733	371018	371007	371049	37				
MOHRWA18301033	37	916	381087	411189	411105	411052	411114	421051	431002	43	994	43								
MOHRWA1840	930	43	915	43	953	431040	431033	43	934	43	957	43	959	44	979	44	949	44		
MOHRWA18501016	441014	461089	47	982	48	874	48	998	481182	481003	491026	49	902	49						
MOHRWA1860	717	491007	49	954	49	984	49	945	50	986	50	857	50	974	51	975	511138	51		
MOHRWA18701016	51	979	51	992	511092	511129	511107	511115	531151	53	980	53	974	53						
MOHRWA1880	869	531050	53	957	531008	531191	531118	531068	53	904	531174	531119	53							
MOHRWA1890	810	53	969	53	789	53	592	53	972	531027	531058	531018	53	997	531001	53				
MOHRWA19001087	53	981	53	898	531761	53	893	531066	52	781	52	535	52	658	52	719	52			
MOHRWA19101008	521152	511182	511236	511013	51	965	51	983	491130	49	949	491108	49							
MOHRWA19201225	49	970	49	863	49	987	491070	49	755	491182	47	966	471064	46	909	46				
MOHRWA1930	913	46	951	45	829	45	929	45	816	45	983	45	987	44	876	441008	441000	44		
MOHRWA19401103	441126	441092	44	887	441183	43	925	43	906	431209	431054	431064	43							
MOHRWA1950	975	43	961	411177	411086	40	940	401117	40	982	401105	391138	381076	38						
MOHRWA1960	929	38	959	371034	371014	371221	371073	371153	371095	371293	371014	37								
MOHRWA19701029	37	720	37	813	37	946	37	721	37	954	361039	361159	361145	361149	36					
MOHRWA1980	809	361164	36	818	361035	341066	341089	34	782	341082	34	831	341061	34						
MOHRWA19901061	341089	341153	341017	34	924	34	888	34	717	331303	33	886	33	656	33					
MOHRWA2000	658	33	980	32	812	32	921	32	955	32	880	329990	09990	09990	09990	0				

Cuadro 6. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de madera temprana de *Psedotsuga menziesii*, Cerro Mohinora, Chihuahua. MOHEW Clave del sitio, (MOH) Mohinora y (EW) Madera Temprana.

MOHEW Std: Mohinora, Chihuahua										[Estándar]	
MOHEWS16579990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0 579	1 790	1 924	1
MOHEWS1660 956	1 917	1 634	1 823	1 758	11096	11091	1 971	11041	1 971	1	1
MOHEWS1670 978	11454	1 752	1 681	11239	11319	11576	21720	21306	2 802	2	2
MOHEWS16801317	21508	21368	21242	21001	2 764	21182	21157	21032	21109	2	2
MOHEWS16901163	21021	21131	21128	2 997	21032	2 747	21055	2 727	2 562	2	2
MOHEWS1700 840	2 811	2 610	2 650	2 714	2 607	3 780	4 852	4 956	4 845	4	4
MOHEWS17101132	4 821	4 936	4 860	41266	4 958	4 761	41118	41076	41091	4	4
MOHEWS17201055	4 862	4 949	4 942	5 910	61052	61294	61242	61106	6 833	6	6
MOHEWS1730 886	71264	71190	71017	7 941	7 968	71137	71302	81082	81045	10	10
MOHEWS1740 914	10 940	101074	10 880	101162	101087	101117	101112	10 882	101115	11	11
MOHEWS17501167	121038	14 888	15 966	15 901	15 805	151018	15 936	15 926	151068	15	15
MOHEWS17601009	151014	151153	16 827	16 901	16 995	161006	16 951	17 939	171104	17	17
MOHEWS17701151	171044	17 862	18 932	181153	191072	191167	191000	221125	221088	22	22
MOHEWS17801081	221124	23 988	231229	231051	23 741	23 952	23 808	23 982	23 924	24	24
MOHEWS1790 818	251143	251130	251059	251208	251032	251143	251125	25 758	26 688	26	26
MOHEWS1800 865	26 852	261013	261057	261016	26 850	26 994	281130	29 993	301255	31	31
MOHEWS18101105	331093	331014	331124	341066	341287	351202	351154	351037	36 833	36	36
MOHEWS1820 672	37 848	37 852	37 999	37 950	37 864	37 676	37 996	37 971	371060	37	37
MOHEWS18301045	40 878	411040	411206	411077	431037	431165	431103	431032	431012	43	43
MOHEWS1840 921	43 873	43 977	431054	431068	43 951	43 984	44 963	44 969	44 926	44	44
MOHEWS18501018	471003	481097	48 978	49 838	49 959	491210	49 969	491027	49 914	49	49
MOHEWS1860 697	49 974	49 910	50 981	50 931	50 981	50 820	51 945	51 924	511126	51	51
MOHEWS1870 977	51 933	51 976	511074	511133	511089	531110	531178	53 985	53 938	53	53
MOHEWS1880 842	531051	53 962	531008	531179	531137	531054	53 855	531201	531153	53	53
MOHEWS1890 762	53 980	53 767	53 540	53 963	531052	53 991	531017	53 977	531001	53	53
MOHEWS19001070	53 986	53 845	531873	53 966	531067	52 829	52 508	52 620	52 667	52	52
MOHEWS1910 953	521135	511179	511255	511026	51 990	51 957	491162	49 954	491141	49	49
MOHEWS19201261	491000	49 855	491040	491067	49 703	491210	47 996	471075	46 893	46	46
MOHEWS1930 941	46 945	45 793	45 880	45 744	45 957	45 940	44 839	44 960	44 967	44	44
MOHEWS19401079	441120	441079	44 882	441195	43 898	43 871	431223	431064	431041	43	43
MOHEWS1950 963	43 953	411214	411101	40 958	401143	401035	401105	391194	381071	38	38
MOHEWS1960 946	38 979	371047	371020	371244	371110	371171	371131	371343	371059	37	37
MOHEWS19701073	37 737	37 830	37 968	37 680	37 944	361062	361157	361154	361231	36	36
MOHEWS1980 814	361228	36 826	361057	341103	341097	34 761	341084	34 820	341015	34	34
MOHEWS19901092	341034	341202	341021	34 921	34 907	34 690	331359	33 877	33 586	33	33
MOHEWS2000 611	331028	32 756	32 862	32 913	32 855	329990	09990	09990	09990	0	0
										[Residual]	
MOHEWR16619990	0 931	1 638	1 822	1 776	11115	11114	1 976	11032	1 965	1	1
MOHEWR1670 972	11451	1 757	1 652	11226	11341	11425	11960	11280	2 746	2	2
MOHEWR16801260	21505	21339	21177	2 934	2 715	21170	21180	21034	21096	2	2
MOHEWR16901154	21009	21111	21115	2 982	21021	2 745	21055	2 750	2 576	2	2
MOHEWR1700 871	2 865	2 654	2 690	2 771	2 581	2 835	2 920	31009	4 858	4	4
MOHEWR17101079	4 845	4 872	4 795	41210	4 915	4 740	41127	41068	41117	4	4
MOHEWR17201083	4 766	4 933	4 913	41004	41019	51184	61187	61059	6 748	6	6
MOHEWR1730 810	61098	61075	7 926	7 843	7 935	71102	71289	71027	71026	7	7
MOHEWR1740 931	10 952	101026	10 863	101179	101046	101040	101028	10 817	101110	10	10
MOHEWR17501183	101144	11 899	14 949	14 890	14 850	151003	15 980	15 991	151115	15	15
MOHEWR17601039	151040	151133	15 856	15 938	161014	161055	16 984	16 968	171136	17	17
MOHEWR17701146	171014	17 866	17 954	171167	181052	181135	191003	191119	221055	22	22
MOHEWR17801036	221090	22 968	231234	231049	23 719	23 953	23 853	231073	23 966	23	23
MOHEWR1790 847	241160	251125	251029	251181	25 982	251114	251118	25 726	25 732	26	26
MOHEWR1800 936	26 902	261080	261064	261014	26 845	26 999	261129	27 942	291212	29	29
MOHEWR18101005	311011	33 931	331091	331007	341223	341095	351063	35 958	35 789	36	36
MOHEWR1820 701	36 937	37 938	371064	37 983	37 898	37 727	371097	371018	371092	37	37
MOHEWR18301039	37 907	381099	401211	401041	41 989	411115	421065	43 979	43 996	43	43
MOHEWR1840 912	43 895	431014	431066	431066	43 936	43 994	43 967	43 993	44 945	44	44
MOHEWR18501034	441012	461108	47 956	48 833	481001	481237	48 942	491026	49 895	49	49
MOHEWR1860 729	491071	49 955	491023	49 953	501017	50 840	501001	51 957	511151	51	51
MOHEWR1870 957	51 939	51 983	511088	511126	511057	511063	531129	53 915	53 920	53	53
MOHEWR1880 847	531093	53 964	531028	531186	531094	531004	53 814	531228	531112	53	53

MOHEWR1890	733	531002	53	781	53	608	531095	531104	531031	531017	53	948	53	993	53
MOHEWR1900	1067	53	962	53	839	531873	53	733	531022	52	775	52	556	52	749
MOHEWR1910	1087	521193	511160	511210	51	938	51	948	51	953	491180	49	918	491135	49
MOHEWR1920	1213	49	919	49	818	491065	491083	49	715	491278	47	958	471080	46	874
MOHEWR1930	955	46	977	45	837	45	955	45	807	451054	45	987	44	877	441010
MOHEWR1940	1101	441118	441045	44	843	441207	43	869	43	904	431256	431029	431019	43	
MOHEWR1950	942	43	945	411219	411040	40	911	401123	40	979	401087	391158	381023	38	
MOHEWR1960	896	38	971	371054	371011	371239	371048	371130	371057	371287	37	952	37		
MOHEWR1970	1004	37	688	37	878	371040	37	730	371029	361101	361166	361109	361153	36	
MOHEWR1980	726	361212	36	777	361070	341094	341077	34	760	341125	34	840	341073	34	
MOHEWR1990	1123	341028	341165	34	962	34	892	34	900	34	712	331442	33	852	33
MOHEWR2000	697	331167	32	830	32	965	32	969	32	884	329990	09990	09990	09990	0

[Arstan]

MOHEWA16599990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0	924	1							
MOHEWA1660	956	1	915	1	617	1	740	1	688	11029	11089	1	997	11040	1	973	1			
MOHEWA1670	971	11442	1	840	1	665	11145	11337	11505	12091	11542	2	958	2						
MOHEWA1680	1305	21560	21478	21324	21044	2	756	21127	21180	21082	21130	2								
MOHEWA1690	1187	21058	21140	21148	21025	21040	2	755	21011	2	728	2	525	2						
MOHEWA1700	752	2	770	2	585	2	587	2	650	2	472	2	698	2	810	3	943	4	829	4
MOHEWA1710	1040	4	836	4	844	4	748	41146	4	918	4	739	41069	41056	41135	4				
MOHEWA1720	1115	4	802	4	905	4	875	4	970	41001	51181	61222	61119	6	793	6				
MOHEWA1730	782	61035	61060	7	941	7	837	7	898	71066	71292	71091	71072	7						
MOHEWA1740	953	10	950	101012	10	860	101153	101062	101067	101047	10	833	101082	10						
MOHEWA1750	1183	101188	11	954	14	958	14	878	14	823	15	956	15	954	15	978	151106	15		
MOHEWA1760	1057	151062	151151	15	891	15	932	16	990	161046	16	992	16	971	171130	17				
MOHEWA1770	1168	171060	17	894	17	939	171145	181074	181163	191042	191143	221087	22							
MOHEWA1780	1067	221112	22	996	231244	231097	23	761	23	916	23	813	231029	23	954	23				
MOHEWA1790	841	241125	251134	251067	251207	251028	251140	251148	25	768	25	701	26							
MOHEWA1800	855	26	844	261035	261056	261028	26	856	26	974	261109	27	961	291215	29					
MOHEWA1810	1043	311041	33	943	331084	331018	341235	341142	351113	35	994	35	799	36						
MOHEWA1820	661	36	851	37	876	371025	37	976	37	896	37	705	371029	37	995	371093	37			
MOHEWA1830	1057	37	928	381090	401221	401093	411028	411130	421093	431009	431007	43								
MOHEWA1840	914	43	879	43	982	431051	431074	43	955	43	992	43	961	43	985	44	938	44		
MOHEWA1850	1020	441010	461112	47	979	48	840	48	967	481215	48	980	491043	49	902	49				
MOHEWA1860	714	491006	49	928	491010	49	948	501008	50	836	50	970	51	935	511136	51				
MOHEWA1870	977	51	948	51	971	511077	511138	511091	511094	531156	53	954	53	926	53					
MOHEWA1880	828	531053	53	957	531025	531187	531133	531049	53	837	531202	531135	53							
MOHEWA1890	779	53	972	53	754	53	557	53	985	531058	531041	531030	53	958	53	987	53			
MOHEWA1900	1061	53	973	53	839	531839	53	880	531081	52	779	52	521	52	635	52	694	52		
MOHEWA1910	992	521161	511190	511262	511008	51	976	51	949	491168	49	946	491141	49						
MOHEWA1920	1235	49	979	49	837	491031	491073	49	732	491233	47	977	471099	46	891	46				
MOHEWA1930	944	46	955	45	822	45	916	45	773	451002	45	965	44	870	44	981	44	982	44	
MOHEWA1940	1095	441134	441081	44	872	441190	43	893	43	902	431227	431064	431054	43						
MOHEWA1950	959	43	943	411204	411074	40	946	401120	40	997	401098	391176	381067	38						
MOHEWA1960	926	38	963	371040	371015	371246	371097	371173	371100	371323	371025	37								
MOHEWA1970	1040	37	698	37	824	37	976	37	708	37	970	361067	361176	361150	361199	36				
MOHEWA1980	779	361188	36	792	361048	341083	341098	34	787	341093	34	838	341051	34						
MOHEWA1990	1117	341056	341187	341004	34	911	34	883	34	680	331368	33	892	33	611	33				
MOHEWA2000	611	331053	32	803	32	932	32	936	32	865	329990	09990	09990	09990	0					

Cuadro 7. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de madera tardía de *Pseudotsuga menziesii*, Cerro Mohinora, Chihuahua. MOHLW Clave del sitio, (VIG) Viga y (LW) Madera Tardía.

MOHLW Std: Mohinora, Chihuahua													[Estándar]			
MOHLWS16579990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0 675	1 842	1 797	1					
MOHLWS1660 942	1 663	1 591	11191	11004	1 624	1 916	11211	11165	11245	1						
MOHLWS16701493	1 984	1 936	1 668	11146	1 823	11142	2 991	2 994	21697	2						
MOHLWS16801027	21306	21295	21093	21249	2 810	21159	21016	2 966	2 925	2						
MOHLWS16901401	2 935	21062	2 951	21019	2 942	2 833	2 684	21271	21204	2						
MOHLWS1700 969	2 679	2 972	2 797	2 640	2 549	3 594	4 612	4 816	4 700	4						
MOHLWS1710 894	41072	4 616	41030	4 988	4 839	41312	41239	41298	41123	4						
MOHLWS17201189	41274	4 977	41549	51236	6 982	61271	61137	6 919	6 980	6						
MOHLWS17301009	7 959	71201	7 929	7 900	71065	71101	71126	8 876	81059	10						
MOHLWS17401016	101083	101044	10 947	10 989	10 962	101069	101032	10 935	101127	11						
MOHLWS17501015	12 982	14 856	15 750	15 837	15 806	15 738	15 774	151092	151007	15						
MOHLWS17601188	15 984	15 912	161089	16 917	161051	16 954	16 947	17 955	171016	17						
MOHLWS17701073	171036	171034	181036	181185	191120	19 951	191019	221034	221006	22						
MOHLWS1780 946	22 954	231078	231078	231071	23 862	23 896	23 936	23 954	23 952	24						
MOHLWS1790 917	251014	251150	251062	251009	251144	251088	25 992	25 926	26 761	26						
MOHLWS1800 954	261052	26 990	261213	261080	261106	261122	281060	291058	301035	31						
MOHLWS1810 905	331092	331007	331037	341112	341028	35 953	351041	35 946	36 944	36						
MOHLWS1820 875	37 900	37 876	371012	37 970	37 954	37 931	371011	371137	37 905	37						
MOHLWS1830 954	40 962	411068	411081	411145	431116	431073	43 896	43 989	43 943	43						
MOHLWS1840 993	431094	43 882	43 993	43 876	43 861	43 788	44 950	44 950	44 991	44						
MOHLWS18501019	471030	481010	481028	491055	491120	491022	491140	49 942	49 899	49						
MOHLWS1860 745	491007	491073	50 852	50 928	50 872	50 938	51 959	511136	511103	51						
MOHLWS18701145	511060	511075	511136	511041	511138	531157	531088	531071	531130	53						
MOHLWS18801011	53 992	53 927	53 887	531140	531008	531117	531179	531031	531065	53						
MOHLWS1890 969	53 948	53 982	53 805	53 915	53 934	531109	53 951	531085	53 988	53						
MOHLWS19001140	531005	531150	531255	53 962	53 914	52 841	52 651	52 802	52 850	52						
MOHLWS19101004	521082	511058	511070	511003	51 915	511145	49 943	49 980	491005	49						
MOHLWS19201244	491033	491025	49 822	491038	49 891	49 935	471003	47 921	461031	46						
MOHLWS1930 777	46 901	45 849	45 968	45 993	45 855	451060	44 916	441127	441094	44						
MOHLWS19401126	441062	441151	441006	441136	431153	43 956	431124	431038	431077	43						
MOHLWS19501049	431036	411061	411152	40 916	401114	40 931	401092	391004	381100	38						
MOHLWS1960 988	38 967	371036	371015	371117	37 993	371058	371100	371171	371007	37						
MOHLWS1970 982	37 874	37 787	37 875	37 815	37 912	36 948	361040	361150	36 888	36						
MOHLWS1980 979	361064	361020	36 985	341029	341080	34 817	341047	34 847	341060	34						
MOHLWS1990 819	341209	34 950	341077	341029	341075	341011	331141	33 893	33 850	33						
MOHLWS2000 805	33 772	32 858	32 893	32 934	32 903	329990	09990	09990	09990	0						
													[Residual]			
MOHLWR16629990	09990	0 696	11339	11112	1 681	1 981	11279	11206	11232	1						
MOHLWR16701411	1 830	1 793	1 584	11157	1 872	11459	11026	11126	11048	1						
MOHLWR16801188	11252	21134	2 960	21086	2 697	21069	2 952	2 950	2 913	2						
MOHLWR16901418	2 908	21016	2 896	2 973	2 921	2 840	2 724	21362	21269	2						
MOHLWR1700 981	2 648	2 969	2 807	2 702	2 637	2 934	2 976	21324	2 884	4						
MOHLWR17101026	41157	4 757	41170	41043	4 845	41214	41037	41153	41018	4						
MOHLWR17201021	41218	4 886	41285	41304	4 872	61203	61052	6 907	6 885	6						
MOHLWR1730 933	6 877	61177	7 888	7 847	71088	71152	71153	7 885	71155	8						
MOHLWR1740 995	81044	10 993	10 879	10 957	10 985	101077	10 943	10 921	101196	10						
MOHLWR17501101	111001	11 970	12 756	12 923	14 914	14 839	15 901	151226	151039	15						
MOHLWR17601138	15 872	15 864	151137	15 913	161060	16 969	16 952	16 981	171054	17						
MOHLWR17701139	17 998	171014	171017	171170	181056	18 855	18 977	191036	191007	22						
MOHLWR1780 929	22 965	221099	221084	231040	23 816	23 905	23 946	23 992	231026	23						
MOHLWR1790 813	23 996	241152	25 979	25 944	251087	251012	25 935	25 968	25 794	25						
MOHLWR18001033	261131	26 986	261198	261010	261033	261055	261012	261017	28 997	29						
MOHLWR1810 865	301084	311005	331030	331080	34 962	34 930	341041	35 942	35 955	35						
MOHLWR1820 915	36 947	36 903	361031	361000	37 975	37 940	371040	371153	37 871	37						
MOHLWR1830 956	37 998	371087	401061	411124	411094	421007	42 828	43 981	43 996	43						
MOHLWR1840 991	431108	43 853	43 985	43 898	43 900	43 860	431053	441006	441015	44						
MOHLWR18501016	441002	45 995	461024	481043	481094	48 971	481091	49 915	49 893	49						
MOHLWR1860 788	491084	491142	49 836	49 939	50 918	50 996	501017	501153	511094	51						
MOHLWR18701097	511018	511025	511091	51 991	511088	511100	521000	53 997	531084	53						

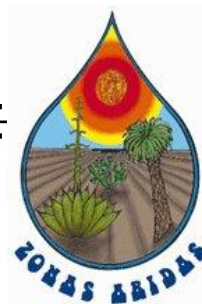
MOHLWR1880	967	53	949	53	929	53	915	531185	531006	531066	531133	53	947	531015	53			
MOHLWR1890	943	53	935	53	990	53	813	53	970	53	992	531161	53	942	531092	53	994	53
MOHLWR1900	1094	53	963	531108	531193	53	870	53	859	52	858	52	720	52	919	52	975	52
MOHLWR1910	1107	521118	511047	511029	51	979	51	900	511169	49	919	49	950	491018	49			
MOHLWR1920	1244	49	972	49	958	49	806	491058	49	915	49	962	471020	47	927	461045	46	
MOHLWR1930	787	46	941	45	919	451031	451046	45	872	451101	44	931	441120	441086	44			
MOHLWR1940	1076	441024	441102	44	947	441094	431100	43	873	431103	431023	431030	43					
MOHLWR1950	1007	431009	411061	411110	40	871	401093	40	903	401073	39	981	381101	38				
MOHLWR1960	947	38	920	371031	371021	371093	37	970	371030	371099	371137	37	944	37				
MOHLWR1970	932	37	855	37	803	37	935	37	898	371001	361020	361089	361164	36	843	36		
MOHLWR1980	934	361078	361022	36	971	341009	341075	34	796	341063	34	871	341078	34				
MOHLWR1990	837	341230	34	967	341017	341006	341025	34	988	331077	33	866	33	838	33			
MOHLWR2000	848	33	837	32	969	32	935	32	956	32	945	329990	09990	09990	09990	0		

															[Arstan]				
MOHLWA16589990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0	842	1	797	1				
MOHLWA1660	942	1	663	1	627	11142	11058	1	833	1	981	11189	11264	11394	1				
MOHLWA1670	1594	11082	1	961	1	487	1	932	1	656	11411	11069	11351	11152	1				
MOHLWA1680	1308	11340	21283	21108	21146	2	704	21001	2	811	2	922	2	852	2				
MOHLWA1690	1373	2	982	21179	2	905	2	978	2	858	2	787	2	627	21202	21224	2		
MOHLWA1700	1187	2	798	2	936	2	665	2	594	2	432	2	679	2	763	21255	2	964	4
MOHLWA1710	1178	41185	4	850	41181	4	992	4	910	41180	41032	41242	41082	4					
MOHLWA1720	1111	41245	4	956	41343	41336	41070	61310	61081	61000	6	869	6						
MOHLWA1730	854	6	780	61080	7	859	7	884	71018	71122	71222	71001	71222	8					
MOHLWA1740	1012	81107	10	998	10	894	10	913	10	910	101033	10	940	10	939	101163	10		
MOHLWA1750	1125	111110	111033	12	773	12	847	14	772	14	746	15	791	151120	151049	15			
MOHLWA1760	1251	15	964	15	930	151068	15	882	161067	16	941	16	970	16	955	171031	17		
MOHLWA1770	1141	171056	171083	171039	171190	181104	18	940	18	972	19	972	19	985	22				
MOHLWA1780	924	22	946	221061	221091	231102	23	876	23	893	23	848	23	915	23	973	23		
MOHLWA1790	804	23	961	241080	251014	251004	251088	251026	25	973	25	959	25	760	25				
MOHLWA1800	955	261036	261013	261247	261080	261142	261091	261053	261039	281000	29								
MOHLWA1810	864	301037	31	958	331050	331088	341005	34	963	341017	35	922	35	945	35				
MOHLWA1820	873	36	900	36	844	36	974	36	960	37	985	37	941	371027	371144	37	929	37	
MOHLWA1830	994	37	948	371064	401067	411173	411163	421100	42	888	43	950	43	910	43				
MOHLWA1840	952	431079	43	873	43	997	43	844	43	865	43	780	43	963	44	947	441030	44	
MOHLWA1850	1032	441033	451017	461034	481051	481115	481014	481128	49	934	49	910	49						
MOHLWA1860	722	49	970	491047	49	882	49	960	50	860	50	954	50	970	501149	511144	51		
MOHLWA1870	1201	511110	511096	511117	511022	511114	511114	521058	531038	531089	53								
MOHLWA1880	985	53	968	53	900	53	868	531118	531003	531139	531171	531031	531070	53					
MOHLWA1890	937	53	922	53	933	53	767	53	900	53	894	531132	53	975	531160	531022	53		
MOHLWA1900	1149	53	994	531142	531207	53	963	53	910	52	778	52	609	52	747	52	797	52	
MOHLWA1910	1030	521124	511144	511132	511050	51	932	511137	49	908	49	981	49	968	49				
MOHLWA1920	1225	491032	491057	49	808	491001	49	832	49	936	47	960	47	913	461033	46			
MOHLWA1930	775	46	910	45	815	45	973	451005	45	896	451098	44	920	441149	441095	44			
MOHLWA1940	1157	441091	441157	44	993	441123	431100	43	930	431107	43	998	431068	43					
MOHLWA1950	1019	431028	411067	411128	40	925	401110	40	880	401078	39	951	381120	38					
MOHLWA1960	964	38	954	37	995	37	993	371099	371000	371069	371106	371180	371023	37					
MOHLWA1970	986	37	825	37	729	37	796	37	765	37	914	36	963	361098	361212	36	951	36	
MOHLWA1980	993	361020	361007	36	987	341007	341069	34	818	341041	34	804	341057	34					
MOHLWA1990	793	341217	34	961	341109	341015	341051	34	998	331082	33	879	33	831	33				
MOHLWA2000	747	33	712	32	831	32	831	32	911	32	910	329990	09990	09990	09990	0			



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS



**VARIABILIDAD CLIMÁTICA, REGIMENES DE INCENDIOS E
INFLUENCIA DE PATRONES CIRCULATORIOS PARA EL
SUROESTE DE CHIHUAHUA**

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

PRESENTA:

JULIÁN CERANO PAREDES

Bermejillo, Dgo. Abril de 2008



Esta investigación fue posible gracias al financiamiento otorgado a través de fondos del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI), proyecto CRN # 2047 (Documentación, Entendimiento y Proyección de los Cambios en el Ciclo Hidrológico en la Cordillera Americana), a su vez financiado por el US/Nacional Science Foundation (Grant GEO-0452325).

DEDICATORIA

*Con profundo amor a mi esposa **Rosalinda Cervantes Martínez** por su paciencia y constante apoyo en todo momento.*

*A mis gemelos **Rafael y Julián Cerano Cervantes** por ser el motivo y la fuerza que me impulsa a superarme cada día, los amo.*

*Con amor, cariño, respeto y admiración a mis padres **Rafael Cerano Vázquez y Maria Elena Paredes Gallegos** por su cariño, comprensión y apoyo incondicional en cada momento.*

*A la memoria de mis padres (Abuelitos) **Benigno Cerano † y Maria de Jesús Vázquez †** por sus consejos e inmenso amor.*

*A mis hermanos **Gabriel, Estela y Rafael** por que a pesar de la distancia siempre he recibido apoyo y cariño.*

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada a Dios por darme la Fuerza y la capacidad para culminar una nueva etapa en mi vida.

A la Universidad Autónoma Chapingo en especial a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas por brindarme la oportunidad de cumplir con esta nueva meta en mi formación profesional.

*Al **Ph.D. José Villanueva Díaz:** por su excelente asesoría, orientación y un incondicional apoyo en la planeación y desarrollo del presente trabajo y por ser una de las personas que han contribuido en gran medida a mi crecimiento profesional.*

*Al **Ph.D. Jesús Guadalupe Arreola Ávila:** por su asesoría y constante apoyo para las salidas de trabajo y capacitación que contribuyeron a una mejor presentación y más rápida culminación del presente trabajo de investigación.*

*Al **Ph.D. Ignacio Sánchez Cohen:** por su asesoría y valiosas aportaciones para que la investigación culminara con una mejor estructura y calidad.*

*Al **Dr. Ricardo Valdez Cepeda:** por su asesoría y la buena disponibilidad que siempre mostró para el desarrollo de los análisis del presente trabajo.*

*Al **M.C. Gabriel García Herrera:** por su asesoría e importantes observaciones al trabajo.*

*Al **Dr. Guillermo Gonzáles Cervantes:** con afecto, por su constante motivación a superarme profesionalmente y por ser un gran amigo.*

*A **Pascual Gallegos Ayala:** por su gran apoyo en el trabajo de campo y más que los familiares por la amistad que nos une.*

*A las pocas pero muy valiosas personas que colaboran en el Laboratorio Nacional de Dendrocronología, por su buena disposición y constante apoyo para que esta investigación se concluyera, gracias **M.C. Luís Enrique Montes** e **Ing. Vicenta Constante García.***

*A **Margarita Ávila:** por el valioso apoyo brindado durante mi estancia en el posgrado y principalmente por la amistad que me brinda.*

A todos mis compañeros y amigos de posgrado, muy en especial al Ing. Heriberto y al Ing. Oscar por la amistad que nos une y que espero sea para siempre.

RESUMEN

VARIABILIDAD CLIMÁTICA, REGIMENES DE INCENDIOS E INFLUENCIA DE PATRONES CIRCULATORIOS PARA EL SUROESTE DE CHIHUAHUA

Series de tiempo de madera temprana, tardía y anillo total de *Pseudotsuga menziesii* se desarrollaron para el sitio “Cerro El Mohinora”, Guadalupe y Calvo, Chihuahua. Las series dendrocronológicas se extendieron para el período 1657 a 2005 y se utilizaron para analizar la variabilidad hidroclimática de la zona. La serie de índice de ancho de anillo se calibró y verificó con datos observados de la estación climática de Guadalupe y Calvo, Chihuahua, y se generó un modelo lineal bivariado, estadísticamente significativo para reconstruir la variabilidad climática del suroeste de Chihuahua. La reconstrucción mostró la presencia de sequías de alta intensidad que afectaron esta región para los períodos 1698-1718, 1798-1807, 1890-1908 y 1994 a la fecha. Sequías menos intensas y de mayor duración se presentaron en las décadas de 1650, 1750, 1850 y 1950, es decir, cada 100 años. La variabilidad climática observada en esta reconstrucción permitió relacionar la presencia de incendios con eventos húmedos y secos y el impacto de patrones atmosféricos de circulación general. Para la reconstrucción de incendios, el sitio se dividió en dos secciones; parte alta y baja, donde se obtuvieron secciones transversales con cicatrices de incendios de *Pinus duranguensis*, *Pinus arizonica* y *Pinus ayacahuite*. Se fecharon 73 secciones transversales con un total de 277 cicatrices de incendios. Para la parte alta, se logro reconstruir el régimen del fuego de 1700 a 2005,

donde los años con mayor incidencia de incendios fueron 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902. Para la parte baja, el historial del fuego se reconstruyó para el periodo de 1900 a 2005, donde los años con incendios más severos ocurrieron en 1995, 1988, 1985, 1971 y 1945. Tanto la parte alta como baja del área de estudio registraron incendios en los años de 1945, 1971 y 1995 y constituyen los incendios más intensos y extensos reconstruidos en este estudio. En general, se determinó que en el área estudiada existe una relación estrecha entre la presencia de sequías y ocurrencia de incendios para los últimos 200 años, situación también asociada con eventos ENSO.

Palabras Clave: Índices Dendrocronológicos, Régimen de Incendios, Reconstrucción Hidroclimática, ENSO.

SUMMARY

CLIMATE VARIABILITY, FIRE REGIME AND INFLUENCE OF ATMOSPHERIC CIRCULATORY PATTERNS FOR SOUTHWESTERN CHIHUAHUA

Tree-ring series of earlywood, latewood, and total ring width were developed from *Pseudotsuga menziesii* for the “Cerro El Mohinora”, Guadalupe y Calvo, Chihuahua site. The tree-ring series extended for the period 1657 to 2005 and were used to analyze hydroclimatic variability for the region. The ring-width series was calibrated and verified with climatic data from the Guadalupe y Calvo weather station. A significant bivariate linear regression model was derived and used to reconstruct hydroclimatic variability for southwestern Chihuahua. The precipitation reconstruction detected the presence of high intensity droughts for the periods 1698-1718, 1798-1807, 1890-1908, and 1994 to date. Less intensive but most prolonged droughts were detected in the 1650s, 1750s, 1850s, and 1950s, by the mid of each century. The observed climatic variability in this reconstruction defined a significant relationship between fires and wet and dry episodes, and the influence of atmospheric circulatory patterns. For fire reconstruction purposes the area was divided into two sections, upper and lower elevation sites, and 73 cross-sections of *Pinus duranguensis*, *Pinus arizonica*, and *Pinus ayacahuite* with fire scars were collected. In total, 277 fire scars were dated. The fire reconstruction for the upper elevation extended back in time for the 1700 to 2005 period, where intensive fire years took place in 1971, 1945, 1922, 1904, and 1902. For the lower

elevation site the reconstructed fire extended from 1900 to 2005. Intensive fire years were recorded in 1995, 1988, 1985, 1971, and 1945. Upper and lower elevation sites were affected by fires in 1945, 1971, and 1995. Those fire years were the most severe and extensive for this site. It was found a very close relationship between fire occurrence and droughts for the last 200 years, and also affected by the ENSO phenomena.

Keywords: Dendrochronological indices, fire regime, hydroclimate reconstructions, ENSO.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.1.1 Objetivos Específicos	6
1.2 HIPÓTESIS	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 Indicadores Paleoclimáticos	8
2.2 Dendrocronología	8
2.3 Dendroclimatología	9
2.4 Antecedentes de la Dendrocronología	9
2.5 Principios de la Dendrocronología	11
2.6 Problemas para el Fechado	12
2.6.1 Anillos perdidos o ausentes	12
2.6.2 Anillos dobles o falsos	14
2.7 Sensibilidad en el crecimiento del árbol	15
2.7.1 Sensibilidad en el crecimiento anual	15
2.7.2 Falta de Sensibilidad en el crecimiento anual	16
2.8 Reconstrucción de precipitación	17
2.9 Reconstrucción del régimen de incendios	19
2.9.1 El fuego como un factor ecológico	19
2.9.2 Importancia del fuego en los ecosistemas	19
2.9.3 Efectos del fuego sobre los ecosistemas	20
2.9.3.1 Efectos positivos	20
2.9.3.2 Efectos negativos	21
2.9.4 Regimenes de incendios	21
2.9.5 Estudio de los regimenes de incendios	22
2.9.6 Frecuencia de incendios	24
2.9.7 Estudios de reconstrucción de incendios en México	26
2.10 El Niño Oscilación del Sur	27
2.11 Influencia del ENOS en la incidencia de incendios	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Localización del área de estudio	31
3.2 Selección de las áreas de trabajo	32

3.3 Diseño de muestreo	34
3.4 Reconstrucción de la variabilidad climática	34
3.4.1 Método de campo	34
3.4.1.1 Características del arbolado muestreado	34
3.4.1.2 Registro de información del sitio	35
3.4.1.3 Toma de núcleos de crecimiento o virutas y secciones transversales de árboles	36
3.4.2 Métodos de laboratorio	38
3.4.2.1 Preparación y fechado de muestras	38
3.4.2.2 Medición de anillos, crecimientos anuales	44
3.4.3 Análisis de datos	45
3.4.3.1 Control de calidad de los datos	45
3.4.3.2 Generación de cronologías	47
3.4.3.3 Desarrollo del modelo climático	48
3.4.3.4 Análisis histórico	51
3.5 Reconstrucción del régimen histórico de incendios	51
3.5.1 Método de campo	51
3.5.1.1 Características del arbolado muestreado	51
3.5.1.2 Tomas de muestras	51
3.5.2 Métodos de laboratorio	53
3.5.3 Análisis de datos	56
3.5.3.1 Relación del clima y frecuencia de incendios	58
3.6 Análisis del Niño Oscilación del Sur en el suroeste de Chihuahua	59
3.6.1 Análisis de datos	59
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1 Reconstrucción de la variabilidad climática para el suroeste de Chihuahua	61
4.1.1 Función de respuesta	61
4.1.2 Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera	63
4.1.2.1 Calibración y Verificación	64
4.1.2.2 Análisis de la variabilidad climática	67
4.2 Reconstrucción de los regimenes históricos de incendios	72

4.3 Relación entre el clima y ocurrencia de incendios en el suroeste de Chihuahua	78
4.4 Análisis de Sobreposición de Época	86
4.5 Influencia del ENSO en el crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en el suroeste de Chihuahua	90
 VI. CONCLUSIONES	 97
 VII. RECOMENDACIONES	 100
 VIII. LITERATURA CITADA	 102
 ANEXO S	 113

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Modelo lineal generado para la reconstrucción estacional de precipitación invierno-primavera	65
Cuadro 2. Análisis de varianza del modelo de reconstrucción	65
Cuadro 3. Intervalos de recurrencia de incendios para dos sitios de estudio en bosques mixtos de pino en Cerro Mohinora, Chihuahua. El 10% indica que los estadísticos corresponden a las cicatrices de incendio registradas en el diez por ciento ó más de las muestras. El 25% corresponde a las cicatrices registradas en el veinticinco por ciento o más de las muestras. Estos filtros nos permiten observar los incendios que fueron más extensos e intensos en comparación con aquellos incendios que registran solo una cicatriz en pocos árboles, que indica un incendio que cubrió poca superficie y muy probable fue un incendio de baja intensidad	75
Cuadro 4. Estacionalidad de incendios para dos sitios de bosque mixto de pino en la reserva “Cerro Mohinora”, Chihuahua	76
Cuadro 5. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de anillo total de <i>Pseudotsuga menziesii</i> , Cerro Mohinora, Chihuahua	113
Cuadro 6. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de madera temprana de <i>Pseudotsuga menziesii</i> , Cerro Mohinora, Chihuahua	115
Cuadro 7. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de madera tardía de <i>Pseudotsuga menziesii</i> , Cerro Mohinora, Chihuahua	117

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Anillo perdido, esta sección de madera muestra anillos de crecimiento pequeño “Microanillos” y posteriormente un claro ejemplo de cómo en una sección transversal de un árbol se pueden presentar problemas de anillos perdidos **13**
- Figura 2.** Anillo doble o falso anillo, indica una banda falsa, se aprecia la combinación de ambas porciones de madera, no existe un cambio claro entre madera temprana y madera tardía **14**
- Figura 3.** Diferentes modelos de crecimiento, uno sensible (a) y otro no sensible (b) a las condiciones ambientales **16**
- Figura 4.** Formación de las cicatrices de incendios en la parte basal de los tallos de árboles de pino. Cuando el fuego quema la corteza y parte del cambium (a), en la parte quemada del tronco se inhibe el crecimiento del árbol y se forma una cicatriz (b); la incidencia de nuevos incendios formara nuevas cicatrices, localizadas en la sección transversal del tallo de árboles afectados por el fuego (c). La lectura de los anillos de crecimiento anuales y las cicatrices de fuego (indicadas por las flechas), permite datar los incendios y analizar su frecuencia histórica **24**
- Figura 5.** Regiones del Pacífico Ecuatorial cuyas anomalías de temperatura del agua superficial del mar se utilizan como índices para determinar la intensidad del Niño **28**
- Figura 6.** Anomalías de la temperatura de la superficie del mar (°C) en agosto de 1997 **29**
- Figura 7.** Condición de la salud de la vegetación durante Mayo de 1997 y 1998 **30**
- Figura 8.** Localización geográfica del sitio de muestreo en el suroeste del estado de Chihuahua **31**
- Figura 9.** a) Posición en que la barrena va cortando la madera e indica la forma en que se ubican los anillos de crecimiento. b) Obtención de una muestra o viruta con el taladro de Pressler en el sitio de estudio **37**

- Figura 10.** a) Preparación y montado de núcleos de crecimiento, etapa básica para el inicio de análisis dendrocronológico de la muestra y b) muestras pulidas y preparadas para el conteo de crecimiento en microscopio **39**
- Figura 11.** Sección transversal sujeta a diferentes grados de lijado, que muestra con claridad la presencia de microanillos y anillos perdidos, dos problemas principales en el dateo exacto de crecimientos anuales **40**
- Figura 12.** Sistema de conteo, representación de micro anillos y anillos ausentes **40**
- Figura 13.** Dos secciones de incrementos que muestran patrones comunes de crecimiento, donde se observa la presencia de bandas angostas (microanillos) y anillos ausentes o perdidos **41**
- Figura 14.** Grafico de crecimiento (Skeleton plot), modelo de crecimiento plasmado en papel lo cual permite la comparación simultanea de varios individuos para determinar similitud de patrones de crecimiento **43**
- Figura 15.** Fechado cruzado o empalme. Gráficos de crecimiento de diferentes individuos permiten generar un grafico maestro **44**
- Figura 16.** Ubicación del sitio de muestreo “Cerro Mohinora y la estación climática cuyos datos se utilizaron para los análisis **49**
- Figura 17.** Colecta de secciones parciales con cicatrices de incendios de un árbol muerto en pie localizado en la parte alta del Cerro El Mohinora, Gpe y Calvo, Chihuahua **52**
- Figura 18.** Muestra con cicatrices de incendios después del proceso de pulido. (Foto tomada por Julián Cerano Paredes) **53**
- Figura 19.** Esquema del fechado cruzado, principio de la Dendrocronología (Stoke y Smiley, 1968) **54**

Figura 20. Categorización de la época de ocurrencia de incendios (Grissino-Mayer, 2001) 56

Figura 21. Función de Respuesta entre el índices de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* en la Reserva Cerro Mohinora, Chihuahua, y los registros de precipitación para el período 1961-1985 de la estación climática Guadalupe y Calvo, Chih. La Función de Respuesta incluye 14 meses de precipitación de Julio del año previo a Agosto del año en curso que comprende la estación de crecimiento. Tres elementos adicionales son asociados con el índice de crecimiento en 1, 2 y 3 años previos. Un coeficiente positivo indica una directa relación de las variables clima o crecimiento previo con el ancho del anillo, y un coeficiente negativo indica una relación inversa. Las líneas verticales indican un nivel de significancia del $p < 0.95$. 62

Figura 22. Asociación entre el índice de madera temprana y precipitación estacional observada Enero-Junio, periodo 1966-1985 63

Figura 23. Gráfico de dispersión del modelo de regresión lineal que muestra la variabilidad de la cronología de madera temprana con la precipitación total de enero-junio, período 1966-1985 64

Figura 24. Calibración entre precipitación actual (línea negra) y precipitación reconstruida invierno-primavera (línea roja) para el período estacional Enero-Junio 66

Figura 25. Precipitación estacional reconstruida para los últimos 350 años en la reserva ecológica Cerro El Mohinora, Chihuahua 67

Figura 26. Profundidad de la muestra en los sitios de estudio y para el total de las muestras consideradas en el estudio 72

Figura 27. Reconstrucción de la frecuencia de incendios para los últimos 300 años en la parte alta de la reserva Cerro Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan la extensión de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior 73

- Figura 28.** Reconstrucción de los regimenes históricos de incendios para los últimos 100 años en la parte baja de Cerro El Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan el periodo de tiempo de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior **74**
- Figura 29.** Relación entre la variabilidad del clima (a) y la ocurrencia de incendios (b) para los últimos 300 años en la parte alta de Cerro Mohinora, Chihuahua **79**
- Figura 30.** Relación entre la variabilidad de precipitación (a) y la ocurrencia de incendios (b) en los últimos 250 años para la parte baja de Cerro Mohinora, Chihuahua **80**
- Figura 31.** Análisis de clima e incendios mediante Análisis de Sobreposición de Época para la parte alta en Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones de humedad en un año previó al incendio y secas durante el incendio **87**
- Figura 32.** Análisis de clima e incendios mediante Análisis de Sobreposición de Época para la parte baja en Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones secas durante el incendio y ligeramente húmedas antes del incendio **88**
- Figura 33.** Serie de tiempo generada con ejemplares de *Pseudotsuga menziesii* del Suroeste del Estado Chihuahua y la influencia en los crecimientos anuales (índice de ancho de anillo) de eventos El Niño **91**
- Figura 34a.** Series de tiempo de índices de madera temprana y los Índices de Oscilación del Sur a nivel anual y sus espectros potenciales de ondeleta **93**
- Figura 34b.** Coherencia de ondeleta cruzada entre los índices de la serie de tiempo madera temprana y los índices del ENSO a nivel anual **93**
- Figura 35a.** Series de tiempo índices de anillo total y los Índices de Oscilación del Sur a nivel anual y sus espectros potenciales de ondeleta **95**
- Figura 35b.** Coherencia de ondeleta cruzada entre los índices de de la serie de tiempo anillo total y los índices del ENSO a nivel anual **95**

I. INTRODUCCIÓN

El clima es el tiempo que se espera ocurra en el período de un mes, una estación, una década o un siglo; el clima se define como las condiciones de tiempo resultantes de la media del estado del sistema atmósfera-océano-tierra, a menudo descritas como "normales climáticas" o condiciones promedio del tiempo. La variabilidad climática es una desviación del tiempo promedio esperado. El cambio climático global es una modificación que es atribuida directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica, agregada a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo (EEI, 1997).

Actualmente, existe consenso científico de que el clima global se verá alterado significativamente, en el próximo siglo, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (Houghton *et al.*, 1990, 1992). Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que provoquen un aumento de la temperatura planetaria entre 1.5 y 4.5 °C en los próximos 100 años. Como respuesta a esto, se estima que los patrones de precipitación global, también se alteren. Aunque existe consenso en este aspecto, hay una gran incertidumbre con respecto a la magnitud y tasas de estos cambios a escalas regionales (EEI, 1997).

La Paleoclimatología es el estudio del clima del pasado, particularmente el que existió antes de que los humanos comenzaran a tomar registros instrumentales del

tiempo (temperatura de un termómetro, precipitación de un pluviómetro, etc). Si hay algo irrefutable es que el clima del planeta está siempre cambiando.

La variabilidad climática, incluyendo los cambios en la frecuencia de los eventos extremos (tales como sequías, inundaciones y tormentas) siempre ha tenido un gran impacto en las actividades humanas. Un evento El Niño particularmente severo, o una sequía relativamente corta, le pueden costar a los ciudadanos grandes pérdidas económicas. Por esta razón, los científicos estudian la variabilidad climática del pasado en diversas escalas de tiempo para encontrar indicios que ayuden a la sociedad a planificar en relación con los futuros cambios climáticos.

Los registros del clima procedentes de satélites y de mediciones hechas por el hombre cubren por lo general menos de 150 años para Estados Unidos de América y menos de 80 años para México. Estos registros son muy cortos para examinar el rango completo de la variabilidad climática natural. Por ello, es importante examinar el cambio climático considerando cientos o miles de años en el pasado y empleando para ello registros paleoclimáticos procedentes de fuentes “Proxy”, también conocidos como métodos indirectos (NOAA, 2000).

Los registros “proxy” son sistemas naturales que dependen del clima, que estuvieron presentes en el pasado y que aún existen, por lo que se puede derivar información paleoclimática de ellos; estos registros contienen una señal climática que permite conocer el clima del pasado. Entre los principales registros “proxy” se encuentran: archivos históricos, sedimentos lacustres y marinos, depósitos de polen,

arrecifes coralinos, núcleos de hielo, depósitos de roedores del género *Neotoma* y anillos de árboles (Bradley, 1999).

Entre las fuentes “proxy” de alta resolución, los anillos de los árboles son los de mayor confiabilidad. Los anillos de los árboles constituyen series continuas, exactamente datadas y con un nivel de resolución anual, que normalmente se extienden por varios cientos y en algunos casos por algunos milenios. Las series de ancho de anillos pueden ser modeladas para reconstruir con gran precisión, las variaciones anuales o estacionales de la temperatura, la precipitación y la presión atmosférica, entre otras variables, durante los últimos cientos o miles de años. Estas reconstrucciones de las variaciones climáticas pasadas pueden ser desarrolladas para una localidad en particular, o para toda una región, si se dispone de una red de cronologías de anillos de árboles que cubran un área extensa (Fritts, 1976).

Se han elaborado diversos modelos como los modelos de circulación general ó modelos climáticos globales (General Circulation Models, o Global Climate Models, GCMs, por sus siglas en ingles), para examinar los posibles cambios provocados por la emisión antropogénica de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Pero debido a que el cambio climático no se ha dado de la misma forma en todas las regiones del mundo, resulta importante conocer qué es lo que está pasando en cada una de las regiones en específico, lo que servirá para realizar ajustes más finos a los modelos (Díaz, 2002). Las reconstrucciones paleoclimáticas basadas en anillos de crecimiento, permiten conocer la variabilidad climática a escala regional con una excelente resolución anual.

Los bosques templados de la Sierra Madre Occidental (SMO) tienen en su composición coníferas como *Pseudotsuga menziesii* con excelente potencial dendrocronológico, especie cuyo desarrollo de madera temprana y tardía está influenciado por las condiciones dominantes de precipitación de invierno y de verano, que a su vez son modulados por patrones atmosféricos de circulación global (Stahle *et al.*, 1998).

La precipitación invernal en el norte de México y suroeste de los Estados Unidos de América está ligada significativamente con índices de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) (Ropelewski y Harper, 1989; Stahle *et al.* 1998, Magaña *et al.* 1999). Esta relación se registra de manera clara y significativa en los anillos de crecimiento y específicamente en la porción de madera temprana de especies arbóreas como Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*), que se desarrolla en los macizos montañosos de la SMO en los estados de Chihuahua y Durango (Cleaveland *et al.* 1992; Villanueva *et al.* 2005).

El Monzón de Norte América (MNA) que afecta la precipitación de verano, se define como el total de la lluvia en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, con un área de influencia a lo largo de la parte oeste de la SMO en el noroeste de México (Douglas *et al.*, 1993; Higgins *et al.*, 1999; Gochis *et al.*, 2004).

La reserva Cerro El Mohinora por su ubicación en la SMO al suroeste del estado de Chihuahua es un área ecológica cuyas condiciones climáticas son moduladas por la influencia tanto del ENSO como del MNA; por tal motivo, resulta importante conocer el

grado de influencia de ambos fenómenos en la variabilidad climática regional y en el comportamiento de los regímenes históricos del fuego.

Los estudios de reconstrucción de la variabilidad hidroclimática han sido poco desarrollados para el estado de Chihuahua (Villanueva-Díaz y McPherson 1999; Díaz et al. 2002; Villanueva-Díaz et al. 2006) y en menor proporción para el suroeste del estado. Los estudios de reconstrucción de la frecuencia y comportamiento histórico de incendios e impacto ecológico del fuego son aún más limitados para la región (Fulé et al. 2005).

La reserva Cerro El Mohinora, presenta ecosistemas de bosques mixtos con especies de excelente potencial para estudios dendroclimáticos como es el caso de *Pseudotsuga menziesii*, una de las especies más sensibles que registra claramente los cambios climáticos y por ende posee alto potencial para desarrollar estudios paleoclimáticos (Stahle et al. 1998). Así mismo, presenta rodales de especies de pinos como *Pinus durangensis*, *Pinus arizonica* y *Pinus ayacahuite*, que dependen de los incendios de origen natural para su estabilidad ecológica; por lo que representan sitios ideales para estudios de reconstrucción de regímenes de frecuencia de incendios.

Los cambios en los patrones de temperatura y precipitación son fenómenos de importancia mundial debido a los efectos que está ocasionando. A consecuencia de cambios en los patrones de temperatura, se ha observado una prolongación de la estación de crecimiento en regiones con primavera y otoño templados; reducción de la producción en sitios con verano ya cálido, incremento de tasas de evapotranspiración y aumento de probabilidades de sequías severas de gran importancia. Los cambios en los

patrones de precipitación están afectando las tasas de erosión y humedad del suelo, ambos importantes en rendimiento de cultivos. Por lo anterior es importante determinar como ocurren estas variaciones a escala regional; información vital para un mejor entendimiento y modelación del cambio climático a escala general.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Mediante estudios dendroclimáticos y dendroecológicos determinar la relación existente entre la variabilidad hidroclimática histórica de los últimos 350 años y el comportamiento histórico de los incendios para los pasados 300 años en un bosque mixto para el suroeste del estado de Chihuahua; así como, analizar la influencia de patrones atmosféricos de circulación global (ENSO y MNA), en el comportamiento histórico del clima.

1.1.1 Objetivos Específicos

- 1) Desarrollar una reconstrucción de precipitación estacional con series de tiempo dendrocronológicas para el suroeste de Chihuahua.
- 2) Reconstruir regimenes históricos de frecuencia de incendios para el sitio Cerro El Mohinora, Chihuahua.

- 3) Definir la relación histórica clima-incendios.
- 4) Analizar la influencia de patrones circulatorios atmosféricos como el ENSO y MNA en la variabilidad climática, incendios e impacto en los ecosistemas.

1.2 HIPÓTESIS

- a) La variabilidad climática de baja frecuencia para la región suroeste de estado de Chihuahua, no está relacionada directamente con la presencia de fenómenos atmosféricos de circulación global MNA y ENSO.
- b) La variabilidad climática natural no ha influido en el comportamiento histórico de los incendios de origen natural para los pasados tres siglos, en el ecosistema de bosque mixto de la reserva “Cerro Mohinora” Chihuahua.
- c) Los eventos intensos de El Niño Oscilación del Sur no tienen una influencia positiva en la presencia de incendios de mayor intensidad en la época seca del año.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Indicadores paleoclimáticos

Los registros del clima provenientes de satélites y de mediciones hechas por el hombre (por medio de termómetros, pluviómetros, etc.) cubren por lo general menos de 100 años. Estos registros son demasiado cortos para examinar el rango completo de la variabilidad climática. Existen diferentes fuentes, registros o proxy's naturales que registran dicha variación en el tiempo tales como: anillos de árboles, capas de hielo, polen fósil, sedimentos marinos, corales y documentos históricos. Al analizar los registros tomados de éstas y de otras fuentes paleoclimáticas, se puede extender el conocimiento de la variación del clima mucho más allá de los registros climáticos instrumentales (Bradley, 1999).

2.2 Dendrocronología

La palabra dendrocronología proviene del griego: *dendros* que significa árbol, *cronos* tiempo y *logos* conocimiento. La dendrocronología es el conocimiento o estudio de la edad de los árboles. Si se considera a cada árbol como un instrumento capaz de registrar todos los fenómenos que ocurren en el medio que lo rodea, la dendrocronología no es otra cosa que la ciencia que interpreta, o “lee” ese registro ambiental (Dendrocronología, 2002).

En las regiones templadas donde hay una marcada estación de crecimiento, los árboles generalmente producen un anillo anual de crecimiento, que registra las condiciones climáticas imperantes de ese año. De esta forma se pueden presentar patrones en el ancho, densidad y composición isotópica de sus anillos, que refleja las variaciones climáticas. Así, con el análisis dendroclimatológico es posible fechar con seguridad años individuales y se puede obtener un registro continuo de más de mil años de duración con información paleoclimática de alta frecuencia (Fritts, 1976).

2.3 Dendroclimatología

La dendrocronología se define como el estudio de los anillos de crecimiento arbóreo para fechar eventos pasados del clima y analizar sus fluctuaciones de alta y baja frecuencia (Stokes y Smiley, 1996).

2.4 Antecedentes de la Dendrocronología

Las primeras observaciones que relacionaron el ancho de los anillos de los crecimientos de los árboles con el clima datan del siglo XV, y fue el propio Leonardo da Vinci quien reconoció la correlación entre las precipitaciones y los anillos anuales (Dendrocronología, 2002).

En el año 1901, Andrew E. Douglas, conocido como “El Padre” de la dendrocronología, observó que los anillos expuestos en un tronco cortado de un pino en Flangstaff, Arizona EUA, exhibían variaciones en el ancho, se preguntaba si los árboles

de Arizona eran influenciados más por la humedad disponible que por la competencia dentro del rodal y si la cantidad de humedad tenía un efecto de correlación sobre el ancho de los anillos. Douglas razonó que si dicha relación fuera verdadera, los años secos deberían registrarse como anillos delgados y entonces podría usarse el ancho de los crecimientos anuales como una prueba para un registro de largo alcance del clima en el tiempo. No fue hasta 1911 que Douglas reconoció el verdadero significado de sus observaciones.

De esta manera estableció el “cofechado”, un procedimiento que podía ser aplicado en áreas donde el crecimiento de un anillo se ve con frecuencia limitado por variables climáticas. Determinó dos importantes implicaciones de su descubrimiento: La primera, que el cofechado podría ser usado como una herramienta cronológica para identificar el año exacto en que se desarrollaron los anillos de crecimiento, a través de definir un patrón de anillos anchos y delgados. Para lograr lo anterior, se requiere que el año de formación del último anillo sea conocido y que las variaciones relativas del grosor de los anillos sean observadas en muchos árboles. Los modelos de crecimiento de anillos anchos y delgados en sí, representan un registro de las condiciones ambientales sobre una región determinada.

La segunda implicación de su descubrimiento fue que la variación observada en el grosor de ciertos anillos de crecimiento, se puede atribuir a condiciones microclimáticas del hábitat del arbolado, aunque la variación presente en todos los árboles pudiera ser producto del efecto regional del clima (Fritts, 1976).

2.5 Principios de la dendrocronología

La dendrocronología se fundamenta en el hecho de que en muchos árboles, el crecimiento anual de los anillos es visible en una sección transversal, donde se exhiben diferencias en su grosor; sin embargo, se deben tener presentes cuatro condiciones, para que estos crecimientos sean de utilidad en el fechado de una muestra (Stokes y Smiley, 1996).

1. Los árboles deben presentar un anillo para cada estación de crecimiento. No se pueden usar especies que produzcan más de un anillo anual durante la estación de crecimiento.
2. Aunque el crecimiento estacional total es el resultado de muchos factores interrelacionados, entre ellos genéticos y medioambientales, solo un factor medioambiental debe dominar y limitar el crecimiento. En el suroeste de Estados Unidos y norte de México, ese factor limitante es la precipitación.
3. El crecimiento que se propicia por el factor limitante, debe variar de intensidad de un año a otro, y los anillos anuales resultantes deben reflejar tal variación en su anchura de crecimiento.
4. La variable ambiental limitante debe ser uniforme sobre un área geográfica extensa.

2.6 Problemas para el fechado

2.6.1 Anillos perdidos o ausentes

Una complicación que a veces se presenta durante el proceso de fechado cruzado es ausencia de un anillo anual en el árbol donde la muestra fue tomada. Un anillo es equiparable a un cono largo y delgado. El espesor de este cono no es uniforme a lo largo y ancho del tallo, por consiguiente, las anchuras relativas de los anillos a probar de cualquier lugar variarán ligeramente. Los problemas se presentan, sin embargo, cuando los anillos se encuentran cerca de otros desarrollados en años muy secos.

Un anillo anual se forma durante cada estación de crecimiento, pero en años en que el crecimiento es muy pequeño, este anillo no puede hacerse presente en la totalidad del ancho del cono (Figura 1). Durante ciertos años, el crecimiento del árbol probablemente ocurra solo en ciertos puntos de tensión, como es el lado de la pendiente de un tronco o en un punto cercano y bajo las ramas. En un muestreo con fines dendrocronológicos, estas son las áreas del árbol que se evita utilizar; por lo que lo recomendable utilizar secciones transversales para detectar este tipo de problemas.

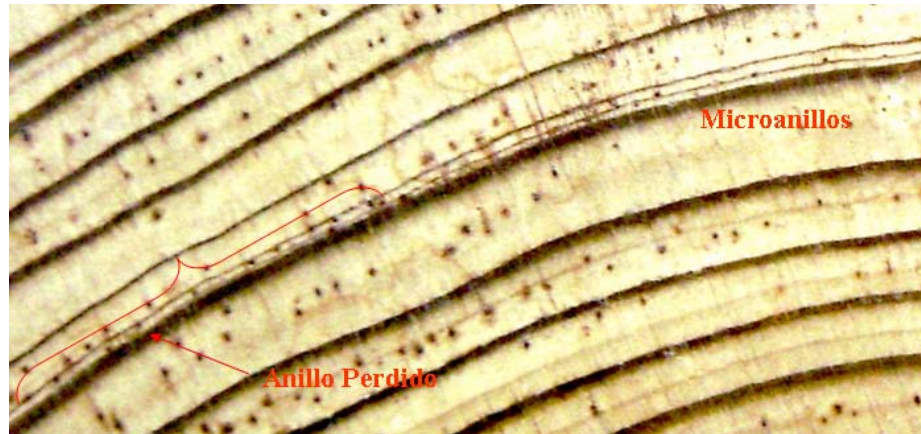


Figura 1. Anillo perdido, esta sección de madera muestra anillos de crecimiento pequeño “Microanillos” y posteriormente un claro ejemplo de cómo en una sección transversal de un árbol se pueden presentar problemas de anillos perdidos.

Los anillos “perdidos” pueden descubrirse fácilmente durante el proceso de fechado cruzado de varios individuos. Para este caso, los gráficos de núcleos de crecimiento se emparejan o enciman anillo por anillo; si un crecimiento está perdido en una de las muestras, el conteo de los anillos estará desfasado un año, a menos que en la corrección del gráfico se haya insertando un “anillo” en el lugar apropiado de la secuencia de crecimientos (Stokes y Smiley, 1968).

Un punto interesante a considerar es la importancia de localizar los anillos ausentes, pero de igual manera se tiene que tener presente que no todos los anillos perdidos en todas las muestras se pueden fechar o reconstruir, existen muestras que debido a un fuerte daño o disturbio presentan graves problemas en su crecimiento que hacen imposible su fechado (Sheppard, 2002).

2.6.2 Anillos dobles o falsos

Otra anomalía que se presenta en el proceso de fechado de un núcleo de crecimiento o sección transversal es la ocurrencia ocasional de “anillos falsos”, o “anillos dobles” (Figura 2). Hay varias maneras posibles de descubrir anillos falsos.

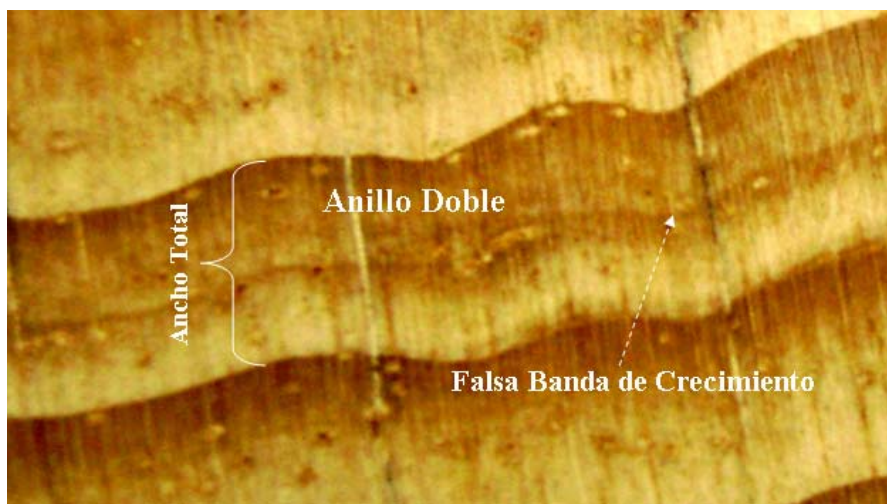


Figura 2. Anillo doble o falso anillo, indica una banda falsa, se aprecia la combinación de ambas porciones de madera, no existe un cambio claro entre madera temprana y madera tardía.

Frecuentemente, la madera tardía, última porción de crecimiento en formarse en un anillo falso no se delinea claramente. En esta situación, la madera tardía se mezcla gradualmente con la madera temprana, que generalmente es de color más claro. Esta combinación gradual en el borde exterior de un anillo falso, como contraste con el cambio abrupto de la madera tardía en anillos normales, es la mayor característica distinguible de anillos falsos y la cual es fácil de detectar con una lente de mano en una superficie bien preparada.

Si una sección transversal está disponible, un anillo que presente este problema puede observarse alrededor de la circunferencia entera. Si la madera tardía es de circunferencia discontinua, es un anillo falso. Con amplificación algo más alta, otros detalles de diagnóstico se pueden notar. A veces, la madera temprana de células delgadas puede verse completamente a través de la madera tardía falsa.

En muestras con conductos de resina, se puede observar que la madera tardía falsa, termina en un conducto, mientras que la verdadera madera tardía, rodea el conducto que lo incorpora a la estructura del anillo anual. Cuando estos métodos de identificación fallan, a veces pueden descubrirse anillos falsos cuando las muestras del mismo sitio son traslapadas y fechadas anillo por anillo (Stokes y Smiley, 1968).

2.7 Sensibilidad en el crecimiento del árbol

2.7.1 Sensibilidad en el crecimiento anual

Se define como el grado de la variación anual en el grosor de los anillos de crecimiento. El factor que causa esta variación en el norte-centro de México y suroeste de los EUA es la precipitación, cuya inconsistencia en términos de cantidad determina la variación interanual. Los árboles que muestran alta variación en su crecimiento radial son los más idóneos con fines dendrocronológicos (Figura 3a) (Sheppard, 2002).

2.7.2 Falta de Sensibilidad en el crecimiento anual

Se define como el grado limitado de variación anual. En este sentido, el ancho de los anillos es similar por varios años consecutivos, producto de una precipitación muy semejante año con año. El empleo de núcleos de crecimiento de árboles complacientes puede dificultar el fechado. Este tipo de muestras son poco útiles para fines dendrocronológicos (Figura 3b) (Sheppard, 2002).

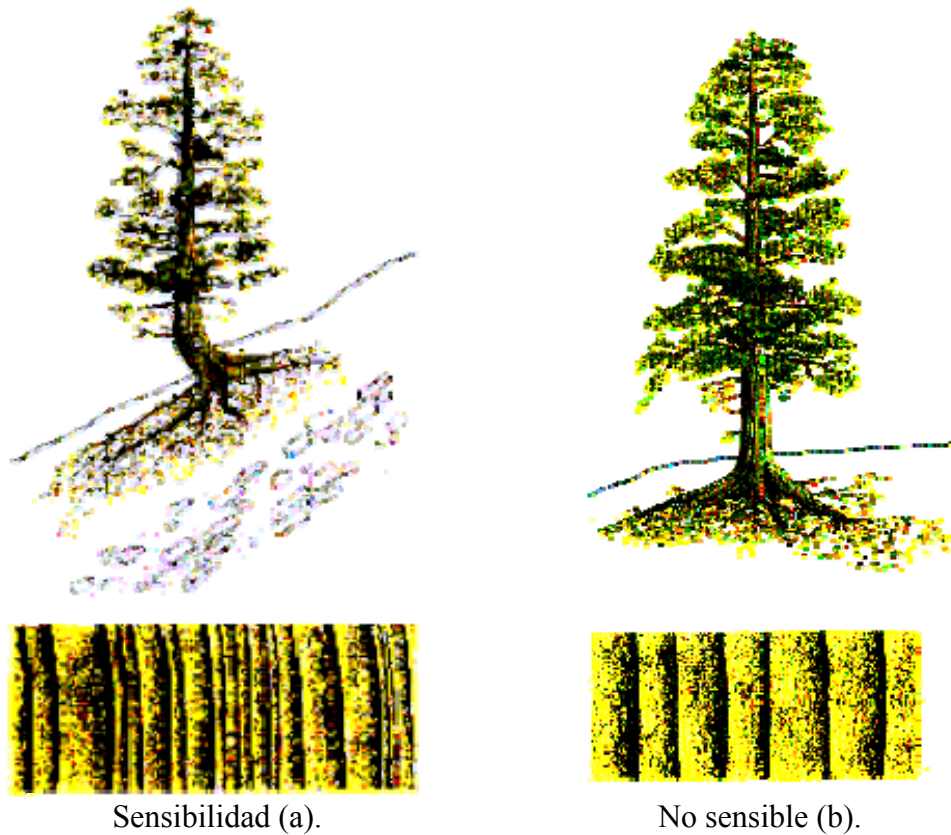


Figura 3. Diferentes modelos de crecimiento, uno sensible (a) y otro no sensible (b) a las condiciones ambientales. Fuente: (Stokes y Smiley, 1996).

Una inspección de anillos bajo un microscopio con alta resolución puede proporcionar una idea más clara de la influencia del clima en el crecimiento de especies con potencial dendrocronológico. El árbol con mayor sensibilidad climática se ve limitado por factores ambientales; mientras que el árbol más sensible exhibirá variación en anchura de sus anillos de crecimiento. El dendrocronólogo se refiere a esta variabilidad en anchura del anillo como sensibilidad y a la falta de variabilidad de anchura como no sensible o complaciente. Tales fluctuaciones en grosor de los anillos pueden ser estimadas cualitativamente por inspección visual o mediante la medición de su anchura y expresarse como sensibilidad media, estadístico que expresa las diferencias relativas en anchura entre anillos adyacentes (Fritts, 1976).

2.8 Reconstrucciones de precipitación

Las primeras cronologías de anillos de árboles desarrolladas para México se realizaron en el periodo de 1940 a 1950 (Schulman, 1944, 1956). Scott (1966) con núcleos de crecimientos procedentes de vigas encontradas en ruinas arqueológicas de Casas Grandes, Chihuahua, generó una cronología de 485 (851 a 1336 A.D.). Posteriormente, Stokes y Taylor en la década de 1970 desarrollaron 20 nuevas cronologías de anillos de árboles.

Recientemente se han generado nuevas cronologías de anillos de árboles para la Sierra Madre Occidental y Oriental. Con estas series se han producido reconstrucciones de precipitación que muestran la presencia de eventos extremadamente secos en el norte de México para los periodos de 1540 a 1579, de 1751 a 1765, de 1798 a 1810, de

1850 a 1860 y de 1950 a 1965. La peor sequía aun detectada ocurrió en el período de 1540 a 1579 (Cleaveland *et al.*, 2003).

Los valores reconstruidos indican que la sequía para la década de 1950 fue la más severa en el siglo XX, pero fue igualada y superada en severidad por la sequías prolongadas de las décadas de 1850 y 1860 (Stahle *et al.*, 1999).

Para la Sierra Madre Oriental se desarrollaron reconstrucciones de precipitación para los pasados 600 años, reconstruyendo extensas sequías para Saltillo y Nuevo León, en los períodos de 1855-1870 y décadas de 1950, 1970 y 1990 (Pohl *et al.*, 2003; Cerano, 2004; Villanueva *et al.*, 2007).

Therrel *et al.*, (2002) con el uso de cronologías de árboles de las regiones centro y norte de México, definió el inicio del período de lluvias en estas regiones y su relación con el monzón mexicano.

Las cronologías de anillos de árboles en México son particularmente sensibles a la precipitación y aquellas derivadas de la región norte, registran la influencia de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) y del Monzón. Una red de cronologías de anillos de *Pseudotsuga menziesii* algunas de ellas con más de 600 años de longitud, se ha desarrollado en sitios de la Sierra Madre Occidental y Oriental (Stahle *et al.*, 1998; Villanueva *et al.*, 2003, 2007).

Actualmente la red de cronologías de *Pseudotsuga menziesii* para México se ha incrementado, ya que en los últimos años se ha logrado desarrollar nuevas cronologías con una extensión de más de 500 años (Villanueva *et al.*, 2003; 2006; 2007).

2.9 Reconstrucción del régimen de incendios

2.9.1 El fuego como un factor ecológico

Los incendios forestales son uno de los principales factores de perturbación en los bosques del mundo y de México, por lo cual el entendimiento del papel ecológico del fuego en la dinámica de los ecosistemas forestales, constituye un elemento fundamental para el diseño de prácticas de manejo apropiadas, tanto para la conservación biológica como para el manejo forestal sustentable y es sin duda un tema controversial (Vélez, 2000; Jardel y Alvarado, 2003; Jardel *et al.*, 2004).

2.9.2 Importancia del fuego en los ecosistemas

Los incendios forestales dentro de los bosques de pino juegan un papel muy importante, ya que estos ecosistemas presentan una gran resistencia y una amplia capacidad de recuperación después de la exposición al fuego, de manera que, un cambio en la frecuencia de incendios puede modificar la estructura del ecosistema (Agee, 1998).

El fuego en estos ecosistemas ha sido un factor evolutivo para varias especies de pino, las cuales presentan algunas adaptaciones a este factor que les proporcionan ventajas en cuanto a competencia, tales como cortezas gruesas que sirven como

protección del cambium vascular ante los incendios, la autopoda de las ramas inferiores, lo cual reduce la continuidad vertical del combustible, un estadio cespitoso de las plántulas que les permite resistir a incendios superficiales, la producción de conos serotinos que se abren con el calor o incluso capacidad de producir rebrotes después de un incendio; una característica poco común en los bosques de coníferas que presentan especies como *Pinus canariensis* C. Smith, *Pinus. echinata* Miller, *P. oocarpa* y *Pinus hartwegii* (Keeley y Zedler 1998; Rodríguez *et al.*, 2004).

2.9.3 Efectos del fuego sobre los ecosistemas

El fuego tiene varios efectos sobre los ecosistemas forestales, que según el tipo de incendio, el ecosistema afectado y las condiciones en que ocurre pueden considerarse tanto positivos como negativos (Rodríguez, 1996; Ruiz, 2000; Jardel *et al.*, 2005).

2.9.3.1 Efectos positivos

Entre los efectos positivos se encuentra la reducción de cargas de combustibles y en consecuencia del peligro de incendios severos; la movilización de nutrientes, la creación de condiciones de hábitat favorable para muchas especies de plantas y animales, y la eliminación de árboles suprimidos, enfermos o plagados (Fulé y Covington, 1997).

2.9.3.2 Efectos negativos

Entre algunos efectos negativos se tiene la mortalidad del renuevo, daño a la madera de los árboles, reducción de la cobertura vegetal y exposición del suelo a la erosión; alteración de la calidad del agua por el arrastre de cenizas y sedimentos, reducción temporal de la disponibilidad de alimento para la fauna silvestre y el ganado, modificación de las condiciones microclimáticas, eliminación de la capa orgánica del suelo y emisión de humos y gases que afectan la calidad del aire (Pyne *et al.* 1996).

2.9.4 Regímenes de incendios

El estudio de los regímenes de incendios en una comunidad vegetal, proporciona información fundamental acerca de su funcionamiento (Medina *et al.*, 2000) ya que su diversidad, composición y estructura se deben tanto a las condiciones del medio físico como a los regímenes históricos de perturbación (Wright 1996). Los regímenes históricos de incendios se pueden definir como la manifestación del fuego (originado por causas naturales o humanas), a través de cierta frecuencia y su variación en tipo, extensión, intensidad y severidad; regularidad o irregularidad de afectación, época del año en que se presenta o temporalidad y el sinergismo con otros tipos de perturbación (Agee 1993, White y Pickett 1985, Wright 1996).

De manera simplificada, el rango de variación en el régimen de incendios en un ecosistema, depende en gran medida de la frecuencia de eventos de fuego, ya que esta afecta a otras dos variables, la severidad y la extensión. Por ejemplo, intervalos largos pueden provocar un aumento en la severidad al incrementar la mortalidad de plantas y formar claros y en la extensión de los incendios a consecuencia de la acumulación de combustibles. A intervalos mas cortos estos efectos se disminuyen (Swanson *et al.* 1994).

2.9.5 Estudio de los regímenes de incendios

Los regímenes de fuego en los bosques pueden ser estudiados a través de la observación directa, el análisis de reportes sobre áreas afectadas a través del tiempo, la obtención de información mediante entrevistas con pobladores de las áreas forestales, la toma de datos sobre indicadores de los efectos del fuego y la interpretación de la estructura y composición de la vegetación, además del uso de técnicas que permiten reconstruir el historial de perturbaciones de un sitio a través la datación de restos de carbono en sedimentos ó métodos dendrocronológicos (Arno y Snack, 1977; Heinselman, 1981; Jardel, 1991; Agee, 1993; McKenzie, 2004).

Una de las ramas de la dendrocronología es la *dendropirocronología*, que utiliza la datación de los anillos de crecimiento de los árboles para estudiar el pasado y presente de los incendios forestales (Grissino-Mayer, 2005).

Con la ayuda de la dendrocronología podemos analizar la frecuencia de los incendios mediante el conteo de las cicatrices de fuego presentes en los anillos de crecimiento de los árboles (Arno y snack, 1977; Agee, 1993; Wright, 1996). Estas cicatrices se forman cuando el fuego es lo suficientemente intenso, o tiene un tiempo de residencia lo suficientemente largo como para penetrar la corteza y matar parte del cambium (cuando se alcanza una temperatura mayor a 61°C). Si el árbol sobrevive al incendio comenzará a cubrir la parte afectada mediante el crecimiento, de manera que quedará grabado en el árbol el año en que fue quemado (Agee, 1993).

Las cicatrices que deja el fuego en varios árboles de un sitio pueden ser utilizadas como señal de incendios históricos. Otros factores como heridas provocadas por la caída de troncos o ramas de árboles aledaños, el daño de insectos barrenadores o el picoteo de pájaros carpinteros, por ejemplo, pueden producir también cicatrices. Sin embargo las cicatrices de fuego presentan restos de carbón que permiten diferenciarlas (Figura 4).

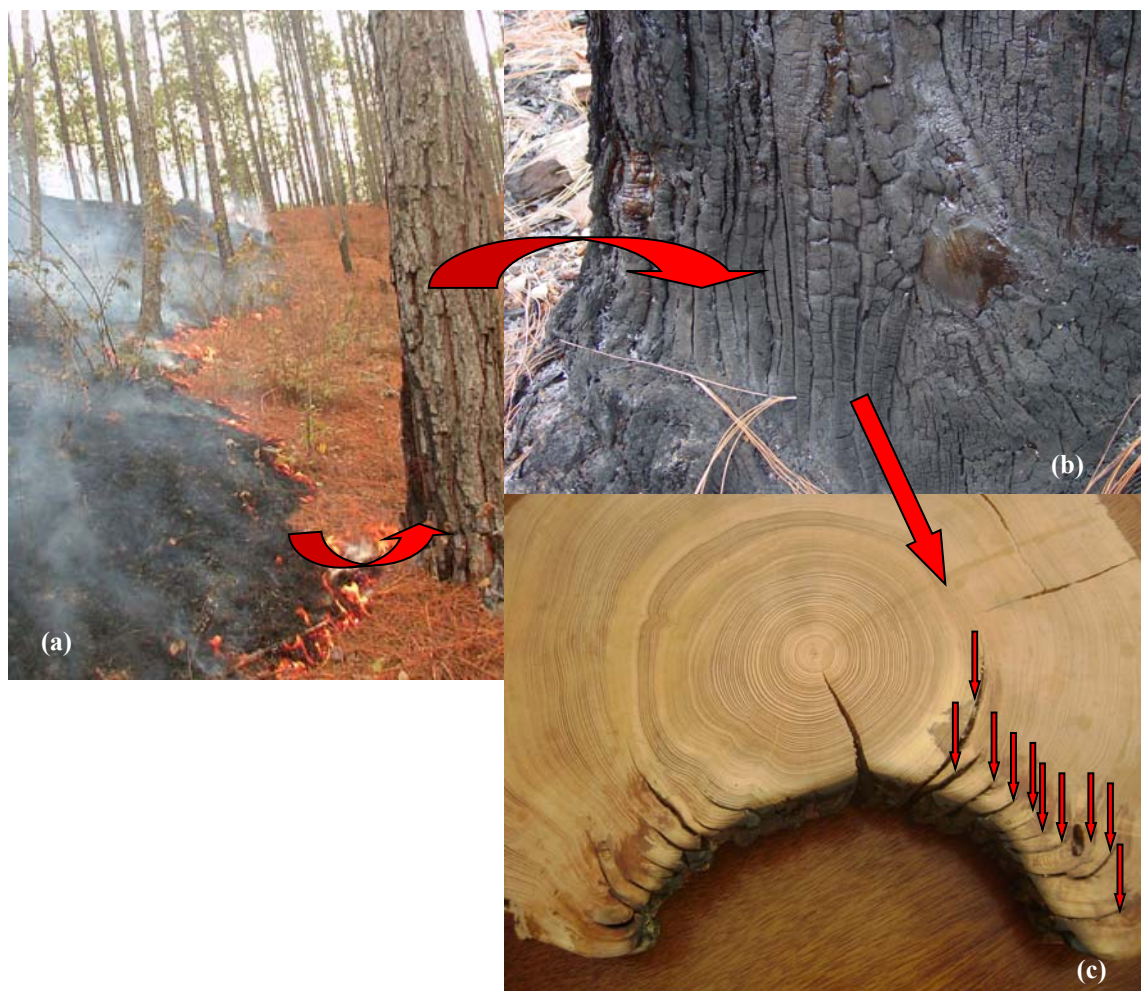


Figura 4. Formación de las cicatrices de incendios en la parte basal de los tallos de árboles de pino. Cuando el fuego quema la corteza y parte del cambium (a), en la parte quemada del tronco se inhibe el crecimiento del árbol y se forma una cicatriz (b); la incidencia de nuevos incendios formara nuevas cicatrices, localizadas en la sección transversal del tallo de árboles afectados por el fuego (c). La lectura de los anillos de crecimiento anuales y las cicatrices de fuego (indicadas por las flechas), permite datar los incendios y analizar su frecuencia histórica.

2.9.6 Frecuencia de incendios

La datación de cicatrices de fuego a partir de los anillos de crecimiento, permite reconstruir el régimen histórico de incendios forestales de los bosques (Wright 1996, Grissino-Mayer 1999, Fulé *et al.* 2005), a través de estadísticas tales como:

Frecuencia media de incendios (FMI): Número de años total de una cronología (la edad de un árbol o un rodal) dividido entre el número de incendios registrados. Esta medida considera los intervalos sin incendios entre el año de inicio de la cronología y el año final del periodo de análisis.

Intervalo medio entre incendios (IMI): El número de años entre el primero y el último incendio dividido entre el número de intervalos de incendios (el número de incendios menos uno). Esta es la medida de tendencia central utilizada más comúnmente en los estudios de frecuencia de incendios (Fulé *et al.* 1995), y a diferencia del FMI considera únicamente la duración de los intervalos entre incendios, excluyendo los intervalos entre el centro de la muestra y el primer incendio y entre el último incendio y la fecha final del período de análisis.

Intervalo medio de probabilidad de Weibull (IMPW): Esta es una medida que describe la tendencia central de distribuciones asimétricas, a diferencia del IMI que es una medida de tendencia central basada en el supuesto de una distribución simétrica de los intervalos entre incendios (una distribución normal) (Swetnam y Baisan, 2003; Grissino-Mayer, 1999; Wright, 1996). El IMPW representa el intervalo de incendios asociado al 50% de la distribución de los datos ajustada a la distribución de Weibull, esto es, la mediana de la distribución.

En los estudios de historial de incendios se utiliza la distribución de Weibull como un modelo altamente flexible, capaz de modelar distribuciones asimétricas, que podría proporcionar nuevas medidas para caracterizar los regímenes de incendios

superficiales por medio del implemento de modelos probabilísticos, derivando una serie de estadísticos descriptivos que ayudan a definir el rango de variabilidad de los incendios históricos (Grissino-Mayer, 1999; Swetnam y Baisan, 2003).

2.9.7 Estudios de reconstrucción de incendios en México

El fuego es un elemento clave en la dinámica de ecosistemas forestales de coníferas del oeste de Norte América, incluyendo los bosques templados del norte de México. Villanueva y McPherson (1995, 1996) emplearon los anillos anuales de crecimiento en una investigación de patrones de uso del suelo, al norte y al sur de la frontera México-Estados Unidos, encontrando que las diferencias en la supresión de incendios, sobrepastoreo y aprovechamientos forestales, tuvieron un marcado impacto en la dinámica de las especies forestales en ambos lados de la frontera.

Al hacer el análisis de anillos de crecimiento de árboles con cicatrices de incendios se encontró que los bosques de pino y bosques mixtos de pino-encino del noroeste de Durango, experimentaron un régimen similar de frecuencia de incendios de baja intensidad, hasta antes del inicio de aprovechamientos de estos bosques, que ocurrió en 1950 (Fulé y Covington, 1996, 1998).

Una perspectiva histórica de regímenes de fuego pasados y las causas de su variabilidad en la frontera de México y Estados Unidos fue desarrollada por Swetnam et al. (2001); mientras que para el norte de México, un análisis de la influencia del clima y el uso del suelo en la variación de la frecuencia de incendios en los bosques de la Sierra

Madre Occidental fue desarrollado por Heyerdahl y Alvarado (2003). Por otra parte, el régimen de fuego para los pasados 400 años en la Reserva Tutuaca, en la Sierra Madre Occidental al oeste de Chihuahua fue desarrollado por Fulé et al. (2005). Finalmente, Rubio (2007) reconstruyó el comportamiento de los regímenes del fuego para los pasados 100 años en la Reserva de Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México.

2.10 El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en ingles)

Varias han sido las denominaciones usadas para describir el calentamiento que experimentan los mares del Pacífico tropical del este. El término El Niño, el más aceptado, fue originalmente utilizado para caracterizar una corriente marina cálida del sur a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, que se establece al aproximarse el periodo navideño; de ahí el nombre, asociado a El Niño Jesús. El calentamiento en las aguas de la costa del Pacífico sudamericano pronto fue relacionado con el calentamiento anómalo del Pacífico central y del este, a lo largo del ecuador, extendiéndose desde la línea internacional del tiempo (180 °W) hasta la costa sudamericana, resultando en graves alteraciones en el clima global y los ecosistemas.

El Niño es una condición anómala en la temperatura del océano en el Pacífico tropical del este. El Niño corresponde al estado climático en el que la temperatura de la superficie del mar está 0.5 °C o más, por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos, en la región conocida como “Niño 3” (Figura 5) (4°N-4°S, 150°W-90°W) (Magaña et al. 1999).

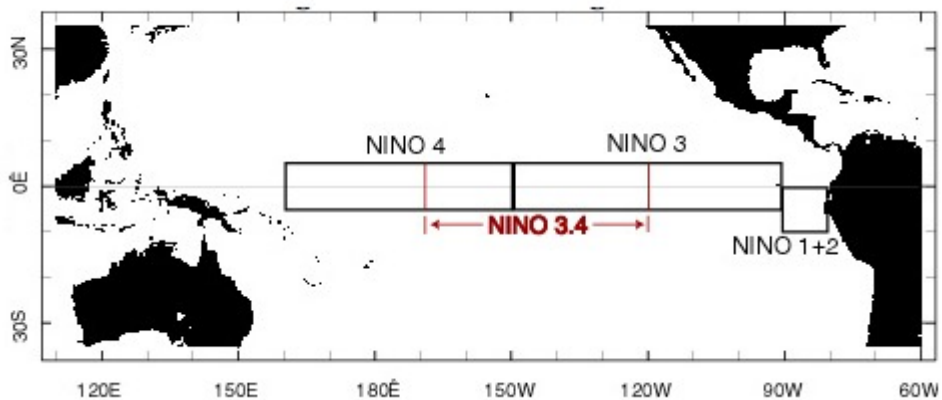


Figura 5. Regiones del Pacífico Ecuatorial cuyas anomalías de temperatura del agua superficial del mar se utilizan como índices para determinar la intensidad del Niño (tomado de Capel, 1999).

Para entender la complejidad inherente a los cambios en el clima, hay que recordar que los primeros intentos por entender tales cambios se dieron durante el siglo pasado, cuando el científico inglés Gilbert Walker (1868-1958) trabajó en el estudio del fenómeno conocido como el Monzón de la India (Fein y Stephens 1987). Sus observaciones mostraron que en años cuando la presión en superficie de Australia (Darwin) era en promedio más baja de lo normal, en el océano Pacífico central (Tahití) era más alta. Esta especie de sube y baja en la presión, con periodos de dos a cuatro años, se denominó Oscilación del Sur. La diferencia entre la presión de ambos puntos se conoce como Índice de la Oscilación del Sur (Figura 6).

Se sabe que el fenómeno de El Niño afecta las lluvias en México (Magaña y Quintanar, 1997). Por ejemplo, Mosiño y Morales (1988) encontraron que el fenómeno de El Niño tiene grandes repercusiones en la precipitación en el centro del país. Otros trabajos han confirmado el papel que juega El Niño, no sólo en las lluvias de verano, sino también en las de invierno (Cavazos y Hastenrath, 1990).

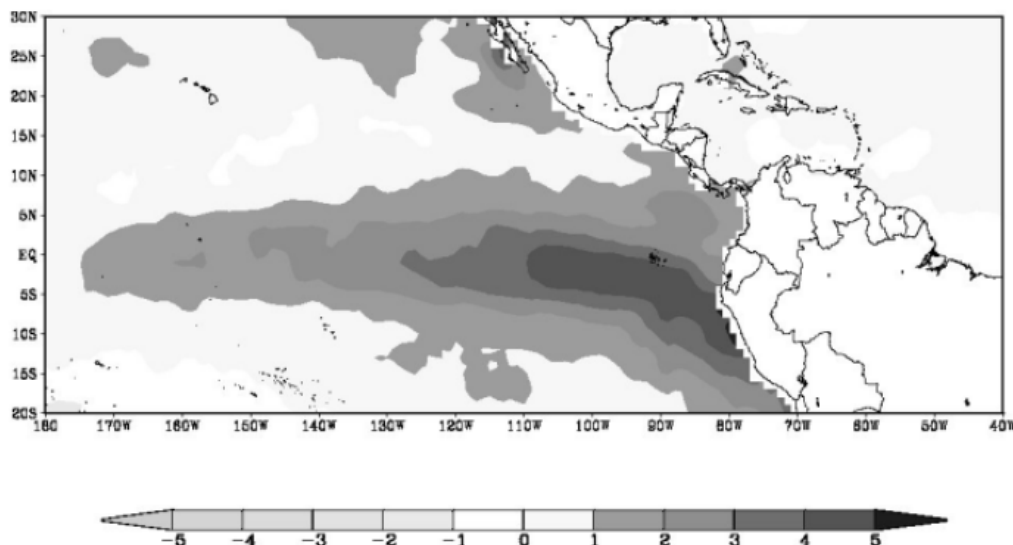


Figura 6. Anomalías de la temperatura de la superficie del mar (°C) en agosto de 1997 (tomado de Magaña *et al.* 1999).

2.11 Influencia del ENOS en la incidencia de incendios

El Niño se manifiesta en la mayor parte de México con un aumento de las lluvias durante el invierno y anomalías negativas de la precipitación durante el verano; la temporada lluviosa comienza más tarde y se observa una baja humedad relativa y altas temperaturas al final de la primavera (Magaña *et al.* 2003), y en consecuencia se presentan condiciones que favorecen la propagación de los incendios.

La relación entre la incidencia de incendios forestales en México y condiciones de sequía para primavera-verano provocados por ENSO ha sido bien documentado (Heyerdahl y Alvarado, 2003; Román-Cuesta *et al.* 2003).

El norte de México es fuertemente afectado por ENSO (Stahle y Cleaveland 1993; Stahle *et al.* 1998), y la ocurrencia de incendios en el norte de México ha estado ligada a este fenómeno, como en el suroeste de los Estados Unidos y sur de Sur América (Fulé y Covington 1997, 1999). La ocurrencia de incendios en 1998 para el centro y sur de México estuvieron asociados con ENSO (Rodríguez-Trejo y Pyne, 1998).

La sequía registrada en el verano de 1997 y la falta de lluvias en el invierno 1997-98 provocó que la vegetación fuera susceptible de incendiarse en la primavera de 1998, observándose un ejemplo claro de los efectos del ENSO en México a nivel general (Figura 7) (Magaña *et al.* 1999).

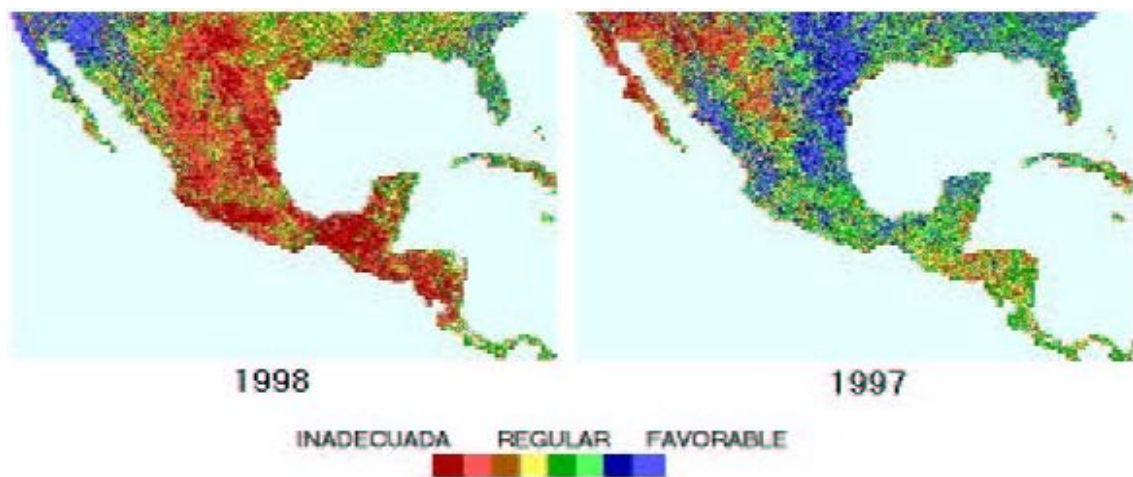


Figura 7. Condición de la salud de la vegetación durante Mayo de 1997 y 1998 (tomada del National Geophysical Data Center, NOAA).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

Cerro El Mohinora se localiza al suroeste del estado de Chihuahua, cerca de los límites con los estados de Durango y Sinaloa ($25^{\circ} 57' 16''$ N $107^{\circ} 01' 38''$ W parte alta, $25^{\circ} 58' 27''$ N $107^{\circ} 02' 26''$ W parte media y $25^{\circ} 58' 23''$ N $107^{\circ} 01' 35''$ W parte baja); el área comprende un gradiente de elevación de 2500 a 3000 m (Figura 8). En la parte alta del área de estudio se distribuyen bosques de pino y *Abies-Pseudotsuga-Picea*; en la parte media se desarrolla bosque de *Abies-Pseudotsuga-Picea* y en la baja bosques de pino. Entre las especies más importantes se encuentran *Pinus duranguensis*, *P. arizonica* y *P. ayacahuite*.

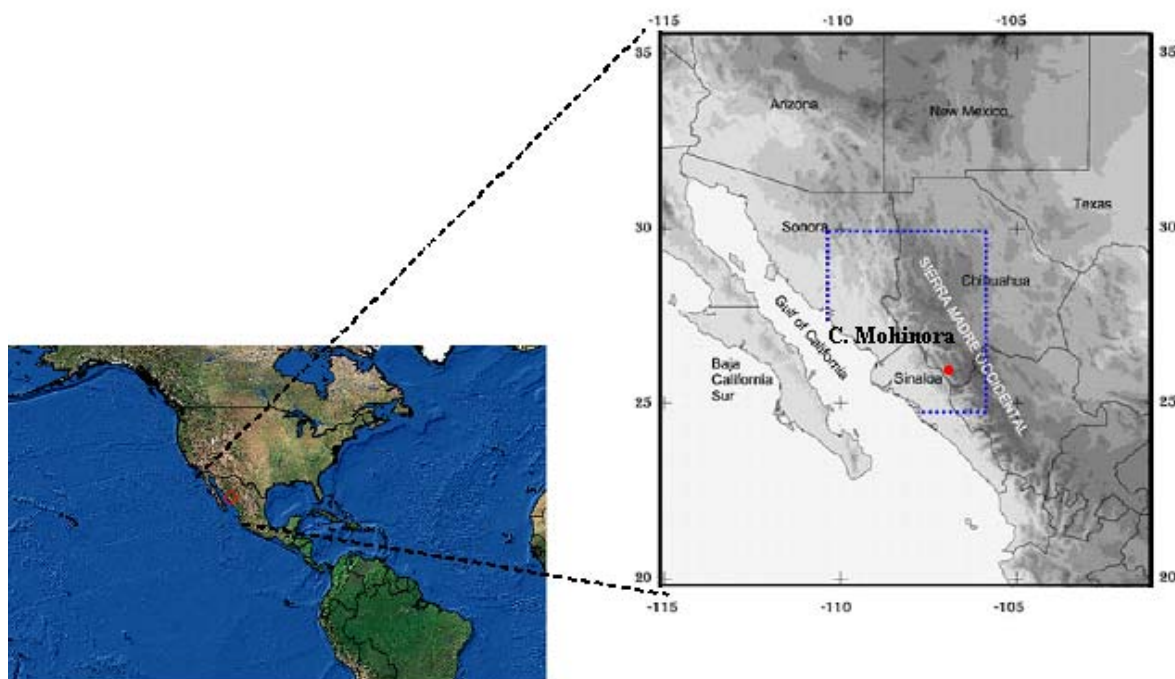


Figura 8. Localización geográfica del sitio de muestreo en el suroeste del estado de Chihuahua.

Las características climáticas del área en términos de temperatura y precipitación son muy variables en el año. La temperatura máxima promedio fluctúa de 25 a 27 °C; la media mensual más elevada se registra en los meses de Mayo a Septiembre; la temperatura mínima registrada en el área es del orden de -1 a -3 °C para los meses de Diciembre a Marzo. El patrón de precipitación indica una distribución bimodal, con un 60% del total de lluvia durante el verano (Julio a Septiembre) y un 19% de la lluvia total durante el invierno (Diciembre a Marzo); el promedio mensual es de 96 mm con un promedio anual de 1130 mm (ERIC II, 2000).

3.2 Selección de las áreas de trabajo

A mediados del año 2006 se realizaron varios recorridos preliminares para ubicar poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* con características apropiadas para estudios dendroclimáticos y áreas con potencial para desarrollar estudios de regimenes históricos de incendios en la Sierra Madre Occidental. Al término de estos recorridos, se seleccionó la reserva “Cerro El Mohinora”, en el estado de Chihuahua. Dentro de esta área inicialmente se seleccionó el sitio para el análisis de variables climáticas; el sitio cuenta con una superficie aproximada de 100 ha donde se desarrollan arboles de *Pseudotsuga menziesii* y presenta sitios con poco disturbio y arbolado longevo con potencial para reconstruir la variabilidad climática del pasado; así mismo, este sitio es importante desde el punto de vista hidrológico, ya que es una región productora de agua que drena hacia la Planicie Costera del Pacífico en el estado de Sinaloa, donde constituye una fuente de agua importante para la producción de cultivos de exportación.

El estudio de reconstrucción de la variabilidad climática se desarrolló en la parte media y alta del “Cerro El Mohinora”, en bosques mixtos de *Pseudotsuga menziesii*, *Abies bejari* y *Picea chihuahuaza*.

Adicionalmente en este sitio se seleccionaron rodales de Pino, donde los incendios de origen natural han mantenido su estabilidad ecológica a través del tiempo; por lo que representan áreas con excelente potencial para estudios de reconstrucción histórica de incendios en la zona.

Para este estudio, el área se dividió en dos secciones, en la primera ubicada en la parte baja (2500 m), se muestrearon individuos seleccionados en una superficie de 40 ha; mientras que en la segunda, ubicada en la parte alta (3000 m) se tomaron muestras de individuos seleccionados en una superficie de 60 ha. El sitio de la parte baja se localiza geográficamente en las coordenadas 25° 58' 23'' de latitud N y 107° 01' 35'' de longitud W; y la parte alta en 25° 57' 16'' de latitud N y 107° 01' 38'' de longitud W.

Dado el impacto de los patrones circulatorios (Monzón de Norte América y El Niño Oscilación del Sur) en la precipitación de la época cálida y fría del año para la región del suroeste de Chihuahua; se considero importante analizar el impacto de estos fenómenos circulatorios en la variabilidad del clima regional y su relación con la ocurrencia de incendios.

De esta manera el conocimiento del impacto de estos fenómenos atmosféricos en la ocurrencia de incendios en estos ecosistemas es benéfico para establecer planes de manejo que contribuyan a su conservación e inclusive restauración.

3.3 Diseño de muestreo

El sistema de muestreo empleado para la toma de muestras tanto para análisis climático como para reconstrucción histórica de regímenes de incendios, fue selectivo, es decir, se seleccionó en cada uno de los sitios estudiados especímenes con características fenotípicas determinadas para cumplir con los objetivos planteados en el estudio.

3.4 Reconstrucción de la variabilidad climática

3.4.1 Métodos de campo

3.4.1.1 Características del arbolado muestreado

Un aspecto importante en el desarrollo de estudios dendrocronológicos es la selección adecuada del arbolado. Los árboles más sensibles a las variables climáticas son aquellos localizados en terrenos de ladera seca, donde los suelos son de profundidad somera, pobres en fertilidad y donde los individuos están más limitados por la humedad del suelo y por ende son más susceptibles de registrar la señal climática. En este estudio, los árboles seleccionados fueron aquellos con apariencia longeva, generalmente fueron

individuos con la parte terminal de la copa seca, tallo y corteza torcida en forma espiralada, copa no cónica; así mismo, se procuró que los árboles tuvieran el tronco sólido, para obtener el mayor radio posible y se evitaron árboles podridos del centro, que pudieran generar muestras de mala calidad debido al rompimiento y pérdida de anillos internos. Otras consideraciones en el muestreo consistieron en, evitar seleccionar árboles en sitios con alta competencia intraespecífica e interespecífica y de esta manera incrementar la señal climática.

3.4.1.2 Registro de información del sitio

En cada sitio estudiado, se llenó un formato específico para registrar información geográfica y ecológica, el que incluyo coordenadas geográficas, altitud, pendiente del terreno, nombre del paraje, tipo de vegetación, especies dominantes, uso del suelo y ocurrencia de incendios, entre otros. Así mismo, se obtuvo información de cada uno de los árboles muestreados, en el que se registró: presencia de plagas y enfermedades, daños por descarga eléctrica, incendios, presencia de daños físicos, ocoteado, etc. También se registró si el árbol muestreado se ubicaba cerca o sobre un arroyo, en una fuerte pendiente o cañada. Se aplicó una clave para cada sitio de colecta, la cual consiste en las tres primeras letras del nombre del lugar, seguido por el número de árbol y muestra obtenida (A, B, C, etc), orientación de la muestra, fecha de colecta y observaciones adicionales pertinentes a cada árbol muestreado.

La información anterior permitió que al momento de analizar con los programas dendrocronológicos cada uno de los núcleos de crecimiento, corroborar e interpretar

mejor los análisis, ya que cualquiera de los daños indicados, aunado a las condiciones físico-químicas del sitio donde se desarrolla cada uno de los árboles puede alterar el crecimiento anual. Esta información, permitió explicar variaciones en crecimiento no atribuible a factores climáticos y de esta manera eliminarlas para maximizar la señal climática.

3.4.1.3 Toma de núcleos de crecimiento o virutas y secciones transversales de árboles

Los núcleos de crecimiento o virutas se obtuvieron con taladro tipo Pressler, utilizando diversas longitudes de barrena para obtener virutas lo más cercano al centro del árbol (Figura 9a). La barrena es una herramienta de precisión diseñada para extraer un núcleo pequeño de un árbol vivo sin provocar daños considerables (Stokes y Smiley, 1968).

El proceso de obtención de un núcleo de crecimiento o viruta, consiste en seleccionar una parte sana y sólida en el fuste principal, generalmente a la altura del pecho (diámetro normal), que para fines prácticos se considera a 1.30 m. Para propósitos dendrocronológicos, lo principal es extraer la mejor muestra y puede obtenerse a tres metros, treinta centímetros o en la base del árbol; si el árbol es muy longevo y el tallo principal esta dañado, es conveniente tomar muestras de las ramas y es recomendable obtener más de dos núcleos de crecimiento distribuidos uniformemente en la periferia del fuste.

En este estudio se obtuvieron dos muestras por individuo (A y B), esto cuando el árbol es sano y permite la obtención de muestras de calidad. Cada muestra se tomó en sentido opuesto a la pendiente del terreno y se evitó perforar en puntos del fuste con madera de tensión y compresión. Para los árboles localizados en sitios planos, solo se considero la extracción de núcleos de crecimiento en secciones del fuste sin daño aparente.

Para el caso de árboles viejos, se obtuvo más de dos muestras, debido a que estos individuos son los de mayor interés por aportar mayor número de crecimientos anuales, lo que permite extender las series de crecimiento en el tiempo.

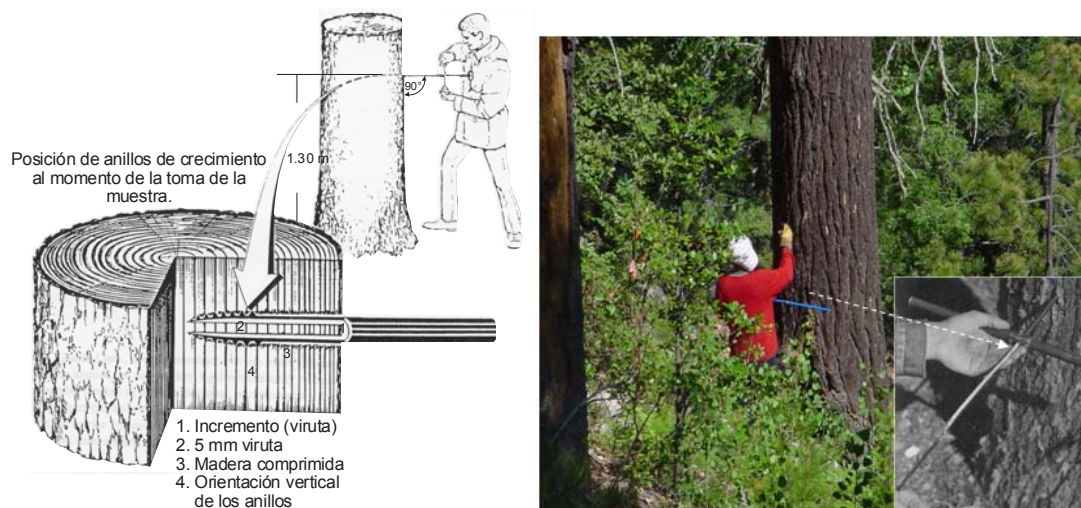


Figura 9. a) Posición en que la barrena va cortando la madera e indica la forma en que se ubican los anillos de crecimiento (Jozsa, 1988). **b)** Obtención de una muestra o viruta con el taladro de Pressler en el sitio de estudio.

Las virutas extraídas con la barrena son frágiles y deben manejarse con cuidado (Figura 9b). Las virutas se almacenaron en popotes de plástico con perforaciones

previamente realizadas para permitir una mejor aireación de la muestra y evitar problemas de pudriciones a consecuencia de hongos. Cada muestra, al sacarla del taladro con el extractor, se colocó inmediatamente en un popote. A continuación se anotó la clave del sitio, número de muestra, (01A o 01B), fecha de la toma de muestra, diámetro normal y así como observaciones relacionadas con daños físicos, orientación de la muestra, daño de incendio, plaga, etc.

En aquellos sitios en los cuales se encontraron árboles muertos, a causa de incendios, plagas, aprovechamientos, etc., se extrajeron secciones transversales con una motosierra marca STIHL y barra de dimensiones variables. Estas secciones permitieron extender la cronología en el tiempo y ayudaron a detectar la presencia de anillos perdidos o anillos dobles que muchas veces en los núcleos de crecimiento no se detectan adecuadamente. Lo anterior se fundamenta en que un anillo nunca está perdido en la superficie total de la circunferencia del tallo o rama (Stokes y Smiley, 1968).

3.4.2 Métodos de laboratorio

3.4.2.1 Preparación y fechado de muestras

En laboratorio, la preparación y fechado de muestras se realizó mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968; Swetnam *et al.*, 1985). Los núcleos de incrementos extraídos con taladro son pequeños y frágiles y por consiguiente es necesario montarlos antes de que sufran daño. Cuando el núcleo de crecimiento perdió suficiente humedad, se insertó en una moldura de madera con pegamento y luego se ajustó firmemente con cinta adhesiva (Figura 10a).

El montado correcto de la muestra es de gran importancia, ya que de esto depende el observar con mayor claridad las bandas de crecimiento anual. Las células de la madera (traqueidas) deben quedar perpendiculares a los incrementos anuales.



Figura 10. a) Preparación y montado de núcleos de crecimiento, etapa básica para el inicio de análisis dendrocronológico de la muestra y **b)** muestras pulidas y preparadas para el conteo de crecimiento en microscopio.

Una vez que las muestras están montadas y fijas con el pegamento se procede a su pulido para resaltar sus estructuras de crecimiento anual. El procedimiento consiste en el pulido con lijas de diferente textura y para tal efecto se utilizan granos de 120 a 1200. Dicho procedimiento se inicia con lija de grano grueso y uso progresivo de lija de grano fino (Figura 10b). En el caso de secciones transversales, primero se trabajó con un cepillo eléctrico y posteriormente se lijaron con grados de lijas en el rango de 30 a 1200. Este procedimiento permitió diferenciar con mayor claridad los anillos en la mayoría de las muestras (Figura 11).



Figura 11. Sección transversal sujeta a diferentes grados de lijado, que muestra con claridad la presencia de microanillos y anillos perdidos, dos problemas principales en el dateo exacto de crecimientos anuales.

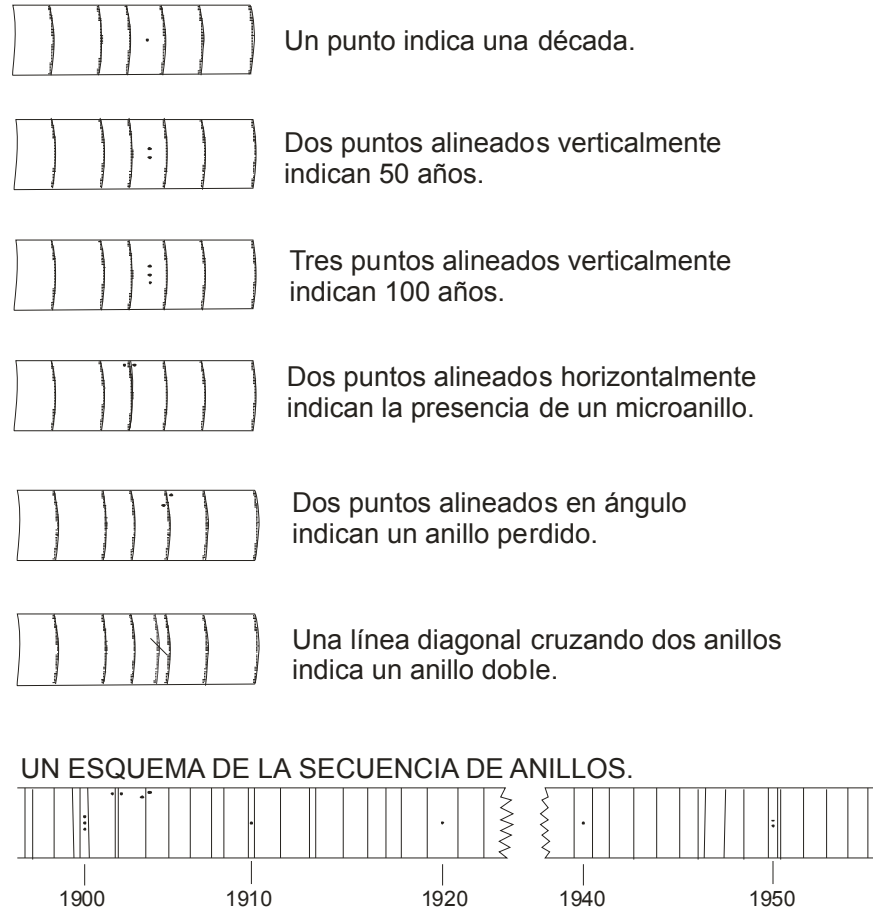


Figura 12. Sistema de conteo, representación de micro anillos y anillos ausentes (Stokes y Smiley, 1996; Swetnam et al., 1985).

Las virutas colectadas de árboles vivos, se analizaron con la lupa estereoscópica de aumento 3.5X a 15X. El conteo de anillos se realizó mediante el procedimiento siguiente: cada década (un punto), cada cincuenta años (dos puntos) y cien años (tres puntos). Así mismo, se ubicaron anillos con reducción en anchura (anillos pequeños) y aquellos donde sólo se observa una parte de la banda de crecimiento (microanillo), en cuyo caso se utilizaron dos puntos paralelos. Para el caso de anillos perdidos se utilizaron dos puntos alternos y una línea diagonal para indicar un falso anillo (Figura 12). Posterior al conteo y mediante representaciones esqueléticas o gráficos de crecimiento y con la identificación de patrones comunes de crecimiento entre las series se logró asignar fechas tentativas de formación de los anillos de crecimiento (Figura 13).

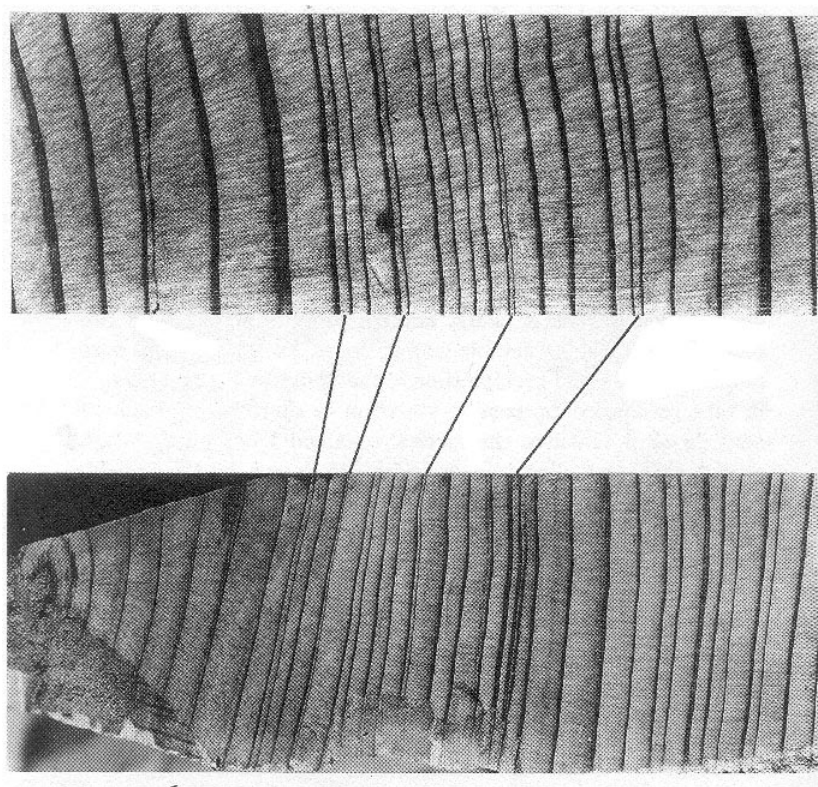


Figura 13. Dos secciones de incrementos que muestran patrones comunes de crecimiento, donde se observa la presencia de bandas angostas (microanillos) y anillos ausentes o perdidos (Stokes y Smiley, 1996).

La técnica del grafico de crecimiento “skeleton plot”, es una forma gráfica de representar de manera subjetiva el grosor de los anillos. Estos gráficos se usan como una ayuda cronológica para comparar un grupo de muestras y definir patrones de tendencia, esenciales para el fechado exacto de los crecimientos anuales. El método del grafico de crecimiento tiene la ventaja de ser más rápido en comparación a los métodos que requieren la medida del anillo real o actual. El proceso de fechado se inicia con la construcción de un gráfico de crecimiento para cada muestra individual.

En el gráfico de crecimiento los anillos estrechos (más angostos) son los primeros en ser comparados y plasmados en el gráfico; así que una línea está marcada en cada intervalo donde un anillo estrecho ocurre (Figura 14). La decisión de estrechez (angostos) se basa en la comparación de cada uno de los anillos inmediatos vecinos o los de a lado. Entre más estrecho el anillo, mayor la longitud de la línea marcada. La estrechez de los anillos está representada arbitrariamente con una línea de 2 cm en altura. Los anillos anchos se marcan con una “B” (Big) o una “G” de grande; los anillos promedios no se marcan. Si un anillo muestra reducción en anchura y se observa incompleto, se trata de un microanillo. Una línea mayor a las trazadas para anillos pequeños es colocada en el gráfico de crecimiento y en el caso de anillos perdidos se traza una línea punteada ubicada en la posición gráfica donde en teoría debe estar para señalar su presencia.

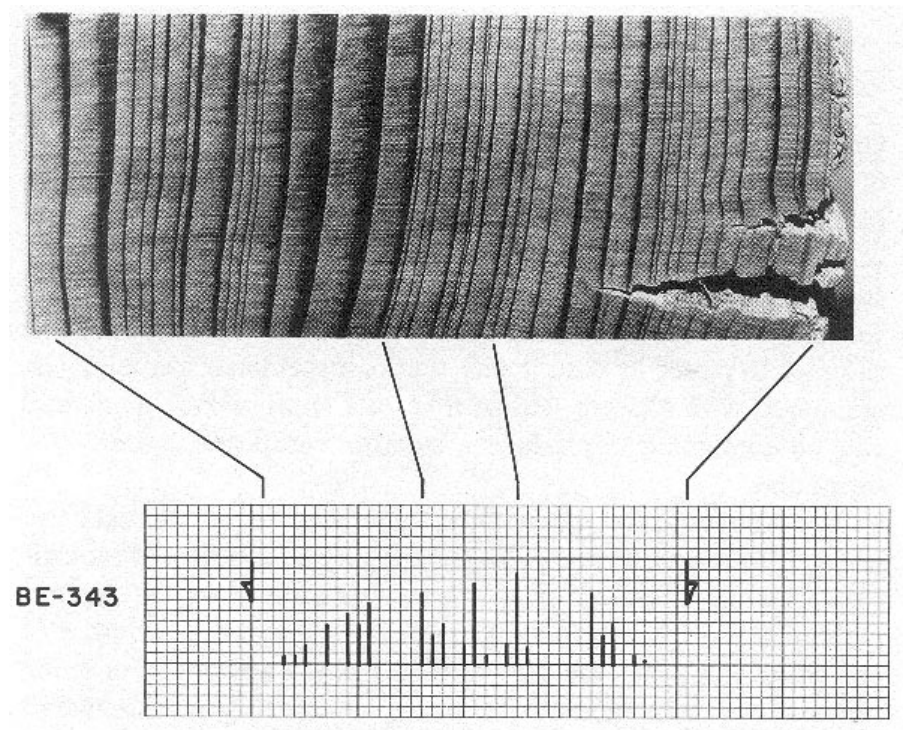


Figura 14. Grafico de crecimiento (Skeleton plot), modelo de crecimiento plasmado en papel lo cual permite la comparación simultanea de varios individuos para determinar similitud de patrones de crecimiento (Stokes y Smiley, 1996).

Después de trazar el gráfico (skeleton plot) para cada una de las muestras, entonces se comparan entre sí simultáneamente. Al hacer lo anterior, se puede observar similitudes en los patrones de crecimiento de los anillos, ya que se desarrolla un mosaico de gran número de muestras. Cuando el emparejado o cruzado de todos los gráficos de crecimiento se realiza correctamente, todos los anillos durante cualquier año dado (aunque todavía no se asigne una fecha) se colocan en la misma línea vertical, esto indica que los anillos de las diferentes muestras que se localizan en una misma línea corresponden a un año específico. Para este caso, estas muestras son de árboles vivos para los cuales se conoce la fecha del año exterior y como los patrones de crecimiento ya

coinciden perfectamente, solo resta asignarles las fechas correspondientes; a esta etapa se le conoce como prefechado.

Después de que todas las muestras han sido colocadas, un nuevo gráfico de papel cuadriculado se pone en la parte inferior, y un gráfico compuesto (cronología maestra) se desarrolla al trazar una media de la longitud de las líneas por cada año (Figura 15). Puesto que estas líneas no tienen una longitud específica los promedios generados, similar a los gráficos individuales, son cuestión de juicio personal.

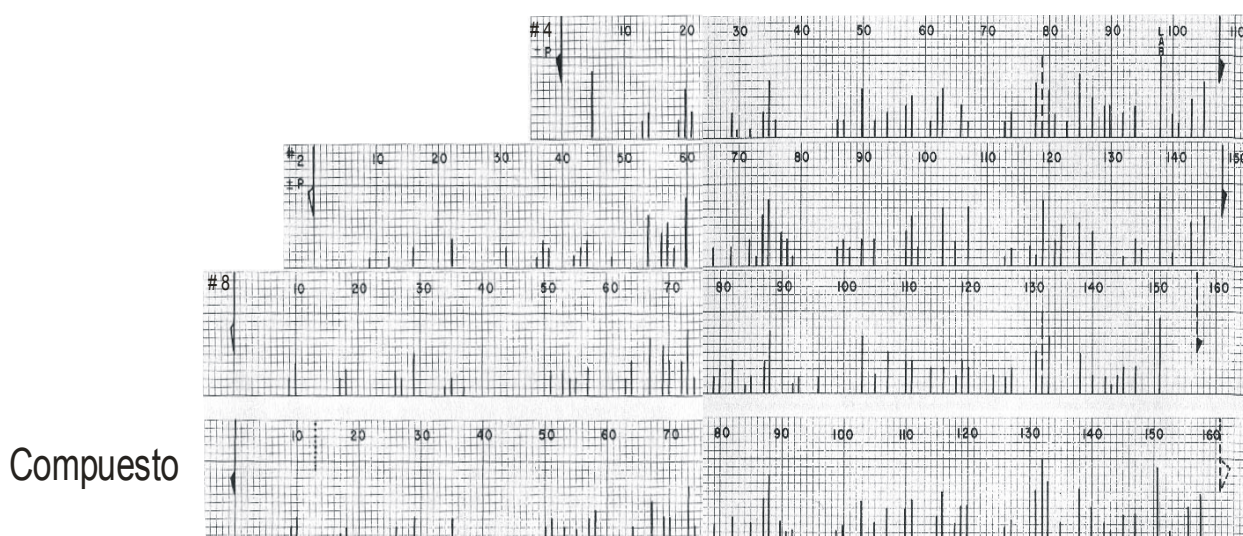


Figura 15. Fechado cruzado o empalme. Gráficos de crecimiento de diferentes individuos permiten generar un gráfico maestro (Stokes y Smiley, 1996).

3.4.2.2 Medición de anillos, crecimientos anuales

Posterior al prefechado de las muestras se procedió con la medición de los anillos de crecimiento y para tal fin se utilizó un micrómetro con precisión de 0.01 mm y platina de fase deslizante, conectado a una computadora (Robinson y Evans, 1980). Las

muestras se midieron una a una, deslizando la platina y observando la muestra a través de un estereoscopio con un ocular reticulado. La medición, se inició con el anillo más interno y se procedió de esta manera hasta el anillo exterior (corteza). La medición de cada anillo se registra con la fecha asignada en el prefchado. En cada anillo de crecimiento se realizaron tres mediciones, una para madera temprana (clara), una para tardía (obscura) y una para el ancho total (anillo total).

La base de datos de las mediciones generadas para cada una de las muestras, quedó registrada en el software de medición de la computadora.

3.4.3 Análisis de datos

3.4.3.1 Control de calidad de los datos

Una vez que se generaron los archivos de medición, éstos se ingresaron al programa COFECHA, que realiza el control de calidad de fechado y medición (Holmes, 1983). Este programa además permite identificar segmentos de la serie de anillos con baja correlación con la serie maestra por lo que podrían representar posibles errores de fechado o de medición. El programa genera también una serie maestra, como la media de cada uno de los años de todas las series individuales; analiza estadísticamente el fechado de cada serie al correlacionar contra la serie maestra segmentos sobrepuestos de 50 años de cada serie individual y finalmente produce un resumen de las estadísticas descriptivas para el conjunto total de datos.

Las series para las que COFECHA identificó problemas se graficaron con la rutina BARPLOT (Holmes *et al.* 1986). Esta subrutina calcula la desviación estándar de cada serie individual.

Mediante la comparación de los gráficos de las series individuales y la serie promedio para el sitio y análisis cuidadoso de las muestras con problemas en microscopio, se identificaron y se corrigieron los errores detectados por el programa, que pueden ser anillos omitidos o anillos perdidos.

Al finalizar el fechado de muestras de árboles vivos se continuó con el fechado de las muestras de árboles muertos, para los cuales no se sabía la fecha del último año. Para el caso de secciones transversales de árboles muertos es común que la parte externa correspondiente a la albura se haya perdido o eliminado debido a pudrición. Para estas muestras al igual que para las de árboles vivos se llevó acabo un conteo de los anillos existentes, se generó un gráfico de crecimiento y este se comparó contra el gráfico maestro para definir la fecha del último anillo desarrollado y así determinar el fechado exacto de cada una de las bandas de crecimiento.

3.4.3.2 Generación de cronologías

El término cronología de anillos de crecimiento o serie de tiempo dendrocronológica, se refiere a una serie de valores que representa los promedios de los índices de crecimiento anual estandarizados y debidamente fechados (Fritts, 1976).

Estas series de tiempo se generan después de que se tiene certeza de que los anillos de crecimiento están perfectamente fechados y sujetos a control de calidad mediante el programa COFECHA. La generación de los índices dendrocronológicos se producen con el programa ARSTAN (Cook y Holmes, 1984). Este programa realiza la estandarización de las series individuales de cada núcleo de crecimiento al remover la varianza debida a factores biológicos, como edad y crecimiento radial, así como la aquella debida a la productividad diferente entre micrositios y cambios en el ambiente de los árboles, no relacionados con el clima (Fritts, 1976, y Cook y Kairiuskstis, 1990).

El programa ARSTAN maximiza la varianza debida a factores ambientales que afectan a la población en su conjunto. Este programa tiene la opción de ajustar diferentes curvas teóricas (recta, exponencial negativa, horizontal o spline de diferente rigidez), las cuales tratan de emular o reproducir las tendencias biológicas del crecimiento.

Finalmente, las series resultantes de amplitud de anillos estandarizadas, se puede comparar la parte interna con la parte externa a través de la media y la varianza. Al eliminar la varianza debido al crecimiento diferente entre árboles jóvenes con crecimiento rápido y árboles viejos con crecimientos lento, se promedia cada uno de los

índices anuales de las series individuales y se obtiene la cronología maestra o estandarizada para el sitio ((Fritts, 1976; Swetnam et al., 1985).

El programa ARSTAN genera tres cronologías, estándar, residual y arstan. Para este trabajo, todos los análisis se desarrollaron con la versión estándar, que a diferencia de las versiones residual y arstan, retienen variaciones de baja frecuencia pero que son de utilidad para el análisis de tendencias en periodos largos (Grissino-Mayer, 1995).

3.4.3.3 Desarrollo del modelo climático

Después de generados los índices estandarizados de crecimiento para el sitio (cronologías), se procedió a desarrollar una correlación con la estación climatológica de Guadalupe y Calvo, Chihuahua, estación meteorológica que posee el registro regional de datos climáticos más completo para el período 1961-1985 (ERIC II, 2000). Geográficamente la estación se ubica en las coordenadas 26.100° de latitud norte, 106.967° de longitud oeste, a una altitud de 2,316 m (Figura 16).

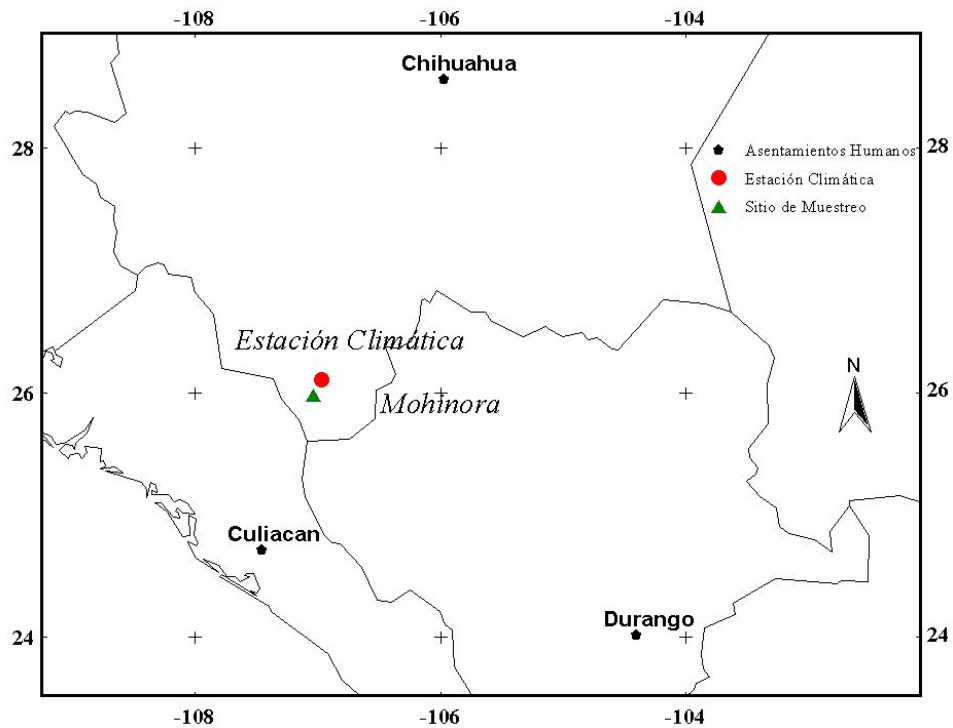


Figura 16. Ubicación del sitio de muestreo “Cerro Mohinora y la estación climática cuyos datos se utilizaron para los análisis.

La definición del período en el cual los índices dendrocronológicos y los datos de precipitación estuvieron más correlacionados, se determinó al procesar una función de respuesta producida mediante análisis de correlación y verificada con el programa PRECON (Fritts, 1999). Este programa define el período de precipitación con más influencia en el crecimiento anual del arbolado.

Con base en lo anterior, se seleccionaron sólo aquellos meses o períodos estacionales en que el crecimiento de los árboles respondió significativamente ($p < 0.05$) a la precipitación. Definido el período estacional de precipitación este se dividió en dos subperíodos. En el primero, se generó una ecuación de calibración y se verificó en el otro. Las funciones de calibración y de verificación se analizaron estadísticamente con la

subrutina VERIFY5 del DPL (Dendrochronological Program Library, por sus siglas en ingles) del Laboratorio de Anillos de Árboles de la Universidad de Arizona, EUA. La función de calibración se desarrollo en el total de datos climáticos registrados, con lo cual se obtuvo el grado de asociación entre los datos reconstruidos y registrados.

Finalmente, se generó el modelo de reconstrucción con el programa STATISTICA Kernel release 5.5 (Stat Soft Inc. 2000) y se desarrolló la reconstrucción para el período total de índices de la cronología.

Para resaltar la presencia de eventos de baja frecuencia en la reconstrucción, es decir períodos secos y húmedos y observar posibles tendencias en la reconstrucción, los datos reconstruidos se suavizaron con una curva flexible de 10 años empleando la subrutina FMT del DPL.

Análisis de tendencia histórica de la presencia de eventos climáticos extremos detectados en la reconstrucción para la parte suroeste de Chihuahua, se realizó al comparar con reconstrucciones generadas para el norte de México, con lo cual se detectó similitud o sincronización entre fenómenos secos o húmedos, lo que permitió determinar la ocurrencia de estos fenómenos a escala regional o nacional.

3.4.3.4 Análisis histórico

La presencia de eventos extremos presentes en la reconstrucción, se verificó en lo posible con archivos históricos para la región, así como a nivel nacional, ya que algunas sequías abarcan grandes extensiones e incluso sobrepasan fronteras (Florescano, 1980; García, 1997; Enfield and Tejedo, 2006).

3.5 Reconstrucción del régimen histórico de incendios

3.5.1 Métodos de campo

3.5.1.1 Características del arbolado muestreado

Para un estudio de reconstrucción de incendios es importante la ubicación de arbolado con el mayor número de cicatrices, así como cubrir la mayor superficie disponible, de tal manera que la reconstrucción sea lo más representativa de las diversas condiciones fisiográficas del sitio y que se extienda lo más posible en el tiempo. En este estudio se muestreó de manera intensiva tanto en la parte alta como baja de Pico Cerro Mohinora, Chihuahua.

3.5.1.2 Toma de muestras

Las muestras de incendios fueron tomadas tanto de tocones, como de árboles tirados, árboles muertos en pie y de árboles vivos (Arno y Snack, 1977). Se utilizó una motosierra para extraer secciones transversales totales de tocones y de árboles tirados y

secciones parciales de árboles muertos en pie y de árboles vivos (Figura 17). Se enfatizó la toma de secciones en árboles muertos para dañar en lo mínimo árboles vivos (Baisan y Swetnam, 1990). En sitios donde no se encontró material muerto con registros de incendios, el muestreo se enfocó hacia árboles vivos, donde se tomó una sección parcial de madera con cicatrices de incendios.

El número total de muestras colectadas totalizó 100 secciones transversales, 40 en la parte baja y 60 en la parte alta. En ambos sitios, el muestreo cubrió todo el gradiente altitudinal.



Figura 17. Colecta de secciones parciales con cicatrices de incendios de un árbol muerto en pie localizado en la parte alta del Cerro El Mohinora, Gpe y Calvo, Chihuahua.

En los estudios de reconstrucción del historial de incendios es recomendable la toma de muestras de árboles vivos para generar una cronología maestra que sea de utilidad para el fechado de las muestras tomadas de árboles muertos. Alternativamente

se emplea alguna serie de tiempo generada para alguna área cercana a la región de estudio y para el presente se utilizó la serie de tiempo generada para la reconstrucción de precipitación de esta misma región.

3.5.2 Métodos de laboratorio

En el laboratorio de Dendrocronología ubicado en las instalaciones del INIFAP CENID-RASPA en Gómez Palacio, Dgo., las muestras fueron secadas al aire y cortadas a un grueso uniforme (3 a 5 cm) para facilitar su manejo. Las secciones se sometieron a un proceso de pulido con grados de lija secuenciales grano 30 a la 1200 para resaltar las estructuras de los anillos de crecimiento y apreciar con mayor claridad la ubicación exacta de la cicatriz (Figura 18).



Figura 18. Muestra con cicatrices de incendios después del proceso de pulido.

La datación de las muestras se realizó mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stoke y Smiley, 1968). En muestras de árboles jóvenes, donde se conoce la fecha del primer anillo exterior (corteza) el fechado se realizó directamente en la muestra contando los anillos desde la parte exterior (corteza) a la interior. Para el presente caso, el anillo exterior fue el 2005. Las muestras más longevas de árboles vivos y las de árboles muertos se fecharon mediante un gráfico de crecimiento para cada muestra y comparando estos con el gráfico maestro derivado de la reconstrucción de precipitación (fechado cruzado) (Figura 19).

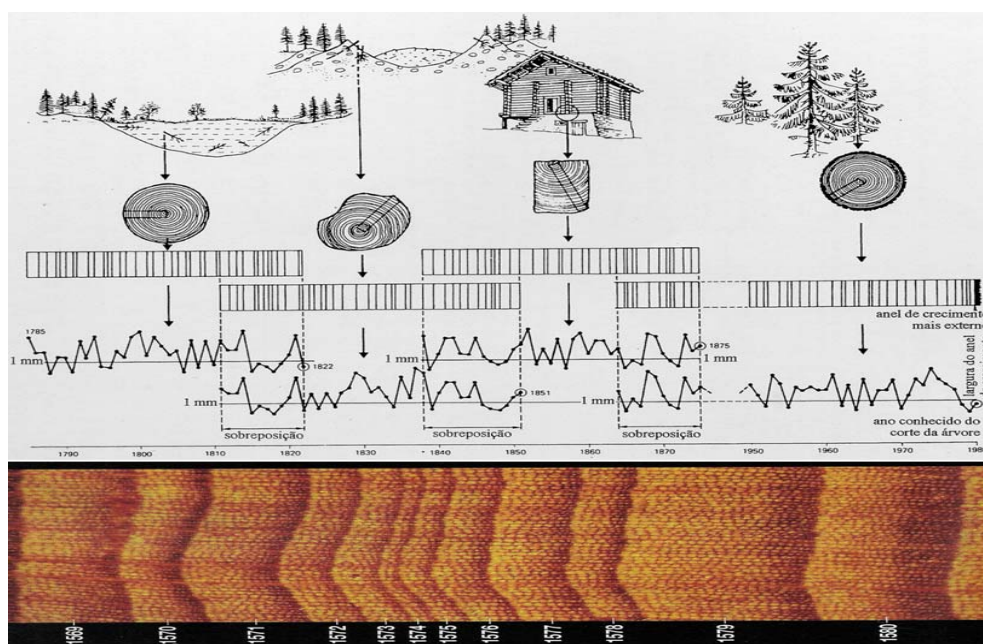


Figura 19. Esquema del fechado cruzado, principio de la Dendrocronología (Stoke y Smiley, 1968).

Para algunas muestras con cicatrices de incendios se midieron sus anillos de crecimiento mediante un micrómetro con precisión de 0.01 mm y platina de fase deslizable, conectado a una computadora (Robinson y Evans, 1980). El programa

COFECHA (Grissino-Mayer y Holmes, 1993) fue usado como apoyo para el fechado de muestras de incendios cuando fue necesario.

Después de fechar exactamente cada anillo anual de las muestras de incendios, se identificó el período de ocurrencia de cada incendio, con base en la posición relativa de cada cicatriz dentro del anillo anual (Baisan y Swetnam, 1990). La época de ocurrencia de cada incendio se categorizó según metodología propuesta por Grissino-Mayer (2001) (Figura 20), fundamentada en los siguientes códigos:

a) D, dormancia (cicatriz localizada entre la madera tardía del año anterior y el inicio de la madera temprana del año siguiente).

b) E, madera temprana (cicatriz localizada en la primera tercera parte de la porción de la madera temprana).

c) M, mitad de la madera temprana (cicatriz localizada en la porción media de la madera temprana).

d) L, madera temprana tardía o final (cicatriz localizada en la ultima tercera parte de la madera temprana); y

e) A, madera tardía (cicatriz localizada en la madera tardía).

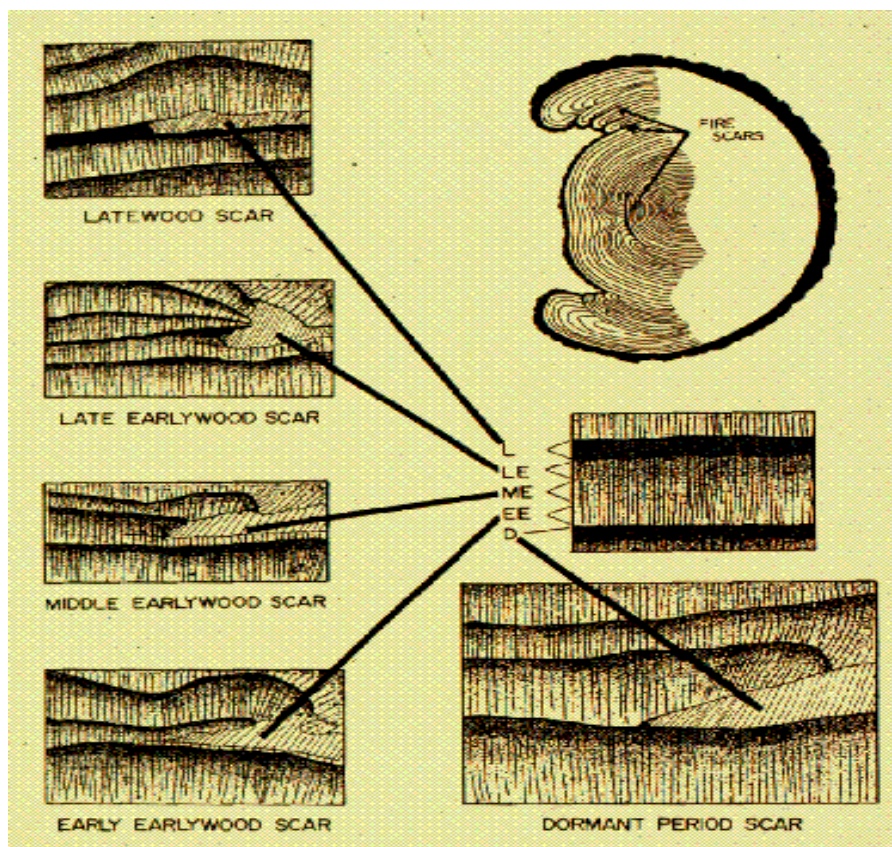


Figura 20. Categorización de la época de ocurrencia de incendios (Grissino-Mayer, 2001).

3.5.3 Análisis de datos

Los datos de historia de incendios fueron ordenados en una base de datos, que involucra el año en que se presentó cada incendio y la época de ocurrencia. Posteriormente se creó una cronología compuesta de incendios y se realizaron análisis estadísticos de la distribución de los intervalos de recurrencia de incendios para cada uno de los sitios mediante el software de análisis de incendios FHX2 (Grissino-Mayer, 2001). Finalmente se generó una cronología maestra de incendios (gráfico) para cada uno de los sitios (Dieterich, 1980). Los análisis estadísticos para la distribución de

intervalos de recurrencia de incendios abarcaron un periodo de 305 años (1700 a 2005) para el sitio de la parte alta y de 255 años (1750 a 2005) para la parte baja.

Los intervalos de incendios fueron analizados estadísticamente mediante diferentes categorías o filtros, primero, al considerar todas las muestras con cicatrices de incendio, incluyendo aquellas aún con una cicatriz. Segundo, todas las muestras con cicatrices de incendio registradas en el 10% ó más, y por ultimo años con cicatrices de incendio registrados en el 25% de las muestras ó más (Grissino-Mayer 2001, Fulé *et al.* 2005).

En contraste con la categoría que comprende todas las cicatrices de incendios, estos filtros captan los incendios que fueron más extensos e intensos en comparación con aquellos incendios que registran solo una cicatriz en pocos árboles (Swetnam y Baisan 2003). Los estadísticos utilizados para describir la distribución de los intervalos de incendio fueron los siguientes (Grissino-Mayer 1995, 2001; Fulé *et al.* 2005):

- a) Frecuencia media de incendios (FMI)
- b) Intervalo mínimo entre incendios (IMIN), el intervalo más cortó.
- c) Intervalo máximo entre incendio (IMAX), el intervalo más largo.
- d) Intervalo medio de probabilidad de Weibull (IMPW)

Los intervalos de recurrencia de incendios raramente se distribuyen de manera normal; el IMPW puede ser utilizado con mejores resultados que el FMI, aunque los valores son con frecuencia similares numéricamente.

3.5.3.1 Relación del clima y frecuencia de incendios

La relación entre las variaciones del clima y la ocurrencia de incendios fue analizada con el programa Análisis de Época Superimpuesta (SEA, por sus siglas en inglés), usando el software FHX2 (Grissino-Mayer, 1995). Para el desarrollo de este análisis fueron necesarias dos bases de datos. Primero, una cronología regional de anillos de árboles para emplearse como proxy del clima; para esto se empleó la cronología generada para este mismo sitio con la especie *Pseudotsuga menziesii*. La cronología maestra comprende el período de 1657-2005, que tiene una intercorrelación entre series de 0.602 y una sensibilidad media de 0.218. Segundo, se requiere de la cronología maestra de incendios, cronología que fue generada para el análisis de reconstrucción del historial de incendios.

El programa SEA sobrepone los años de incendios y resume la variable climática para los años con presencia de incendios; analiza la influencia del clima de varios años atrás y años después del incendio, para conocer el efecto de estas condiciones del clima en la ocurrencia del fenómeno. Se desarrollaron intervalos de confianza de 95%, 99% y 99.9% usando el método de bootstrapping; este método realiza 1000 simulaciones al azar, tomando como base los eventos actuales de incendios.

De esta manera, se puede determinar significativamente la influencia de las condiciones climáticas uno ó más años previos al evento del incendio. Así mismo, permite observar si los años posteriores a los incendios son generalmente húmedos o secos y si esta relación es también significativa.

3.6 Análisis de El Niño Oscilación del Sur en el suroeste de Chihuahua

3.6.1 Análisis de datos

Para el análisis de la influencia del patrón atmosférico circulatorio como El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) en las condiciones climáticas del suroeste del estado Chihuahua, se utilizó la serie de tiempo dendrocronológica generada para esta región que cubre un período de 349 años (1657-2005). La serie de precipitación reconstruida indica tendencias de alta, (resolución anual) y baja frecuencia (diez o más años). Para el análisis de la influencia del ENSO en la variación climática de la región se utilizó la serie estandarizada o índice de ancho de anillo.

El Índice de Lluvia Tropical (TRI, por sus siglas en inglés), es un estimativo de la variabilidad del ENSO que cubre un periodo de 1896–1995. Este índice fue utilizado para analizar la influencia de ENSO en la variabilidad climática del área de estudio.

Mediante el programa MATLAB 6.5, los índices generados de madera temprana se relacionaron con los índices TRI; para tal efecto se utilizaron gráficos de resolución anual y sus espectros potenciales de ondeleta que permitieron determinar la influencia de estos fenómenos en el clima regional.

La relación entre fluctuaciones climáticas a causa del fenómeno circulatorio ENSO y su relación con la ocurrencia de incendios en la Reserva Cerro El Mohinora, se

determinó al sobreponer las épocas de análisis y se evaluó estadísticamente mediante SEA.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Reconstrucción de la variabilidad climática para el suroeste de Chihuahua

Con el análisis de 53 núcleos de crecimiento se desarrollaron cronologías de madera temprana, tardía y anillo total de 349 años, que se extiende para el período de 1657 a 2005. De acuerdo con el programa COFECHA la cronología de madera temprana tuvo una intercorrelación entre series alta ($r = 0.61$), lo cual es indicativo de una respuesta climática común (Holmes, 1983).

La reconstrucción climática se fundamentó en la madera temprana como variable independiente y se ha demostrado que su formación está ligada significativamente con la precipitación invernal y esta a su vez por índices ENSO (Ropelewski y Harper, 1989; Stahle *et al.* 1998, Magaña *et al.* 1999). En México esta relación se registra de manera clara en la porción de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* en rodales de la Sierra Madre Occidental (Cleaveland *et al.* 1992).

4.1.1. Función de respuesta

Para definir la respuesta climática de la cronología se utilizó el programa PRECON (Fritts, 1999). El programa desarrolló un análisis de función de respuesta que es verificado mediante un análisis de correlación con base a los índices de crecimiento y los registros de precipitación disponibles, en este caso para el período 1966-1985, y

determinar a que período de precipitación está respondiendo el crecimiento de los árboles del sitio.

Los meses individuales de precipitación acumulada que se correlacionaron significativamente ($p < 0.05$) con la cronología de madera temprana son: Diciembre del año anterior, Marzo, Abril, Mayo, Julio y Agosto del año de crecimiento (Figura 21).

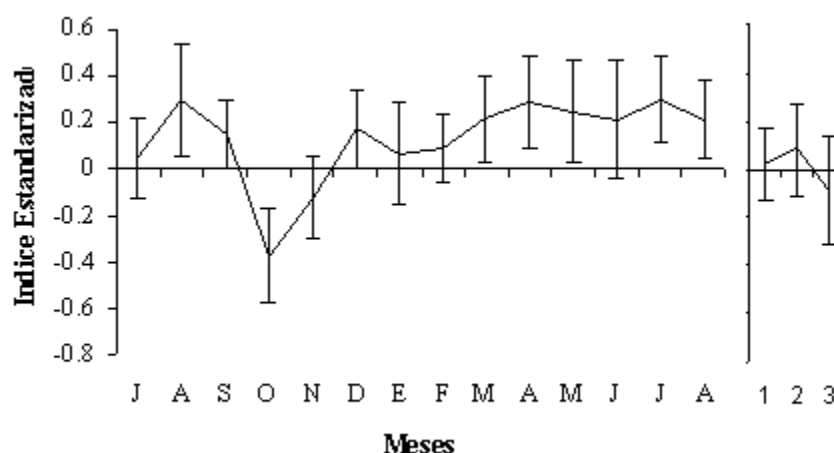


Figura 21. Función de Respuesta entre el índices de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* en la Reserva Cerro Mohinora, Chihuahua, y los registros de precipitación para el período 1961-1985 de la estación climática Guadalupe y Calvo, Chih. La Función de Respuesta incluye 14 meses de precipitación de Julio del año previo a Agosto del año en curso que comprende la estación de crecimiento. Tres elementos adicionales son asociados con el índice de crecimiento en 1, 2 y 3 años previos. Un coeficiente positivo indica una directa relación de las variables clima o crecimiento previo con el ancho del anillo, y un coeficiente negativo indica una relación inversa. Las líneas verticales indican un nivel de significancia del $p < 0.05$.

No obstante que la correlación entre el índice de madera temprana y precipitación para los meses de Enero, Febrero y Junio presentan una relación positiva pero no significativa; se encontró una respuesta significativa ($p < 0.05$) al período estacional Enero-Junio. Una explicación a dicha respuesta es que la lluvia invernal

generalmente es de baja intensidad y queda almacenada en el perfil del suelo para ser utilizada al inicio de la estación de crecimiento (Fritts, 2001).

Resultados similares se han encontrado para reconstrucciones de precipitación en el norte de México y suroeste de EUA (Stahle y Cleaveland, 1993; Stahle *et al.*, 1999; Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Cerano; 2004).

4.1.2. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera

Al relacionar la cronología de madera temprana con datos instrumentales del periodo de precipitación estacional Enero-Junio para el período 1966-1986, se encontró una respuesta significativa entre ambas variables con una correlación de 0.74 ($p < 0.05$), lo que sugiere potencial adecuado para la reconstrucción de precipitación (Figuras 22 y 23).

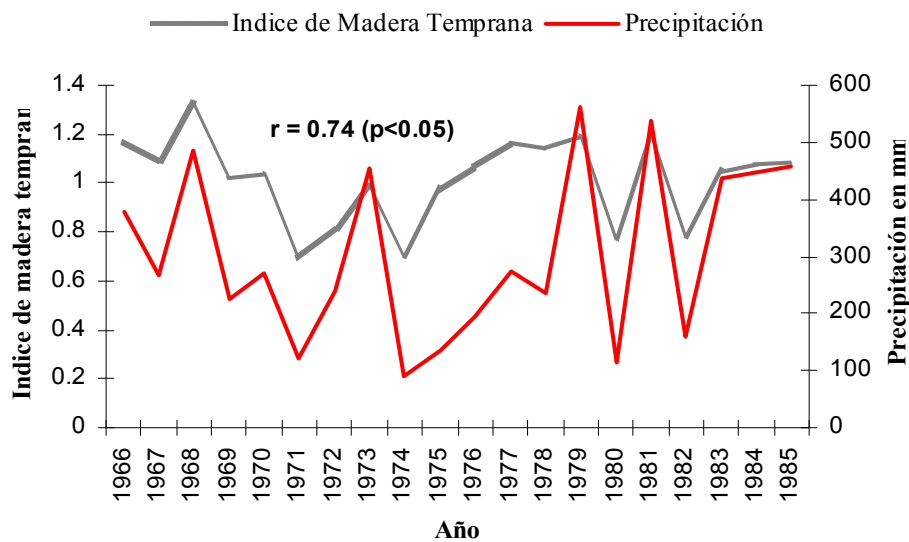


Figura 22. Asociación entre el índice de madera temprana y precipitación estacional observada Enero-Junio, periodo 1966-1985.

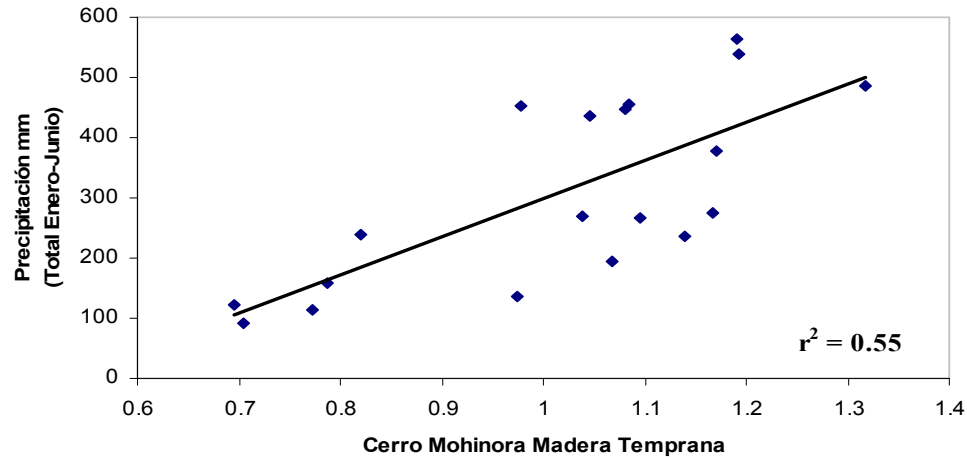


Figura 23. Gráfico de dispersión del modelo de regresión lineal que muestra la variabilidad de la cronología de madera temprana con la precipitación total de enero-junio, período 1966-1985.

4.1.2.1. Calibración y Verificación

Para que un modelo de reconstrucción sea estadísticamente válido es preciso desarrollar dos procesos; uno de calibración, realizado en la mitad de los datos climáticos disponibles y uno de verificación en la mitad restante. En este estudio el modelo se calibró con datos del subperíodo 1974-1985 y se verificó en el subperíodo 1966-1973. El modelo utilizado para la reconstrucción incluyó el período total de datos disponibles (1966-1985).

Los resultados del modelo indican una correlación de $r = 0.75$ ($r^2 = 0.56$, $p < 0.001$) entre la cronología y los datos de precipitación y explican 56% de la variabilidad en precipitación para el período de calibración. Para la verificación presentó una correlación de $r = 0.76$, explicando 58% ($r^2 = 0.58$, $p < 0.001$) de la varianza.

Debido a que tanto el subperíodo utilizado para realizar la calibración como la verificación estuvieron significativamente correlacionados con la cronología de madera temprana, se utilizó todo el período de datos climáticos disponibles (1966-1985) para generar la ecuación de reconstrucción que mostró una $r = 0.76$ ($r^2 = 0.58$, $p < 0.001$) (Cuadros 1 y 2, Figura 24).

Cuadro 1. Modelo lineal generado para la reconstrucción estacional de precipitación invierno-primavera.

Periodo	R ²	Coefficientes	Error estándar	Prueba de “t”	Probabilidad
1966 - 1985	0.58	a -374.647	137.74	-2.71	0.014
		b 670.357	134.44	4.98	0.000

Cuadro 2. Análisis de varianza del modelo de reconstrucción.

Periodo	Suma de cuadrados	df	Cuadrados medios	f	p
Regresión	247357.4	1	247357.4	24.86059	.000096
Residual	179096.1	18	9949.8		
Total	426453.5				

La subrutina VERIFY5 del Programa Dendrocronológico de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés) indicó que tanto la calibración como la verificación pasaron la prueba de significancia ($p < 0.05$) para la correlación, reducción de error, valor de “t” y primera diferencia significativa. El modelo de regresión obtenido para el periodo 1966-1985 se consideró estadísticamente válido para reconstruir el período total de la serie dendrocronológica.

El modelo bivariado utilizado fue el siguiente:

$$Y_t = -374.647 + 670.357 * X_t$$

Donde:

Y_t = Valor de precipitación reconstruido Enero-Junio para un año específico (mm).

X_t = Índice de madera temprana.

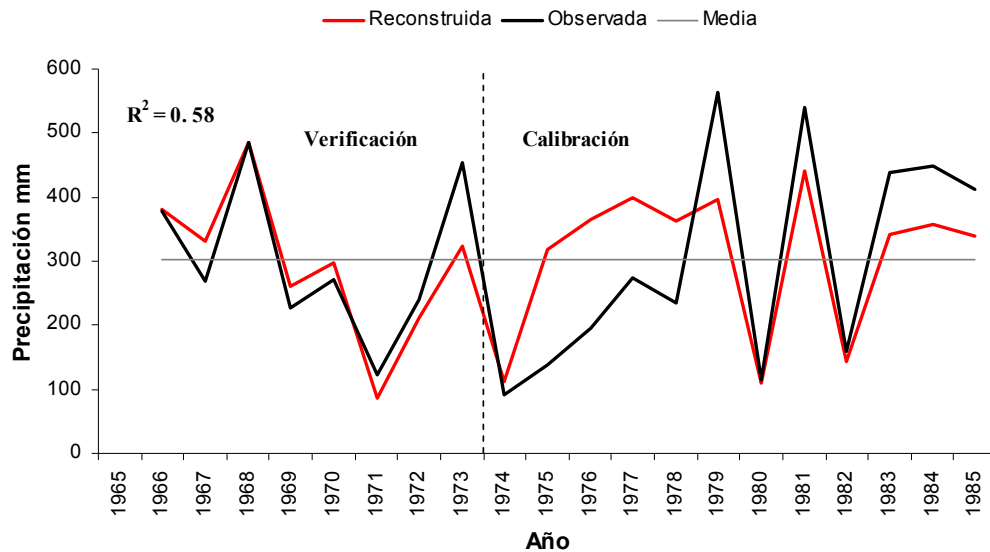


Figura 24. Calibración entre precipitación actual (línea negra) y precipitación reconstruida invierno-primavera (línea roja) para el período estacional Enero-Junio.

4.1.2.2. Análisis de variabilidad climática

La reconstrucción de precipitación invierno-primavera para la Reserva Cerro El Mohinora indica gran variabilidad interanual (alta frecuencia), decenal y multidecenal (baja frecuencia) de los patrones de precipitación para la región (Figura 25).

Sequías severas fueron reconstruidas para los periodos 1695-1715, 1753-1760, 1785-1792, 1798-1806, 1819-1830, 1841-1870, 1890-1897, 1906-1912, 1924-1941, 1971-1977 y 1994-2005. Las sequías más prolongadas ocurrieron en los periodos 1695-1715, 1841-1870, 1924-1941. Las últimas tres décadas del siglo XX y los años corrientes de la primera década del siglo XXI (1971-2005) indican un período de intensa sequía para la región, que continúa hasta el presente afectando el suroeste de Chihuahua (Figura 25).

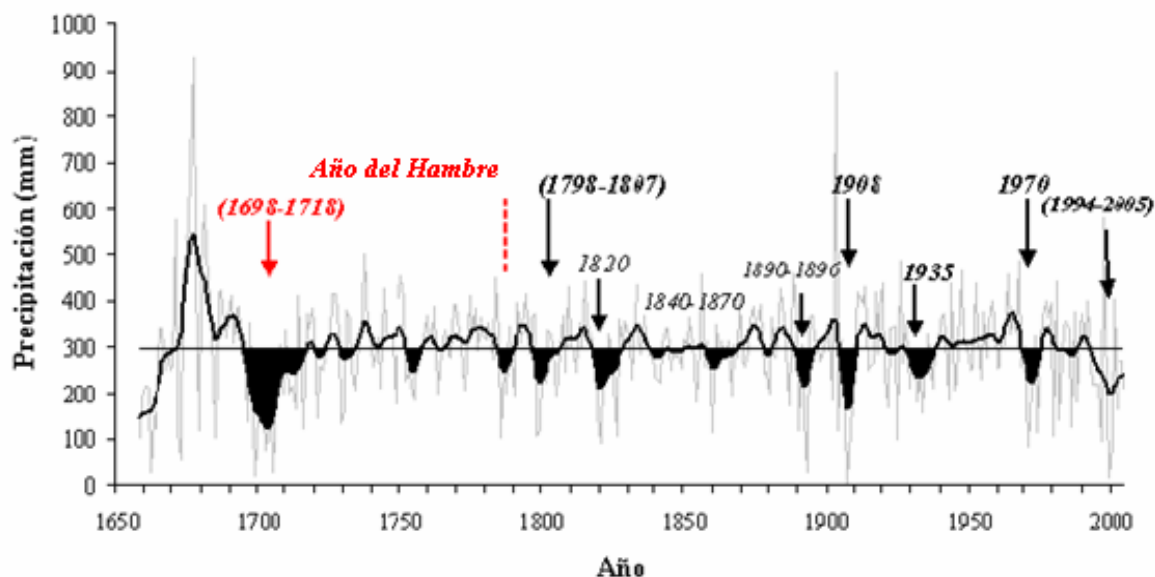


Figura 25. Precipitación estacional reconstruida para los últimos 350 años en la reserva ecológica Cerro El Mohinora, Chihuahua.

El período más seco de la reconstrucción se presentó de 1695 a 1715, lapso en el que ningún año superó la precipitación promedio. En esta sequía se presentaron epidemias intensas de sarampión y viruela que provocaron gran mortalidad entre niños y mujeres (Dunne, 1958). Información histórica indica que la población de Cusiuriachic sufrió la muerte de 1,817 adultos y más de 3,000 niños en diversas epidemias acontecidas entre 1690 y 1720 (Gerhard, 1996). Una sequía similar es reportada por Villanueva et al. (2006) para la región del noroeste de Chihuahua y este de Sonora. Esta sequía también estuvo presente en los estados de Durango y Chihuahua (Stahle *et al.* 1999; Díaz *et al.* 2002; Cleaveland *et al.* 2003).

Los períodos secos de 1752, 1758-1759 y 1785-1786 provocaron falta de grano, enfermedades y pestes en el estado de Chihuahua (Enfield y Tejedo, 2006). Los años secos de 1785 y 1786 conocidos como “El año del Hambre” provocaron una hambruna generalizada en el Valle de México, debido a la carestía de alimento (Florescano y Swam, 1995; Therrell *et al.* 2006).

Durante la sequía de 1798-1810 para el norte-centro de México el descontento social aumentó debido a los altos precios del maíz; situación que pudo haber contribuido como detonante de la Guerra de Independencia (Florescano y Swam, 1995).

El período seco indicado también se ha detectado en diversas reconstrucciones paleoclimáticas para el norte, noreste, centro de México y Texas (Stahle y Cleaveland, 1988; Stahle *et al.*, 1999; Therrell *et al.*, 2002; Díaz *et al.* 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Pohl *et al.*, 2003; Villanueva *et al.* 2006).

Otro de los periodos secos ocurrido en el siglo XIX (1841-1870) que causó severos estragos a la región norte de México. En este período ningún año superó la precipitación promedio. Esta sequía también se extendió para otras regiones del país como lo constata una reconstrucción invierno-primavera para Saltillo (Cerano, 2004), Chihuahua y Durango (Stahle *et al.*, 1998; Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003) y Nuevo León (Villanueva *et al.*, 2007).

Un período considerado como sequía nacional, es el intervalo de tiempo de 1890 – 1897, ocho años en los cuales la agricultura y ganadería se vieron diezmadas con fuertes repercusiones sociales. Este periodo seco también se ha observado en otras reconstrucciones para Coahuila, Durango, Chihuahua, Baja California Sur, Sonora y Nuevo México (Stahle *et al.* 1999; Villanueva y McPherson, 1999; Díaz *et al.* 2001; Díaz *et al.* 2002; Cleaveland *et al.* 2003; Cerano, 2004).

Florescano (1980) indica que en la década de 1890 se presentaron dos años muy secos a nivel nacional. La sequía ocurrida en 1891 se concentró en los estados norteros con efectos en el resto del país y la de 1895 a nivel nacional durante la cual se perdieron cosechas, ganado, y murió gente por inanición. La sequía de principio de la década de 1890 ha sido considerada por algunos estudiosos como una de las “sequías más generalizadas” del siglo XIX es equiparada al “año del hambre”. Eventos secos también se reportan para el período 1899 – 1895, donde los años 1891 – 1892 son los más secos en todo el país.

La reconstrucción también registra al período de 1906 a 1912 con una disminución en precipitación. Los años de 1908 y 1910 se consideran años con sequía severa, en especial 1910 que afectó el norte de México y originó descontento en la población por falta de alimento, lo cual también pudo haber influido en detonar la Revolución Mexicana (Florescano, 1980).

A mediados del siglo XX y específicamente en la década de 1950 se presentó un período seco que afectó el norte y centro de México. Este período seco se ha detectado con reconstrucciones paleoclimáticas para todo el país (Díaz *et al.* 2002; Cleaveland *et al.* 2003; Cerano, 2004; Vilanueva *et al.* 2006, 2007).

Para el caso específico de este estudio la reconstrucción desarrollada no indica la presencia de sequías severas para este período; no obstante, el período 1924 – 1941 fue seco y constituyó una intensa sequía.

Durante la sequía de 1936 se reportan en Chihuahua 475 casos de sarampión en Fujigaki y González (1982). En la década de 1930 también se presentó una sequía severa para la región suroeste de Sonora y suroeste de Chihuahua (Villanueva *et al.* 2006) lo que implica que esta sequía tuvo mayor impacto social y económico en esta región que la que se presentó más tarde en la década de 1950 y que fue más generalizada.

Finalmente el período 1971-2005 muestra una severa sequía prolongada donde solo los años de 1978-1982 y 1992-1993 excedieron la precipitación media. La década de 1970 se ha caracterizado como de extrema sequía para el norte de México, en especial los años de 1971, 1972, 1974, 1975, 1976 y 1977 (Florescano, 1980).

Dichos años secos también se encuentran presentes para Durango y noreste de México (González, 2003; Cerano, 2004; Villanueva *et al.* 2007).

4.2. Reconstrucción de los regímenes históricos de incendios

De 100 secciones transversales de *Pinus duranguensis*, *P. arizonica* y *P. ayacahuite* con cicatrices de incendios colectadas en la parte alta y baja de Cerro Mohinora, Chihuahua, se logró fechar 73 secciones con un total de 277 cicatrices de incendios (Figura 26). Del total de secciones, 32 correspondieron a la parte alta con 143 cicatrices y 41 a la baja con 134 cicatrices de incendios. El año inicial de la cronología de incendios fue 1700, para la parte alta y 1750 para la baja, el incendio registrado en la parte más interna en la parte alta fue 1737 y para la baja en 1902.

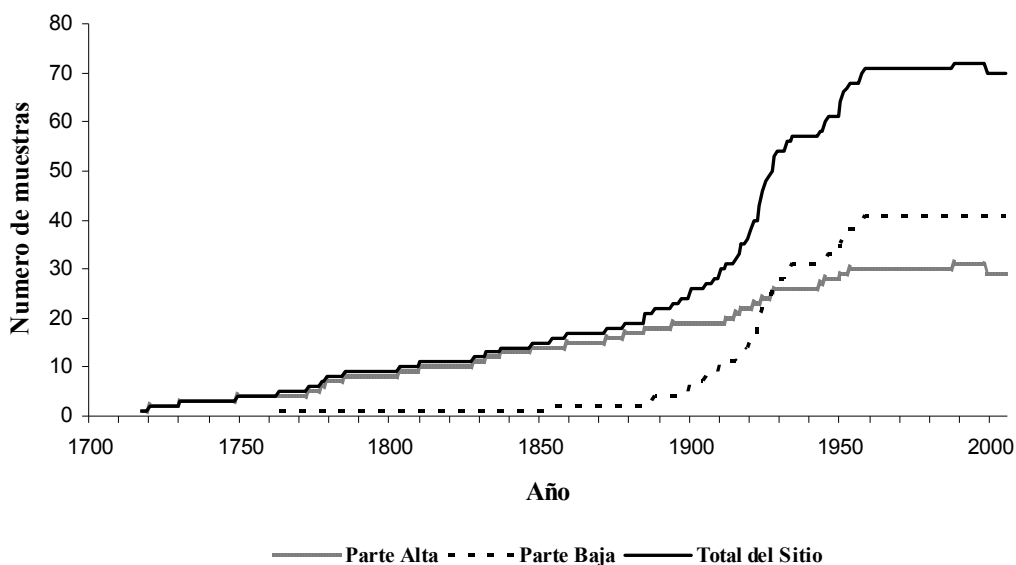


Figura 26. Profundidad de la muestra en los sitios de estudio y para el total de las muestras consideradas en el estudio.

El régimen del fuego se reconstruyó de 1700 a 2005 para la parte alta, donde los años con evidencia de incendios intensos fueron 1902, 1904, 1922, 1945 y 1971

(Figura 27). Después de 1970 a la fecha existe un período libre de incendios, solo perturbado por incendios localizados y de baja intensidad ocurridos en los años 1979, 1988, 1995, 1998 y 1999.

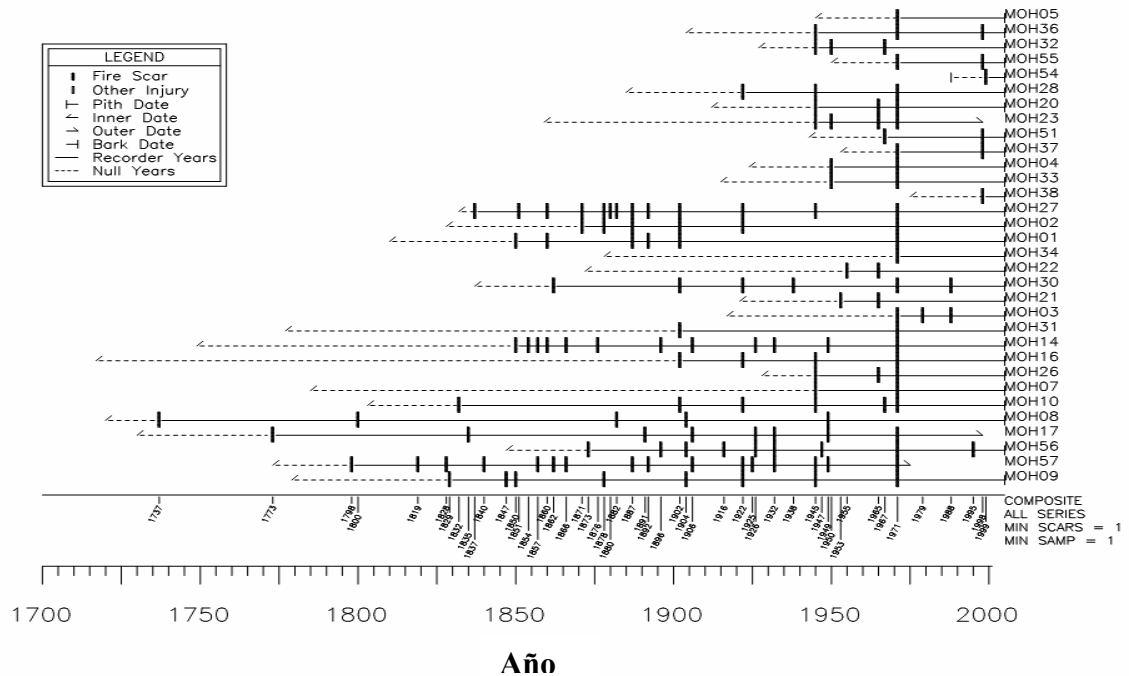


Figura 27. Reconstrucción de la frecuencia de incendios para los últimos 300 años en la parte alta de la reserva Cerro Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan la extensión de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior.

Para la parte baja el historial del fuego se reconstruyó para el período 1900-2005, donde los años con alta incidencia de incendios fueron 1995, 1988, 1985, 1971 y 1945, sin embargo se lograron también datar incendios para los años 1933, 1922 y 1902. Los dos últimos también tuvieron presentes en la parte alta de la montaña (Figura 28).

Ambos sitios indican registros de incendios para los años de 1998, 1995, 1988, 1971, 1945, 1922 y 1902; en la que sobresalen los años de 1971 y 1945, como los años en que se presentaron los incendios más intensos y extensos por su distribución en la mayor parte de la superficie; esto se relaciona con a la intensa sequía que afectó esta región en las décadas de 1940 y 1970.

El año de 1998 se caracterizó por la ocurrencia de incendios a nivel nacional, no obstante Cerro Mohinora presento incidencia de incendios localizados y de baja intensidad.

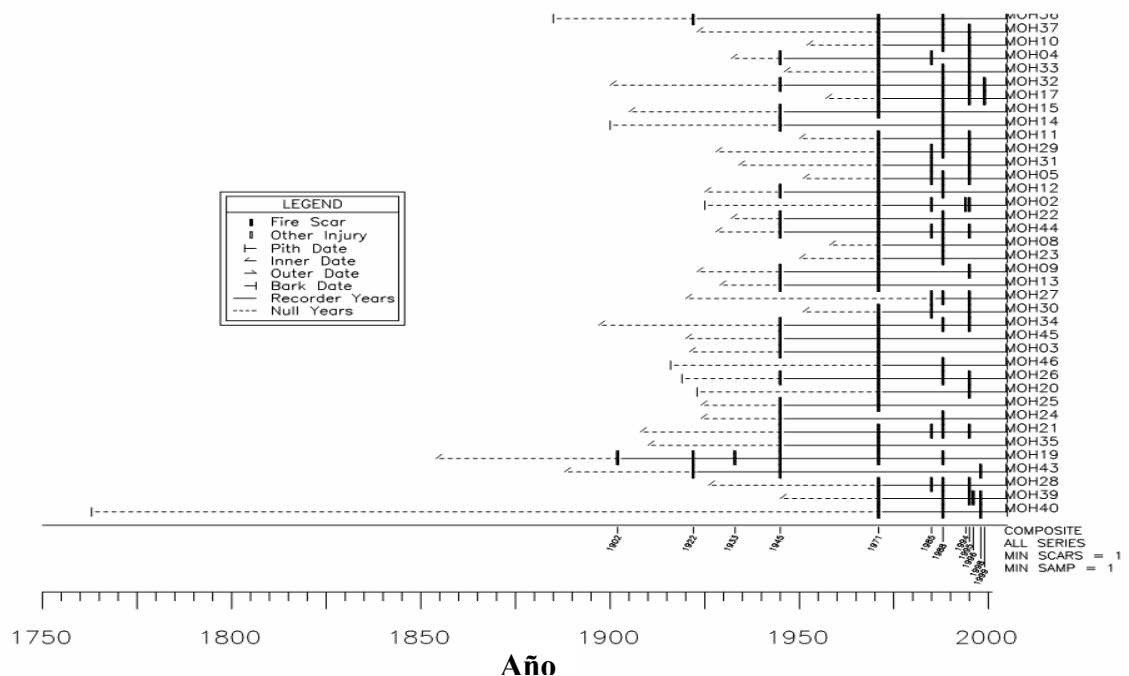


Figura 28. Reconstrucción de los regimenes históricos de incendios para los últimos 100 años en la parte baja de Cerro El Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan el periodo de tiempo de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior.

Los intervalos medios de frecuencia de incendios (MFI, por sus siglas en ingles) para la reserva “Cerro Mohinora” variaron de 5.14 a 8.82 años y el intervalo medio de probabilidad de Weibull (WMPI, por sus siglas en ingles) fue de 3.83 a 6.01 años, considerando el total de las muestras con cicatrices de incendios, aún aquellas con una sola cicatriz. Para todas las muestras con cicatrices de incendios registradas en el 10% de las secciones o más, el MFI varió entre 7.05 a 13.29 años y el WMPI de 5.10 a 12.41 años; mientras que para las cicatrices registradas en el 25% o más de las muestras, el MFI varió entre 13.76 a 13.29 años y el WMPI entre 11.63 y 12.41 años. Los intervalos mínimos por sitio fueron un año y los intervalos máximos de 26 a 36 años entre incendios (Cuadro 3).

Cuadro 3. Intervalos de recurrencia de incendios para dos sitios de estudio en bosques mixtos de pino en Cerro Mohinora, Chihuahua. El 10% indica que los estadísticos corresponden a las cicatrices de incendio registradas en el diez por ciento ó más de las muestras. El 25% corresponde a las cicatrices registradas en el veinticinco por ciento o más de las muestras. Estos filtros nos permiten observar los incendios que fueron más extensos e intensos en comparación con aquellos incendios que registran solo una cicatriz en pocos árboles, que indica un incendio que cubrió poca superficie y muy probable fue un incendio de baja intensidad.

<i>Sitio</i>	<i>Periodo de de Análisis</i>	<i>Categoría de Análisis</i>	<i>No. de Intervalos</i>	<i>MFI³</i>	<i>Min.</i>	<i>Máx.</i>	<i>WMPI⁴</i>
MOHPA¹	1700-2005	Todas las cicatrices	51	5.14	1	36	3.83
		10% cicatrices	37	7.05	1	36	5.10
		25% cicatrices	17	13.76	1	36	11.63
MOHPB²	1750-2005	Todas las cicatrices	11	8.82	1	26	6.01
		10% cicatrices	7	13.29	3	26	12.41
		25% cicatrices	7	13.29	3	26	12.41

¹MOHPA = Mohinora parte alta

²MOHPB = Mohinora parte baja

³MFI = Intervalo Medio de Frecuencia

⁴WMPI = Intervalo Medio de probabilidad Weibull.

Los intervalos son similares a los reportados en otros estudios sobre historia de incendios en bosques de pino mixtos de México. Para la Michilia, Durango, se reconstruyeron intervalos mínimos de incendios de un año y máximos de 8 a 51 años (Fulé y Covington, 1999); mientras que para la Sierra los Ajos, Sonora, se reportan intervalos mínimos de un año y máximos de 18 a 38 años (Swetnam *et al.* 2001) y para la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California Norte, mínimo de un año y máximo de 25 a 32 años (Stephens *et al.* 2003). Un estudio reciente de frecuencia de incendios para la reserva Tutuaca, Chihuahua indica intervalos mínimos de 1 a 2 años y máximos de 10 a 32 años (Fulé *et al.* 2005).

El tamaño de muestra fue de 32 para MOHPA y 41 para MOHPB. La estación de ocurrencia del incendio se estimó mediante la ubicación física de la cicatriz del incendio en el anillo de crecimiento, señalado como número total y porcentaje (número de incendios donde la estación fue determinada). Los códigos para representar la estacionalidad de los incendios son: D = dormancia; E = madera temprana; M = mitad de la madera temprana; L = final de la madera temprana y A = madera tardía (Grissino-Mayer, 2001).

Cuadro 4. Estacionalidad de incendios para dos sitios de bosque mixto de pino en la reserva “Cerro Mohinora”, Chihuahua.

Sitio	Estación Determinada	Estación No Determinada	D	E	M	L	A	Incendios de Primavera^A	Incendios de Verano^B
MOHPA									
<i>Numero</i>	143	0	0	135	3	5	0	135	8
<i>Porcentaje</i>	100	0	0	94.4	2.1	3.5	0	94.4	5.6
MOHPB									
<i>Numero</i>	134	0	0	89	35	10	0	89	45
<i>Porcentaje</i>	100	0	0	66.4	26.1	7.5	0	66.4	33.6

^ADormancia más madera temprana (D + E).

^BMitad de la madera temprana más final de madera temprana más madera tardía (M+L+A).

La estación de ocurrencia se determinó para el 100% de las muestras para la parte alta y se clasificó en su totalidad la posición de las cicatrices de incendios dentro del anillo de crecimiento (Cuadro 4). Ninguna muestra registró cicatrices de incendio para el período de dormancia y madera tardía (0%); pocas muestras registraron incendios en la porción media (2.1%) y final de la madera temprana (3.5%). En su totalidad las muestras registraron incendios en la parte inicial de crecimiento de la madera temprana (94.4%), que corresponde a los meses de primavera y solo el 5.6% se registró en los meses de verano.

Siguiendo con el mismo procedimiento también se registraron los incendios para la parte baja de Cerro Mohinora (Cuadro 2).

Los resultados indican que ninguna muestra registró cicatrices de incendios para el período de dormancia y época de formación de madera tardía (0%); pocas muestras registraron incendios en la porción final de la madera temprana (7.5%). A diferencia de la parte alta, en este sitio se registró un mayor número de cicatrices de incendios en la parte media de la madera temprana (26.1%), aunque la gran mayoría de muestras registraron incendios en la parte inicial de crecimiento de la madera temprana (66.4%).

Para la parte baja, un poco más de la mitad de incendios se registró en los meses de primavera (66.4%) y el resto durante los meses de verano (33.6%).

Estudios similares realizados en la Reserva “Tutuaca” al oeste de Chihuahua, se reporta un comportamiento similar en la ocurrencia estacional de los incendios; el 73%

de las cicatrices de los incendios se registraron en la estación de dormancia e inicio de la madera temprana, período que corresponde a los meses de primavera y 27% de las cicatrices se registró en la mitad del crecimiento de la madera temprana y final de la madera temprana, período que corresponde a los meses de verano (Fulé *et al.* 2005).

Caso contrario sucede en el norte de Arizona, EUA, donde el 70% de los incendios se presentan en el período que corresponde a los meses de verano y un 30% se registra en los meses de primavera (Heinlein *et al.* 2005). En otro trabajo en el sur del parque nacional “Gran Cañon” el 82% de los incendios se presentaron en el período de verano y el 18% en primavera (Fulé *et al.* 2003).

4.3. Relación entre el clima y ocurrencia de incendios en el suroeste de Chihuahua.

Dada la variabilidad climática reconstruida para los últimos 350 años con variaciones de alta (interanual) y baja frecuencia (diez o más años) en el tiempo y la reconstrucción de los regímenes de incendios para los últimos 300 años, para el suroeste de Chihuahua, surge la pregunta de cual es la relación entre ellos.

Al comparar la serie de tiempo reconstruida con los regímenes históricos de incendios para la parte alta en un mismo intervalo de tiempo (300 años), se observa una correspondencia significativa entre eventos de incendios y la disminución en la precipitación promedio (Figura 29a y b).

Los incendios reconstruidos más intensos para la parte alta corresponden con los años secos de 1971, 1945, 1922, 1904, 1902 y 1987. También se observa una frecuencia de incendios alta en el período de 1850 a 1880, situación que se puede atribuir a la intensa sequía reconstruida para el periodo 1840-1870.

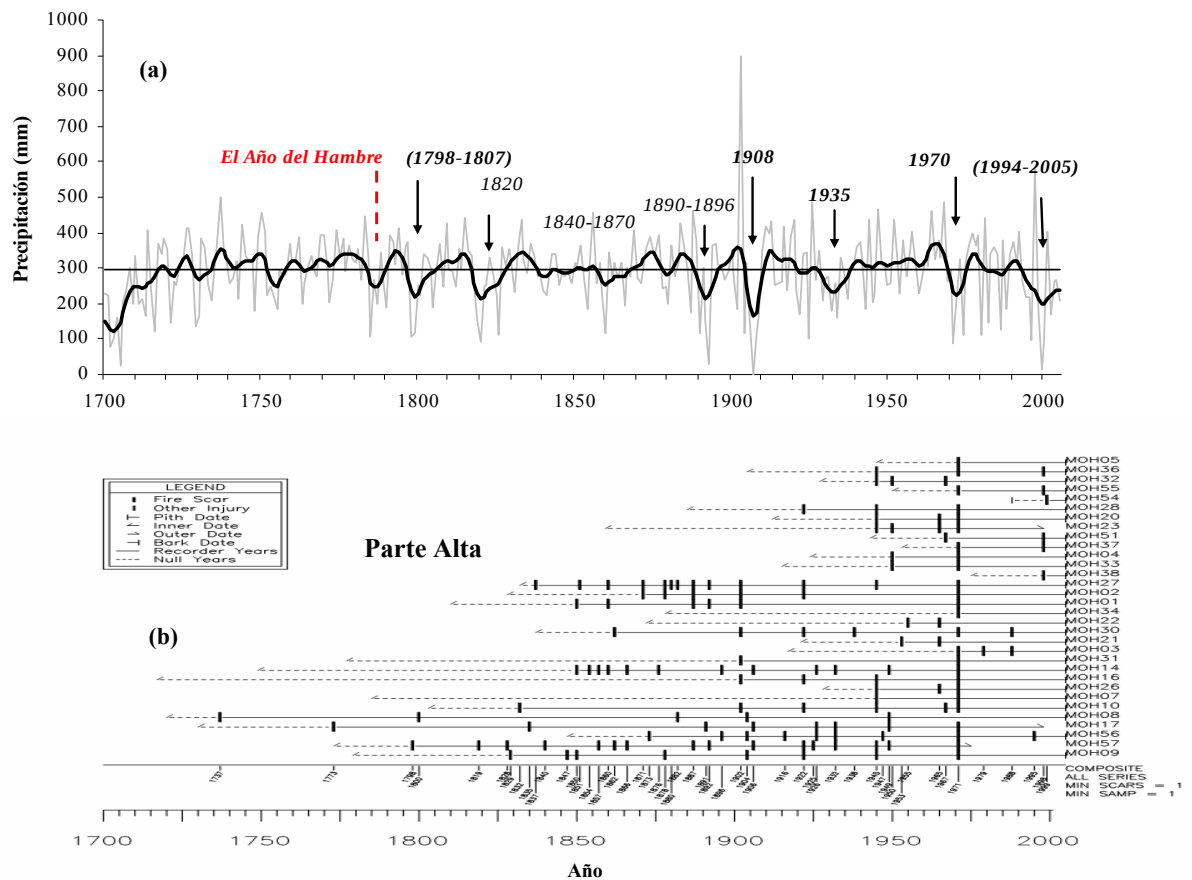


Figura 29. Relación entre la variabilidad del clima (a) y la ocurrencia de incendios (b) para los últimos 300 años en la parte alta de Cerro Mohinora, Chihuahua.

Des pues de 1970 la frecuencia y comportamiento de los incendios, cambió radicalmente para el suroeste del estado de Chihuahua, situación atribuida a cambios en el uso del suelo y sobrepastoreo, principalmente (Fulé *et al.* 2005). En contraste en los EUA los cambios en la frecuencia y comportamiento de incendios ocurrió después de

1850, 100 años antes que en México, lo que se atribuye principalmente a efectos de exclusión (Fulé *et al.* 2003; Heinlein *et al.* 2005).

En la parte baja de Cerro Mohinora, los incendios reconstruidos de mayor intensidad corresponden a los años de 1995, 1988, 1971 y 1945, encontrándose evidencias de los incendios de 1922 y 1902 de gran intensidad en la parte alta, que de igual manera se relacionan con eventos secos (Figura 30a y b).

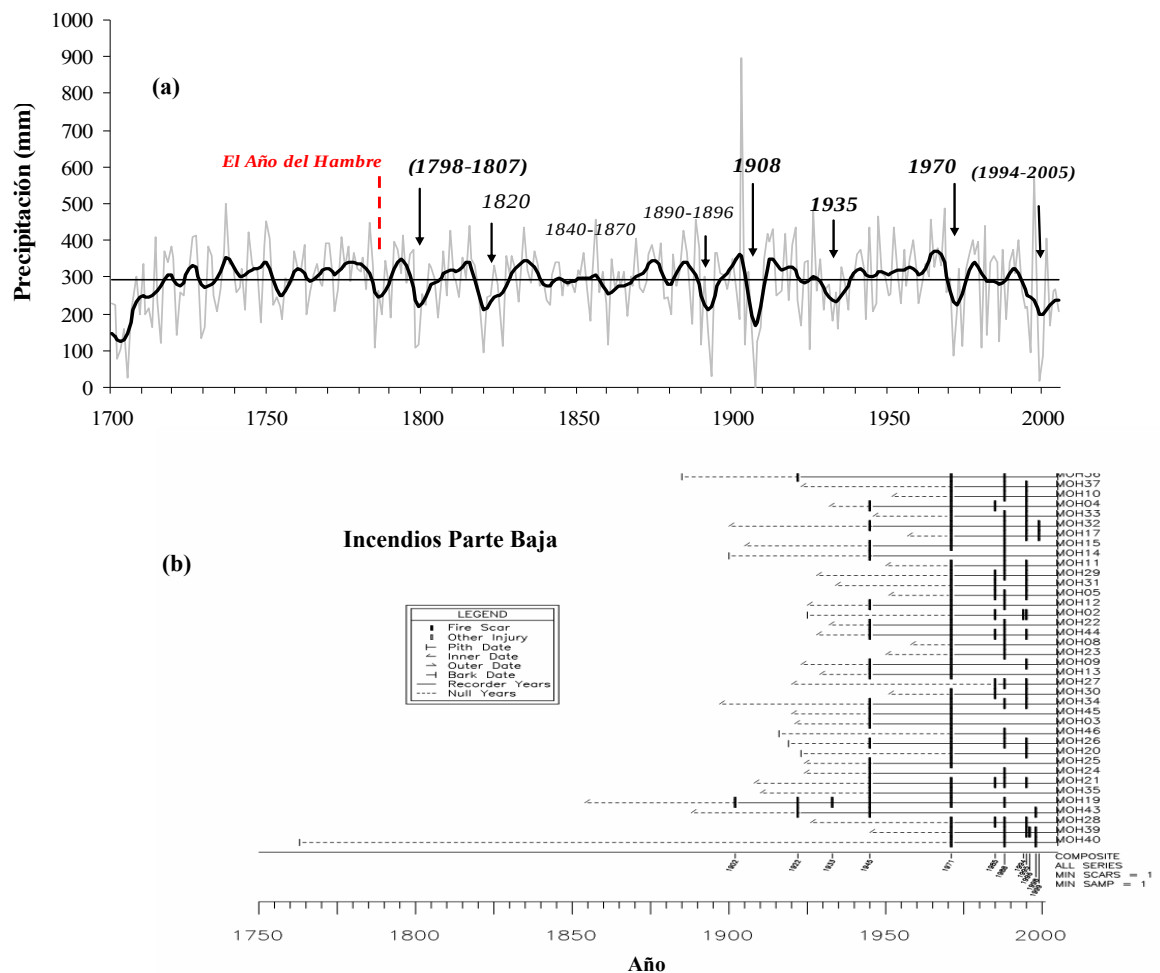


Figura 30. Relación entre la variabilidad de precipitación (a) y la ocurrencia de incendios (b) en los últimos 250 años para la parte baja de Cerro Mohinora, Chihuahua.

En general, tanto la parte alta como la baja se vieron afectadas por incendios de gran intensidad en los años de 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902.

El área de estudio reserva “Cerro Mohinora”, se localiza en la región de influencia del MNA que produce más del 60% de la precipitación anual para el suroeste del estado de Chihuahua (ERIC II, 2000).

Algunos estudios recientes (Higgins *et. al.*, 1999) concluyen que el monzón mexicano en la región de Sonora y Sinaloa, es débil durante veranos de Niño. Sin embargo, su efecto en la precipitación durante periodos de La Niña, no está bien definida. El inicio del monzón en el noroeste mexicano, puede presentar adelantos o retrasos substanciales (30 días), con respecto a la fecha de inicio de la temporada de lluvias (17 de junio). Un inicio tardío en el monzón del noroeste mexicano generalmente significa una temporada de lluvias deficientes, lo cual parece ocurrir en años de Niño.

Englehart y Douglas (2002) indican que la región oeste de la SMO presenta correlaciones bajas con El Niño Oscilación del Sur, pero sólo durante la fase positiva de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), fenómeno que es un estimativo de la variabilidad del Monzón. En contraste, durante fase positiva del PDO, la región Altiplano en el centro de México no correlaciona con el ENSO. Sin embargo, se presentan correlaciones significativas entre el ENSO y la precipitación durante la fase negativa del PDO.

Eventos intensos de ENSO provocan que la señal del Monzón sea negativa, originando una caída en la precipitación y por ende sequías de gran magnitud también asociadas con la presencia de incendios en el suroeste del estado de Chihuahua.

En años normales, el clima mexicano es parcialmente modulado por frentes fríos y lluvias invernales, tanto en la región de Baja California, Sonora y Chihuahua, como en Nuevo León y Tamaulipas (Schultz *et al.* 1997).

Las lluvias de invierno se intensifican durante años El Niño en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen hacia la parte sur (Magaña, *et. al.* 1998). Los inviernos de Niño resultan más fríos en casi todo el país. Por otra parte, los veranos de Niño son más secos y cálidos que los veranos de Niña. El impacto de El Niño en las lluvias de invierno de México no es siempre el mismo. Esto quiere decir que existen diferencias en las características regionales y temporales de las anomalías de lluvia y temperatura de un año Niño a otro.

Durante el verano El Niño provoca que las lluvias en la mayor parte del país disminuyan, llegando con frecuencia a producir sequías. La constante aparición de El Niño en la década de 1990 ha llevado a declarar zonas de desastre a gran parte de los estados del norte del país por la falta de lluvias (*La Jornada*, 25 de mayo de 1999, tomado de Magaña *et al.* 1999). Los efectos de El Niño en materia ambiental, asociados a menores precipitaciones incluyen menos humedad en el suelo y frecuentemente, pérdidas de miles de hectáreas de bosques por incendios forestales. Es por ello que los

mayores esfuerzos en materia de diagnóstico y pronóstico del clima se centran en la temporada de primavera y verano (Magaña *et al.* 1999).

En veranos de Niña, las lluvias parecen estar alrededor o por encima de lo normal en gran parte de México, pero especialmente en el noreste del país. La respuesta de las lluvias a La Niña parecen casi opuestas a las observadas durante El Niño, aunque como se ha mencionado, los patrones de anomalías no son exactamente inversos (Magaña *et al.* 1999).

La relación entre la incidencia de incendios forestales en México y condiciones de sequía para primavera-verano provocados por ENSO ha sido bien documentado (Heyerdahl y Alvarado, 2003; Román-Cuesta *et al.* 2003).

En la reconstrucción del régimen de incendios para Cerro Mohinora, Chihuahua, 1971 representa el año con mayor intensidad de incendios para los meses de primavera-verano, lo anterior se atribuye al ENSO de 1969 en su fase calida, que origino intensas sequías en el verano de 1970, iniciando así la fuerte sequía de los setentas, para 1970 se presenta nuevamente un evento ENSO en su fase fría que no represento ningún incremento en la precipitación, de esta manera el verano de 1971 represento el año más seco de la década de los setentas, originado la alta ocurrencia de incendios reportada para este año en el suroeste de Chihuahua.

El año de 1945 es el segundo lugar en cuanto a severidad de incendios, derivado del período seco de 1929 a 1940, provocado por los eventos del Niño de 1929, 1930 y

1940, ambos en su fase calida, originando una reducción de lluvia en el verano, seguidos de está sequía se presentaron eventos el Niño para los años 1942 y 1944 en su fase fría, propiciando un incremento en la precipitación de verano y esto a su vez el crecimiento de combustibles (pastos y plantas arbustivas) y que al registrarse una caída en la precipitación en el año de 1945, se dieran las condiciones ideales para el desarrollo de fuertes incendios en el período primavera-verano.

Otro año crítico fue el de 1922, atribuible a un período libre de sequías que ocurrió de 1910 a 1920. Posterior a este período se presentó una disminución en la precipitación, el Niño de 1922 en su fase fría no generó un incremento en la precipitación, propiciando que la sequía del verano de 1922 se intensificara, a cuyo evento se atribuye la ocurrencia de intensos incendios al existir gran cantidad de combustible disponible como resultado del periodo húmedo que antecedió a este evento seco.

Para principios del siglo XX se reconstruyó una fuerte incidencia de incendios para los años de 1902 y 1904. Antes de 1902 las condiciones de lluvia no mostraban caídas considerables, sin embargo, en 1902 se presenta un intenso año Niño en fase calida, originando una fuerte disminución en la precipitación de verano, lo que dio paso a fuertes incendios en los meses de primavera-verano de este año. Para 1903 se registra un fuerte año Niño en su fase fría y propicia intensas lluvias (reconstruido como el año con la mayor cantidad de lluvia de los últimos 350 años), seguido en 1904 por una fuerte sequía derivada de la influencia de otro Niño en fase calida (intensas sequías para

primavera-verano) provocando nuevamente fuertes incendios para el suroeste de Chihuahua.

Aunque existe una clara disminución en la frecuencia de incendios en la parte alta después de 1970, en la parte baja se reconstruyeron intensos incendios en 1988 y 1995. Los incendios de 1988 se atribuyen al Niño de 1986-1987 que provocó una disminución en la precipitación primavera-verano de 1988 y originó una alta incidencia de incendios a nivel nacional. Finalmente el Niño 1994-1995, que marca el inicio de la intensa sequía que hasta la fecha persiste en la región, ocasionó fuertes incendios en la estación primavera-verano de 1995, lo que se vio favorecido por las buenas condiciones de precipitación de años anteriores.

Los incendios se presentaron generalmente en años secos, ya que existe una correlación estrecha entre la presencia de un año o periodo seco y la ocurrencia de incendios. Se observa una correspondencia con la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENSO), los años previos a la ocurrencia del incendio son generalmente húmedos o con una precipitación superior a la media (Fulé *et al.* 2005). El mismo fenómeno se observa para el suroeste de los Estados Unidos (Swetnam y Baisan, 2003), donde la ocurrencia de un incendio es favorecido cuando un año seco es seguido de un año húmedo, por presentarse una alta producción de combustible. Un mecanismo similar se observa para otras áreas de Chihuahua, donde las gramíneas perennes son abundantes en los bosques de esta región (Fulé *et al.* 2005).

El norte de México es fuertemente afectado por ENSO (Stahle y Cleaveland 1993; Stahle *et al.* 1998), y la ocurrencia de incendios en el norte de México ha estado ligada a este fenómeno, como en el suroeste de los Estados Unidos y sur de Sur América (Fulé y Covington, 1997, 1999). La ocurrencia de incendios en 1998 para el centro y sur de México estuvieron asociados con ENSO (Rodríguez-Trejo y Pyne, 1998).

En este estudio los incendios más antiguos se detectaron para el año 1835. Posteriormente se presenta un período libre de incendios entre 1790 y 1830, posiblemente relacionado con una baja frecuencia de cambios en la variabilidad de ENSO (Grissino-Mayer y Swetnam, 2000; Kitzberger y Veblen, 2003; Stahle y Cleaveland, 1993).

4.4 Análisis de Sobreposición de Época

Se ha analizado la relación existente entre eventos secos y la presencia de incendios en el suroeste de Chihuahua al sobreponer las series reconstruidas de precipitación e incendios. Los bosques de coníferas son más susceptibles de sufrir incendios cuando se registra una disminución en la precipitación (años secos), antecedida de años con precipitación por arriba de la media.

Las Series reconstruidas de precipitación e incendios se analizaron con la subrutina SEA del software FHX2 (Grissino-Mayer, 1995).

El SEA determina la relación entre el clima local (ancho del anillo estandarizado) y la ocurrencia de incendios. El sitio de estudio se analizó por separado, es decir parte alta y parte baja.

El valor del clima promedio esta representado por 1 en el eje de las “Y”. El procedimiento Bootstrapping fue utilizado para evaluar la significancia estadística del clima tanto cuando supera la media (años húmedos) como cuando cae por debajo de la media (años secos); el prime año (año 0) representa el año en que ocurrió el incendio y los valores -5 hasta -1 constituyen los cinco años anteriores al incendio y los valores 1 y 2 indican la influencia del clima los siguientes dos años posteriores al incendio. Las tres líneas ubicadas arriba y abajo del eje de las “X” en cada uno de los gráficos, constituyen los intervalos de confianza al 95%, 99% y 99.9% respectivamente (Gráficos 31 y 32).

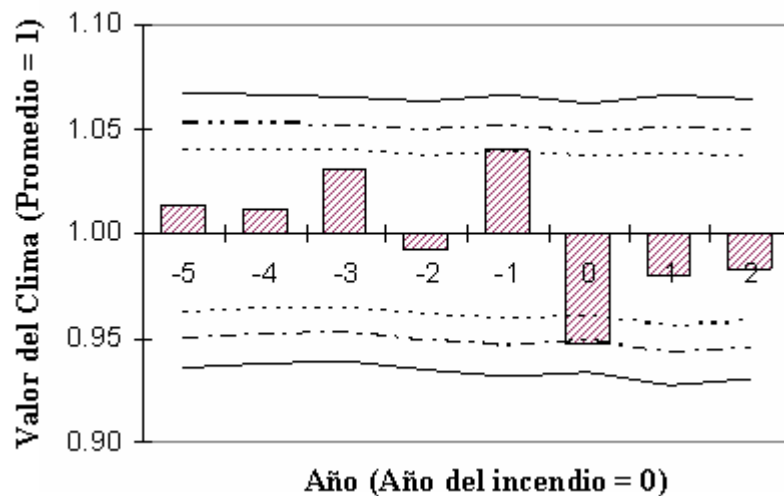


Figura 31. Análisis de clima e incendios mediante Análisis de Sobreposición de Época para la parte alta del Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones de humedad en un año previo al incendio y secas durante el incendio.

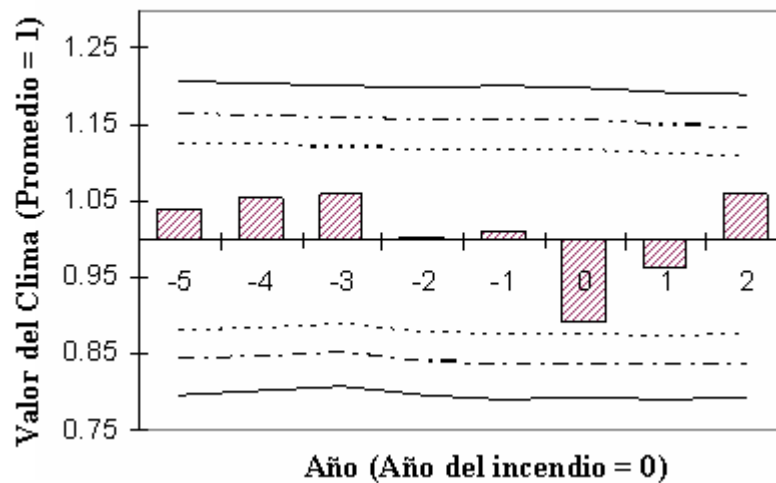


Figura 32. Análisis de clima e incendios mediante Análisis de Sobreposición de Época para la parte baja del Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones secas durante el incendio y ligeramente húmedas antes del incendio.

Para la parte alta, se encontró que los incendios tendieron a ocurrir en años secos estadísticamente significativo al 99%, seguido de años secos. El año anterior a los incendios fue un año húmedo, condiciones de precipitación por arriba de la media estadísticamente significativo al 95% (Figura 31). Patrones similares en el comportamiento de los incendios se han reportado para el oeste de Chihuahua (Fulé et al. 2005).

La parte baja mostró un comportamiento similar a la parte alta, los incendios se presentaron en años secos aunque no de manera significativa, seguidos de años secos. El año anterior a la ocurrencia de los incendios presentó condiciones húmedas, aunque no es estadísticamente significativa (Figura 32).

Siete de los años con mayor incidencia de incendios entre ellos 1995, 1988, 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902 para el suroeste de Chihuahua, coincidieron con años secos que a su vez estuvieron asociados a eventos extremos del Niño Oscilación del Sur. Los años de 1971 y 1945 presentaron los incendios más intensos y extensos que se hayan registrado en toda la superficie de estudio. Lo cual es indicativo de la intensidad del fenómeno ENSO para dichos años.

En la parte baja no fue necesaria la presencia de sequías intensas y años muy húmedos anteriores al incendio. Lo anterior se puede atribuir a que en la parte baja, las condiciones ambientales generalmente son más húmedas, existe generación y acumulación de combustible año con año, de tal manera que en la estación de primavera-verano al registrarse una reducción en la precipitación, aunque no de manera significativa, se den las condiciones propicias que hacen más susceptible al área a la incidencia de incendios.

Por el contrario, en las partes altas generalmente las condiciones ambientales son más secas, siendo necesario precipitaciones intensas, por ejemplo un año Niño en su fase calida, que incrementa significativamente la precipitación invernal, lo que permite el desarrollo de combustible, que a su vez favorece la presencia de incendios en la estación primavera-verano, aunado a una disminución de la precipitación a consecuencia del mismo fenómeno.

La topografía es uno de los factores con mayor influencia en el comportamiento del fuego. Conforme un incendio se propaga pendiente arriba, su intensidad se

incrementa, particularmente en las cimas y laderas altas ha consecuencia de condiciones relativamente más secas, en comparación a la parte baja, por lo que se espera que los árboles sean afectados más severamente en una posición topográfica alta y como consecuencia se registren más cicatrices de incendios (Pyne *et al.* 1996; Fulé *et al.* 2003; Rubio, 2007).

4.5 Influencia del ENSO en el crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* en el suroeste de Chihuahua

De manera general, las lluvias de invierno se intensifican durante años El Niño en el noroeste y noreste de México, mientras que disminuyen hacia la parte sur (Magaña, *et. al.* 1998). Esta influencia significativa del Niño en el aumento de la precipitación invernal para el norte de México es detectada en los crecimientos anuales de los árboles de la Sierra Madre Occidental. La serie de tiempo generada para el suroeste de Chihuahua con *Pseudotsuga menziesii* indica de manera evidente los impactos de seis de los eventos más recientes del Niño 1965-66, 1972-73, 1982-83, 1986-87, 1991-92 y 1997-98, donde de acuerdo con Magaña (1999), los eventos del Niño para los años 1965-66, 1982-83 y 1991-92 produjeron lluvias invernales por encima de lo normal, lo que se tradujo en un incremento en los crecimientos anuales de los árboles para estos periodos (Figura 33).

Caso contrario, los eventos de El Niño en los años 1972-73, 1986-87 y 1997-98 no parecen haber incrementado la lluvia invernal, a lo cual se atribuye una disminución en el crecimiento anual del arbolado. El Niño 1997-98 produjo una cantidad reducida de precipitación invernal para las áreas del norte y así mismo se redujo las lluvias de

primavera-verano a nivel nacional, lo que propicio un año extremadamente seco con alta incidencia de incendios en todo el país (Gay, 2004).

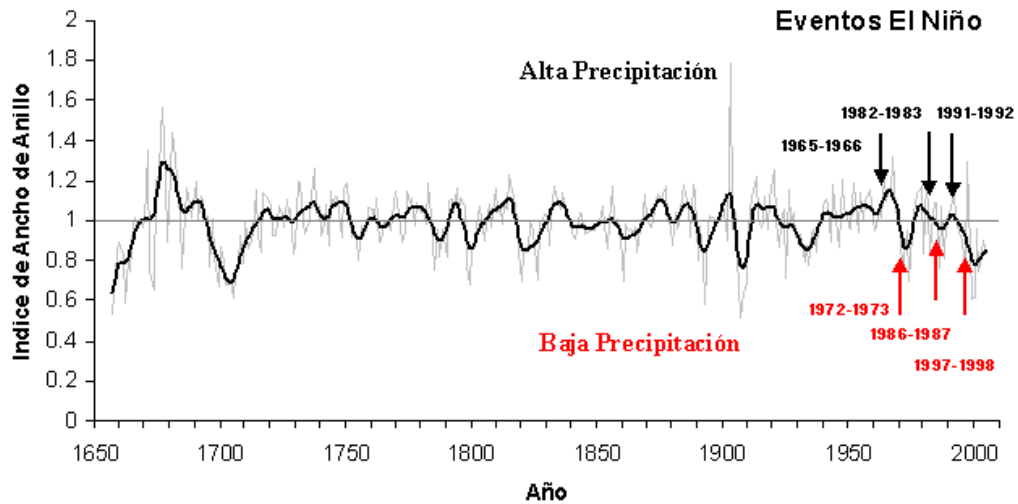


Figura 33. Serie de tiempo generada con ejemplares de *Pseudotsuga menziesii* para el Suroeste del estado Chihuahua y la influencia en los crecimientos anuales (índice de ancho de anillo) de eventos El Niño.

Trenberth (1997), señala que en los últimos cincuenta años han ocurrido doce acontecimientos El Niño. De 1982 a principios de 1999, ocurrieron cuatro Niños en los inviernos 1982-83, 1986-87, 1991-92 (que algunos definen de 1991 a 1995) y 1997-98, siendo el primero y el último de los anteriormente referidos, los más intensos del siglo XX. En el invierno de 1997-1998 las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el extremo oriental del Océano Pacífico Ecuatorial llegaron a ser de casi 6 °C (WMO, junio 1998).

La teleconexión extratropical de ENSO en el norte de México es significativa, pero su intensidad y extensión varía a través del tiempo (Cleaveland *et al.* 2003). Esta inestabilidad se ilustra con la variabilidad de la correlación entre los Índices de Lluvia Tropical (TRI, por sus siglas en ingles) para el período 1897-1999 que son estimativos de la variabilidad de ENSO y la serie de tiempo de madera temprana generada para el suroeste de Chihuahua.

Las figuras 34a y 35a muestran de manera gráfica la extensión de cada una de las series de índices que se compararon, los índices de crecimiento comprenden una extensión de 1657 al 2005 y de 1896 a 1995 los índices de ENSO. El gráfico del ENSO permite observar la periodicidad con que se presenta dicho fenómeno, las manchas de color rojo delimitadas por una línea de color negro representan períodos de ocurrencia altamente significativos de este fenómeno, se consideraron todos aquellos períodos significativos que se localizan dentro del límite de confianza representado por una línea oscura delgada que une los ejes superior e inferior en forma de ovalo.

Las figuras 34b y 35b son el resultado de la relación entre los índices de crecimiento y los índices de ENSO a nivel anual. Las manchas de color rojo delimitadas por una línea de color negro indican que existe una relación altamente significativa entre ambos fenómenos, las flechas de color negro en diferente posición determinan si la relación es positiva o negativa, flechas horizontales o paralelas hacia la derecha indican que ambos fenómenos están en fase, que su relación es positiva, caso contrario, cuando las flechas se localizan hacia la izquierda esto indica que ambos fenómenos están en antifase, su relación es negativa, las flechas que se presentan en forma vertical o forman-

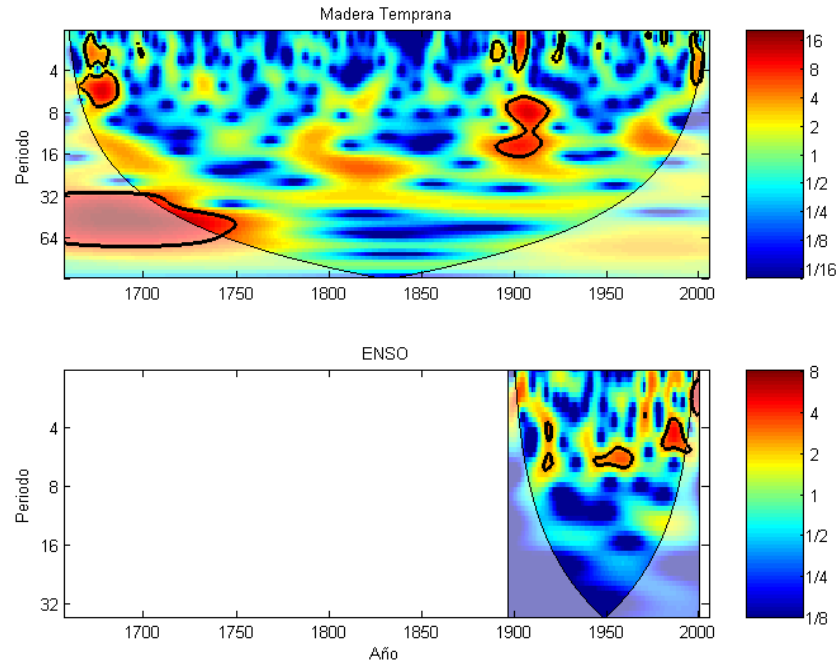


Figura 34a. Series de tiempo de índices de madera temprana y los Índices de Oscilación del Sur a nivel anual y sus espectros potenciales de ondeleta.

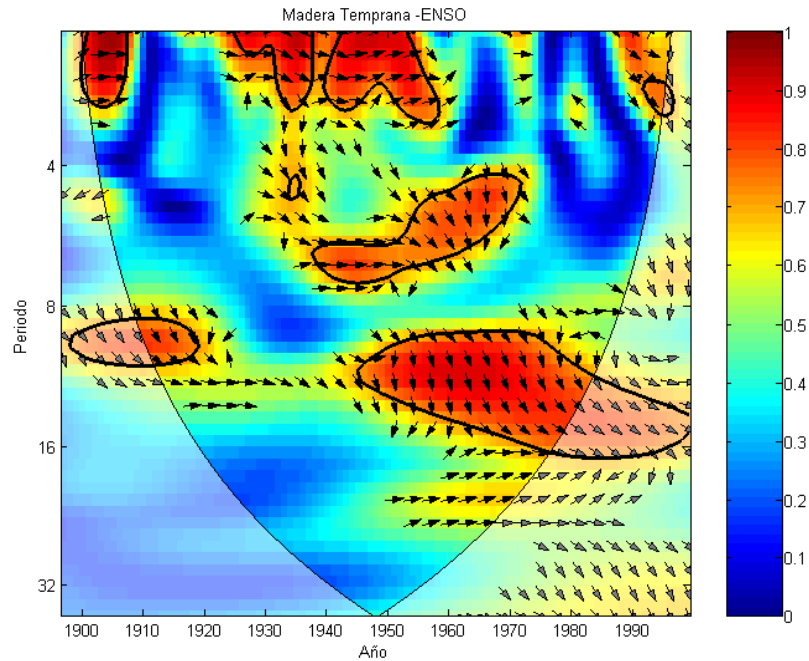


Figura 34b. Coherencia de ondeleta cruzada entre los índices de la serie de tiempo madera temprana y los índices del ENSO a nivel anual.

do un ángulo de 90° indican que los fenómenos no están en fase se desconoce si la relación es negativa o positiva. Se consideraron todos aquellos periodos con relación significativa localizados dentro del límite de confianza representado por la línea oscura delgada que une los ejes superior e inferior formando un ovalo.

De esta manera se encontró, que el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur presenta una periodicidad irregular de 4 a 7 años de manera significativa para los periodos: 1915-1922, 1945-1962 y 1980-1992 (Figura 34a y 35a).

El análisis de coherencia de ondeletas considerando las series de tiempo madera temprana e índices del ENSO a nivel anual (Figuras 34b) permitió evidenciar que el fenómeno de El Niño que se presenta en periodos de 4 a 7 años muestra una asociación significativa ($P < 0.001$) con el crecimiento anual de las masas forestales en la Reserva Cerro El Mohinora, en el suroeste del estado de Chihuahua, especialmente durante el periodo 1935-1975 con el crecimiento de madera temprana. De 1935 a 1953 ambos fenómenos se encuentran en fase, pero de 1954 a 1975 presentan un desfase; es decir, en el primer lapso señalado se correlacionan positivamente, mientras que en el último lo hacen de manera negativa.

Considerando periodicidades (8-14 años) que son múltiplos de los periodos previamente citados (4-7), se aprecia la asociación significativa entre ambos índices durante el lapso de 1948 en adelante; sin embargo las flechas inclinadas y verticales indican el desfase entre ellos y por consiguiente una correlación negativa (Figura 34b).

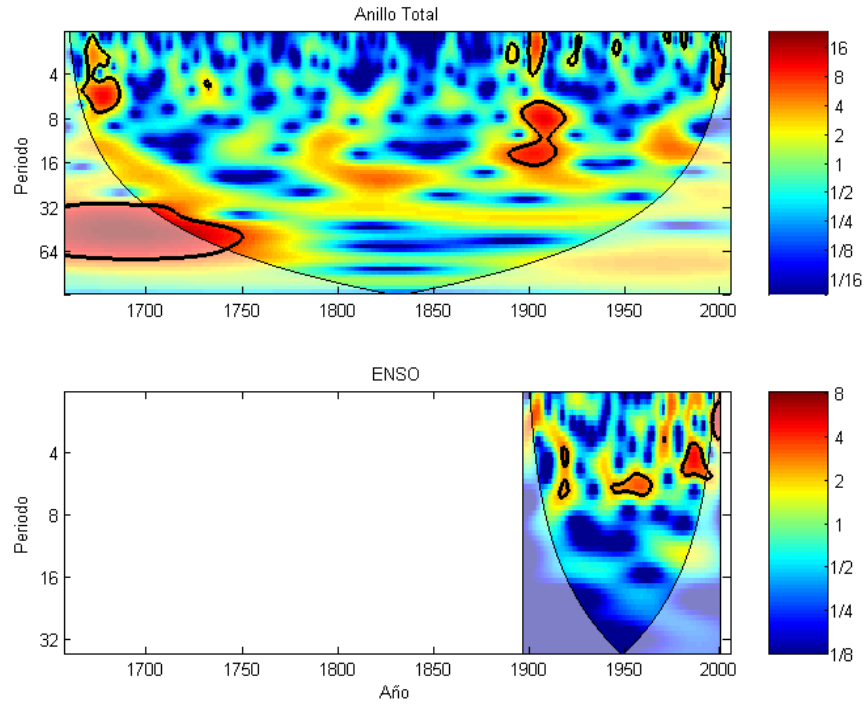


Figura 35a. Series de tiempo índices de anillo total y los Índices de Oscilación del Sur a nivel anual y sus espectros potenciales de ondeleta.

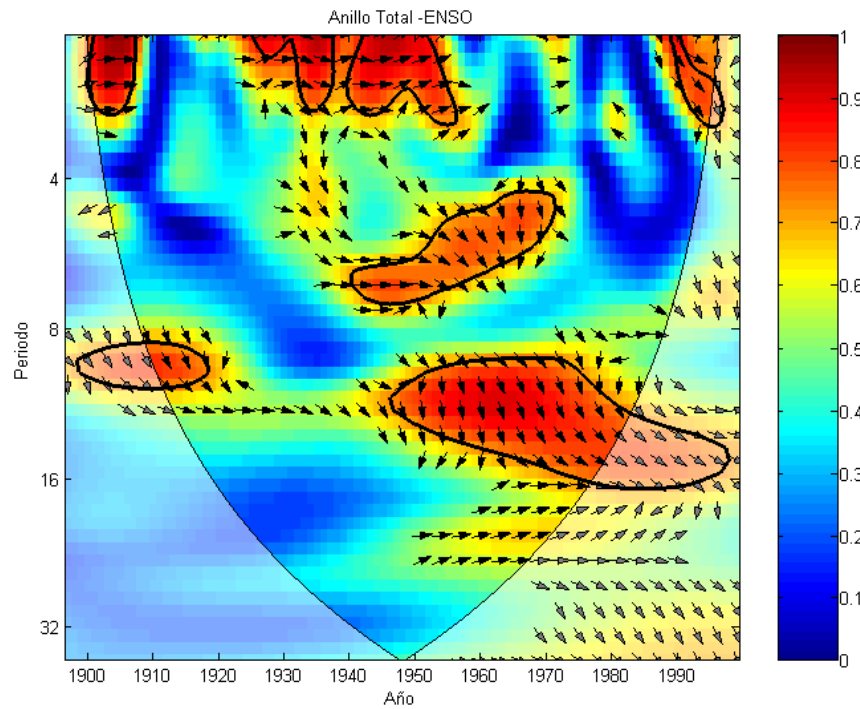


Figura 35b. Coherencia de ondeleta cruzada entre los índices de de la serie de tiempo anillo total y los índices del ENSO a nivel anual.

Este resultado implica que además de la periodicidad irregular de 2-12 años evidenciada en la figura 34a (concerniente al crecimiento de los árboles) también es influenciada por El Niño.

El mismo comportamiento se observó para el análisis de la serie de índice de ancho de anillo total al relacionarlo con los índices del ENSO (Figuras 35a y 35b).

El comportamiento similar entre el crecimiento de madera temprana y ancho de anillo total con índices del ENSO se debe a que la madera temprana representa el 80 ó 90% del crecimiento anual, el crecimiento de madera temprana esta influenciado de manera significativa por las lluvias de invierno-primavera, por tal motivo el crecimiento total presenta una misma respuesta al índice del ENSO.

CONCLUSIONES

- La similitud o sincronización de eventos secos reconstruidos para Cerro Mohinora y los reconstruidos para otros sitios del norte y centro de México permiten determinar la cobertura de los fenómenos climáticos. Las fuertes sequías que afectaron a esta región, no son eventos localizados, sino que se refiere a fenómenos climáticos de amplio impacto influenciados por patrones de circulación global que determinan la precipitación en grandes áreas de México, como es el caso de las sequías generalizadas en el norte de México en los períodos 1695-1715, 1790, 1810, 1841-1870, 1910, 1924-1941, 1970-1976 y 1994-2005.
- En los 350 años de precipitación reconstruida se detectaron fuertes sequías tanto a finales como a inicios de cada siglo es decir 1698 a 1718, 1798 a 1807, 1890 a 1908 y 1994 a la fecha, así como sequías menos intensas pero de mayor duración cada mediados de siglo como en 1650, 1750, 1850 y la más reciente de 1950. Para otras reconstrucciones en el norte de México que se extienden para un período más prolongado se observó un comportamiento similar con sequías intensas a finales de 1500 e inicios de 1600 (Villanueva *et al.* 2005). Actualmente para el suroeste de Chihuahua se vive una sequía que inició en la década de 1990 y continúa hasta el presente. Si en un futuro se tiene la misma tendencia climática, la sequía se presentaría en 2020 o bien 2050; debido a que las sequías después de 1900 a la fecha se han presentado con intervalos de 20 años.

- Se reconstruyeron 300 años de frecuencia de incendios para la reserva Cerro Mohinora, Chihuahua; donde se observó que los años con evidencia de incendios de alta intensidad correspondieron a los años 1995, 1988, 1985, 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902. Los incendios más intensos y extensos se presentaron en los años 1971 y 1945, situación que se relaciona con la sequía que afectó esta región en las décadas de 1940 y 1970.
- Los intervalos medios de frecuencia de incendios para la reserva “Cerro Mohinora” variaron de 7.05 a 13.29 años y el intervalo medio de probabilidad de ocurrencia de incendios, reconstruido fue de 5.10 a 12.41 años, considerando todas las cicatrices de incendios registradas en el 10% de las muestras o más. Las muestras registraron incendios en la parte inicial de crecimiento de la madera temprana en 80.4%, que corresponde a los meses de primavera y solo el 19.6% se registró en los meses de verano.
- Los fenómenos circulatorios ENSO y MONZÓN afectan la variabilidad climática regional del suroeste de Chihuahua. El Monzón explica las lluvias de verano; sin embargo, el crecimiento de los bosques de estas regiones está influenciado significativamente por las lluvias de invierno y por ende por la fase cálida de ENSO.

- Al comparar las series reconstruidas de clima e incendios se observó una relación significativa entre años secos y la ocurrencia de incendios ($p < 0.01$) para el suroeste de Chihuahua. La presencia de años húmedos, precipitaciones por arriba de la media seguidos de años secos, determinan de manera significativa ($p < 0.05$) la incidencia y comportamiento de los incendios en esta región.
- El impacto de ENSO en esta región es significativa en la presencia de incendios.

RECOMENDACIONES

- La reconstrucción de precipitación para el suroeste de Chihuahua, indica la influencia del fenómeno del Niño en el período invernal; sin embargo, no proporciona información de la precipitación de verano. El fenómeno del Monzón representa más del 60% de la lluvia para la región y esta precipitación es de importancia económica para el llenado de presas, agricultura de temporal y productividad de ecosistemas. Con la serie de madera tardía desarrollada, no fue factible detectar una respuesta significativa entre los índices dendrocronológicos y la precipitación de verano. Por lo tanto, existe la necesidad de generar una red de cronologías de madera tardía climáticamente sensitiva a la precipitación de verano para estudiar con mayor detalle patrones de circulación global como el Monzón Mexicano, el cual explica en gran medida la precipitación de dicha época.
- La quema prescrita o controlada es la aplicación controlada del fuego a combustibles en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas que llevan a confinar el fuego a un área predeterminada y al mismo tiempo, producir una intensidad calorífica y tasa de propagación requerida para atender objetivos planeados de manejo de recursos naturales (Chandler *et al.* 1983b). Ante esto, se recomienda la elaboración de programas de manejo para la aplicación de quemas controladas en el suroeste de Chihuahua, tomando en cuenta los regímenes de incendios reconstruidos y principalmente poner especial

atención en los intervalos de probabilidad de ocurrencia reconstruidos a lo largo del gradiente altitudinal de Cerro El Mohinora.

- El régimen de incendios determinado se aplica básicamente al bosque mixto de pino. Este régimen, sin embargo, no aplica a rodales con especies sensibles al fuego como es el caso de *Picea Chihuahuaza* (especie relictos en México), que debe protegerse del impacto de incendios.
- La importancia de los incendios en la estabilidad ecológica de los bosques templados en el norte de México es bien conocida; sin embargo, el entendimiento histórico de los regimenes de incendios en esta región ha sido poco estudiado. De esta manera es deseable el desarrollo de una red de cronologías de incendios que permita determinar el comportamiento histórico de este fenómeno y su impacto en la dinámica de estos ecosistemas.
- La ocurrencia de los incendios están muy ligada con el Niño Oscilación del Sur; por esta razón, es de suma importancia considerar este fenómeno a futuro. Los eventos del ENSO, actualmente tienen cierta predictibilidad, por lo que el conocimiento con anterioridad de la incidencia de este fenómeno permitirá el tomar las medidas preventivas para disminuir la susceptibilidad e intensidad de los incendios en las áreas del suroeste de Chihuahua. Más del 80% de los incendios se reconstruyeron para los meses correspondientes al período de primavera, esto indica las épocas en las cuales debemos poner especial énfasis en su prevención.

LITERATURA CITADA

- Agee, J.K. 1993. *Fire Ecology of Pacific Northwest Forests*. Island Press, Washington, D.C. 477 pp.
- Agee, J.K. 1998. Fire and pine ecosystems. En: Richardson M.S. (Ed.) *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, pp. 193-218.
- Arno, S.F. and Snack K.M. 1977. A method for determining fire history in the coniferous forests in the mountain belt. USDA Forest Service, General Technical Report INT-142.
- Baisan, C.H. and Swetnam, T.W. 1990. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research* **20**, 1559-1565.
- Bradley, R.S. 1999. Paleoclimatology. Reconstruction climates of the Quaternary. Second Edition. Academic Press. USA. 613 p.
- Capel, J. 1999. El Niño, y el sistema climático terrestre, ed. Ariel International Research Institute. <http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/monitoring.html>
- Canadian Environmental Agency. 1997. Environmental Issues. <http://www.eei.org/>.
- Cavazos, T., y Hastenrath, S. 1990: Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *Int. J. Clim*, 10, 377-386.
- Cerano P., J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila. 152 pp.
- Cleaveland, M.K., D.W. Stahle, M.D. Therrell, J. Villanueva-Díaz, B.T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369-388.

- Cook, E.R. and R.H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and users manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. 15 pp.
- Cook, E.R. and L.A. Kairiukstis. 1990. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 394 pp.
- Dendrocronología. (2002). El árbol como indicador de cambios ambientales.
<http://usuarios.lycos.es/picadura/dendrocronologia.htm>
- Díaz, S.C., R. Touchan and T.W. Swetnam. 2001. A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico. International Journal of Climatology. 21: 1007-1019.
- Díaz Castro S., M.D. Therrell, D.W. Stahle, and M.K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992. Climate Research 22: 237-244.
- Dieterich, J.H. 1980. Chimney Spring forest fire history. USDA Forest Service Research Paper RM-220.
- Douglas, M., Maddox, R.A., Howard, K., Reyes, S., 1993. The Mexican monsoon. J. Climate 6, 1665–1677.
- Dunne, Peter M. 1958. Las antiguas misiones de los tarahumaras, 2 vols. Editorial Jus, Ciudad de México.
- Endfield, G. H., Tejedo, H.I. 2006. Decades of drought, years of hunger: archival investigations of multiple year droughts in late colonial Chihuahua. Climatic Change (2006) 75: 391–419.
- Englehart, P. J. and Douglas, A.V. 2002. Mexico's summer rainfall patterns: An analysis of regional modes and changes in their teleconnectivity, Atmosfera, 15, 147–164.
- ERIC II. 2000. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Extractor Rápido de Información Climatológica.

- Florescano, E.M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.
- Florescano, E. and S. Swan. 1995. Breve historia de la sequía en México. Universidad Veracruzana. México. 246 pp.
- Fritts, H.C. 1976. Tree-rings and Climate. Academic Press, London - New York – San Francisco.
- 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.
- Fritts, H.C. 2001. Tree Rings and Climate, Blackburn Press, Caldwell, New Jersey.
- Fujigaki Lechuga, Augusto, González Galván Alfonso. Epidemias conocidas en México en el siglo XX: Enrique Flores Cano y Elsa Malvido. compiladores 1982. Ensayos sobre la historia de las epidemias en México. Instituto Mexicano del Seguro Social. pp. 689-723.
- Fulé, P.Z. and W.W. Covington. 1996. Changing fire regimes in Mexican pine forests: ecological and management implications. *Journal of Forestry* 94: 33 – 38.
- Fulé, P.Z. and Covington W.W. 1997. Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Acta Botánica Mexicana* 41:43-79.
- Fulé, P.Z. and W.W. Covington. 1998. Spatial patterns of Mexican pine-oak forests under different recent fire regimes. *Plant Ecology* 134: 197 – 209.
- Fulé, P.Z.; Heinlein, T.A; Covington, W.W and Moore, M.M. 2003. Assessing fire regimes on Grand Canyon landscapes with fire-scar and fire-record data. *International Journal of Wildland Fire*, 12, 129-145.
- Fulé, P.Z., Villanueva-Díaz, J., and Ramos-Gómez, M. 2005. Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, México. *NRC Can. J. For. Res.* 35: 320-330.

- Gay, C.G. 2004. Presentación. En: L Villers R. y J. López- Blanco (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F., pp. 9-12.
- García, A.V. 1997. Las “sequías” y sus impactos en las sociedades del México decimonónico, 1856-1900. CIESAS, México. 32 pp.
- Gerhard, Peter. La Frontera norte de la Nueva España: Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 1996.
- Grissino-Mayer, H.D. and R.L. Holmes. 1993. An update list of species used in tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*. 53: 17-43.
- Grissino-Mayer, H.D. 1995. Tree-ring reconstruction of climate and fire history at El Malpais National Monument, New Mexico. Ph.D. dissertation, The University of Arizona, Tucson. 407 pp.
- Grissino-Mayer, H.D. 1999. Modeling fire interval data from the American Southwest with the Weibull distribution. *International Journal of Wildland Fire*. Canada **9**: 37–50.
- Grissino-Mayer, H.D., and Swetnam, T.W. 2000. Century-scale climate forcing of fire regimes in the American Southwest. *Holocene*, **10**: 213–220.
- Grissino-Mayer, H.D. 2001. FHx2-software for analyzing temporal and spatial patterns in fire regimes from tree rings. *Tree-Ring Research* **57**, 115-124.
- Grissino-Mayer, H.D. [En línea]. *The Ultimate Tree~Ring Web Pages*. 2005 .[fecha de consulta: Octubre 2007]. Disponible en: <<http://web.utk.edu/~grissino/principes.htm>>
- Gochis, D.J., Leal, J.-C., Jimenez, A., Watts, C.J., Garatuza- Payan, J., Shuttleworth, W.J., 2004. Analyses of 2002 and 2003 North American monsoon precipitation from the NAME event raingauge network (NERN). *Mon. Wea. Rev.* 132, 2938–2953.

- 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, N.L. 193 p.
- Heinlein, T.A; Moore, M.M; Fulé, P.Z and Covington, W.W. 2005. Fire history and stand structure of two ponderosa pine-mixed conifer sites: san Francisco Peaks, Arizona, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 307-320.
- Heinselman, M.L. 1981. Fire Intensity and Frequency as Factors in the distribution and structure of northern ecosystems. En: Mooney H.A. *et al.* (Eds.). *Regimes and Ecosystems properties*. Unites States Department of Agriculture (USDA). Forest Service. *General Technical Report*, WO-26, pp. 7-57.
- Heyerdahl, E.K. y Alvarado E. 2003. Influence of Climate and Land Use on Historical Surface Fires in Pine-Oak Forests, Sierra Madre Occidental, Mexico. En: Veblen *et al.* (Eds.). *Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Springer Verlag, Nueva York, pp.196-217.
- Higgins, R.W., Chen, Y., Douglas, A.V., 1999. Interannual variability of the North American warm season precipitation regime. *J. Climate* 12, 653–680.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and mesurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Holmes, R.L., R.K. Adams and H.C. Fritts. 1986. Quality control of crossdating and measuring: A user's manual for program COFECHA. In: *Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*. Arizona, University of Arizona.
- Houghton, J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. pp. 365.
- Houghton, J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1992. *Climate Change 1992: The Supplemental Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press. pp. 200.

- Jardel, J.P. 1991. Perturbaciones naturales y antropogénicas y su influencia en la dinámica sucesional de los bosques de las joyas, Sierra de Manantlán, Jalisco. *Tiempos de Ciencia* **22**: 9-26.
- Jardel, J.P. y Alvarado E. 2003. Reseña del Seminario sobre Manejo del Fuego y Restauración de los Bosques. *Memorias*. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Autlán, Jalisco, México, pp.1-5.
- Jardel, J.P., Castillo-Navarro F., Ramírez V.R., Chacón M.J. y Balcázar M.O. 2004. Los incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. En: L Villers R. y J. López- Blanco (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F., pp.147-164.
- Jardel, J.P., Ramírez V. R., Castillo-Navarro F., García R.S., Balcázar M.O., Chacón M.J. y Morfín J.E. 2005. *Programa de Manejo del Fuego y Restauración de Bosques en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán*, Jalisco-Colima. Universidad de Guadalajara-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Autlán, Jalisco, México. 48 pp.
- Jozsa, L. 1988. Increment core sampling techniques for high quality cores. Wood Science Department, Forintek Canada Corp. Special Publication No. SP-30.
- Keeley, E.J. and Zedler H.P. 1998. Evolution of life histories in *Pines*. En: Richardson M.D. (Ed) *Ecology and biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, pp. 219-250.
- Kitzberger, T., and Veblen, T.T. 2003. Influences of climate on fire in northern Patagonia, Argentina. In Fire and climatic change in temperate ecosystems of the western Americas. *Edited by* T.T. Veblen, W.L. Baker, G. Montenegro, and T.W. Swetnam. Springer-Verlag, New York. pp. 296–321.
- Magaña V, and A. Quintanar, 1997: On the use of a general circulation model to study regional climate. *2nd. UNAM-CRAY Supercomputing Conference on Earth Sciences*. Mexico City. June 1997. Ed. Cambridge University Press. 39-48
- Magaña, V. y J.L. Pérez, 1998: Usos de un modelo de mesoescala en la dinámica atmosférica regional de México. *GEOUNAM*. Vol 5, 1. Oct. 1998, 33-39.

- Magaña, V.; Pérez, J.L.; Vázquez, J.L.; Carrizosa, E. y Pérez, J. 1999. El Niño y el clima. En V. Magaña (editor). Los impactos de El Niño en México. SEP - CONACYT. Mexico. Pp. 23 - 68.
- Magaña, V.O., Vázquez J.L., Pérez J.L. y Pérez J.B. 2003. Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica internacional*. UNAM, México **42**: 313-330.
- McKenzie, D. 2004. Historia del fuego y su relación con el clima. En: Villers R. L. y López-Blanco J. (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México, D.F., pp.13-28.
- Medina, A.A., Dussart E.G., Estelrich H.D. y Morici E.A. 2000. Reconstrucción de la Historia del Fuego en un Bosque de *Prosopis caldenia* (burk.) de Arizona, sur de la provincia de San Luis. *Multequina* **9**: 91-98.
- Mosiño, P. y T. Morales. 1988. Los ciclones tropicales, El Niño y las lluvias en Tacubaya. *Geofis. Int.*, 27, 1, 61-82.
- NOAA. 2000. Una Paleoperspectiva del Calentamiento Global. <http://wdc.cricyt.edu.ar/paleo/es/globalwarming/home.html>
- Pohl, K., M.D. Therrell, J.S. Blay, N. Ayotte, J.J. Cabrera, S.C. Díaz, E.O. Cornejo, J.A. Elvir, M.E. Gonzalez, D. Opland, J. Park, G. Pederson, S.S. Bernal, L.S. Vazquez, J. Villanueva-Díaz, and D.W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. *Tree-ring research*, Vol. 59(1), 2003, pp. 11 – 19.
- Pyne, S.J., Andrews P.L. y Laven R.D.1996. *Introduction to Wildland Fire*. Second Edition, Wiley, EUA. 753 pp.
- Robinson, W. J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-ring bulletin*. 40: 59 – 64.
- Rodríguez, T.D.A. 1996. *Incendios Forestales*. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi-Prensa. México D.F. 617 pp.

- Rodríguez, T.D.A., Martínez H.H.C. y Horteaga B.V. 2004. Ecología del fuego en bosques de *Pinus hartwegii*. En: L Villers R. y López-Blanco J. (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F., pp.107-124.
- Román-Cuesta R. M., Gracia M. and Retana J. 2003. Environmental and human factors influencing fire trends in ENSO and non-ENSO years in tropical Mexico. *Ecological Applications* **13**(4):1177-1192.
- Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. 1989. North American precipitation and temperature patterns associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Monthly Weather Review* 114: 2352 - 2362.
- Rubio, 2007. Frecuencia de incendios forestales en el bosque de *Pinus douglasiana* del Ejido Ahuacapán, Reserva de la Biosfera Sierra de Manatlán, Jalisco, México. Tesis Profesional. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. 60 pp.
- Ruiz, C.J. 2000. El fuego, factor ecológico. En: Vélez M. R. (Ed.). *La defensa contra incendios forestales, Fundamentos y Experiencias*. Mc-GRAW Hill/ Interamericana de España, Aracava, Madrid, España, pp. 4.1-4.3.
- Schulman, E. 1944. Dendrochronology in México. *Tree-Ring Bulletin* 10: 18 – 24.
- Schulman, E. 1956. Dendroclimatic Changes in Semiarid America. University of Arizona Press, Tucson. 142 pp.
- Schultz D.M., W.E. Bracken, L.F. Bosart, G.J. Hakim, M.A. Bedrick, M.J. Dickinson And K.R. Tyle, 1997. The 1993 superstorm cold surge: frontal structure, gap flow, and tropical impact. *Monthly Weather Review*, **125**. I. 5-39.
- Scott, S.D. 1966. Dendrochronology in México. Papers of the Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona Press, Tucson. 80 pp.
- Sheppard, P.R. (2002). Crossdating Tree Rings Using Skeleton Plotting.
<http://tree.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/introcrossdate.htm>

Sheppard P. R. 2002. Ring-Growth Anomalies.
<http://tree.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/ringanomalies.htm>

Sheppard P. R. 2002. Sensitive vs. Complacent Tree-Ring Growth.
<http://tree.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/sensitivitycomplacency.htm>

Stahle, D.W., D'Arrigo, P.J. Krusic, M.K. Cleaveland, E.R. Cook, R.J. Allan, J.E. Cole, R.B. Dunbar, M.D. Therrell, D.A. Gay, M.D. Moore, M.A. Stokes, B.T. Burns, J. Villanueva-Díaz, and L.G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(10): 2137 – 2152.

Stahle, D.W. and M.K. Cleaveland. 1993. Southern Oscillation extremes reconstructed from tree-rings of the Sierra Madre Occidental and Southern Great Plains. *Journal of Climate* 6: 129-140.

Stahle, D.W., M.K. Cleaveland, M.D. Therrell, and J. Villanueva-Díaz. 1999. Tree-ring reconstruction of winter and summer precipitation in Durango, Mexico, for the past 600 years. 10th Conference of Global Change Studies. Preprint volume, American Meteorological Society, 79th Annual Meeting. January 10 – 15. Dallas, Texas.

Stat soft Inc. 2000. STATISTICA Kernel release 5.5 A Copyright © 1984-2000.

Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago.

Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1996. *An introduction to the Tree-Ring Dating*. The University of Arizona Press. 73.

Swanson, F.J., Jones J.A., Wallin D.O., and Cissel.1994 J.H. Natural variability implications for ecosystem management. En: Jensen, M.E. y Bourgeron, P.S. (Eds.). *Eastside forest ecosystem health assessment*. Vol 2, *Ecosystem management: principles and applications*. Unites States Department of Agriculture (USDA). Forest Service. *General Technical Report*, PNW-GTR-318, pp. 89-104.

- Swetnam, T.W., M.A. Thomson, and E.K. Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliate trees. USDA-Forestry Service. Agriculture Handbook No. 639.
- Swetnam, T. W., Baisan C. H. and Kaib J. M. 2001. Forest fire histories in the sky islands of La Frontera. En G. L. Webster and C. J. Bahre (eds). *Changing Plant Life of La Frontera: Observations on Vegetation in the United States/Mexico Borderlands*. University of New Mexico Press, Albuquerque, pp 95-123.
- Swetnam, T.W. and C.H. Baisan. 2003. Tree-ring reconstruction of fire and climate history in the Sierra Nevada and southwestern United States. In fire and climatic change temperate ecosystems of the western Americas. Edited by T.T. Veblen, W.L. Baker, G. Montenegro, and T.W. Swetnam. Springer-Verlag, New York. pp. 158-195.
- Therrell, M.D., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland, and J. Villanueva-Diaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107 (D14): ACL 6-1 –ACL 6-8.
- Therrell, M.D., D. W. Stahle, J. Villanueva D., E. Cornejo O., M.K. Cleaveland. 2006. Tree-ring reconstructed maize yield in central Mexico: 1474-2001. *Climatic Change* 74: 493-504.
- Trenberth, K.E. 1997. The definition of El Niño, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78. 2771-2777.
- Vélez, M.R. 2000. Perspectiva Global: El fuego en los ecosistemas forestales del mundo, En: Vélez M. R. (Ed.). *La defensa contra incendios forestales, Fundamentos y Experiencias*. Mc-GRAW Hill/ Interamericana de España, S.A.U., Aracava Madrid, pp. 2.1-2.11.
- Villanueva-Díaz, J. and G.R. McPherson. 1995. Forest stand structure in mountains of Sonora, México and New México, USA. In : DeBano, L.F., P.E. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre, and C.E. Edminster (tech. Coord.). *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico*. USDA-Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264. Pp. 416-423.

- Villanueva-Díaz, J. y G.R. McPherson. 1996. Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New Mexico, USA and Sonora, Mexico. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*. Hydrology Section, Arizona-Nevada Academy of Science 26: 45 – 54.
- Villanueva-Díaz, J. y G.R. McPherson. 1999. Estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del Norte de México. *Ciencia Forestal en México* 24(86): 37-61.
- Villanueva, D.J., J. Cerano-Paredes, D.W. Stahle, M.D. Therrell, y M.K. Cleaveland. 2003. Cronologías de anillos de árboles del norte de México y su potencial hidroclimático. XII Congreso Nacional de Irrigación (ANEI). Zacatecas, Zac. Mex. 13 al 15 de Agosto.
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano-Paredes, D.W. Stahle, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland, B.H. Luckman. 2005. Estudios paleoclimáticos en México utilizando anillos de crecimiento de especies arbóreas. Capítulo I. Libro Técnico Núm.1. Contribución al estudio de los servicios ambientales. SAGARPA, INIFAP. Pp. 7-32.
- Villanueva Díaz, J., J. Cerano Paredes., D.W. Stahle, M.D. Therrell, L. Vázquez Selem, R. Morán Martínez y B.H. Luckman. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México: Importancia ecológica y paleoclimática. Folleto Científico No. 20. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 46 pp.
- Villanueva-Díaz, J, D.W. Stahle, B.H. Luckman, J. Cerano-Paredes, M.D. Therrell y M.K. Cleaveland. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climate Change* 83:117-131.
- White, P.S. and Pickett S.T.A. 1985. Natural disturbance and patch dynamics an introduction, definitions of patch dynamics, perturbation and disturbance. En: Pickett S.T.A. y White P.S. (Eds.). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, Nueva York, EUA, pp. 4-13.
- World Meteorological Organization. Junio 1998. *World Climate News*. El Niño and climate change. **13**.
- Wright, C. S. 1996. Fire History of the Teanaway River Drainage, Washington. *Tesis de Maestría*. University of Washington, Seattle, Washington, EUA. 187 pp.

ANEXOS

Cuadro 5. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de anillo total de *Pseudotsuga menziesii*, Cerro Mohinora, Chihuahua. MOHRW Clave del sitio, (MOH) Viga y (RW) Anillo Total.

MOHRW Std: Mohinora, Chihuahua											[Estándar]
MOHRWS1657990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0 587	1 793	1 907	1
MOHRWS1660 952	1 886	1 627	1 863	1 784	11038	11068	1 997	11053	11001	11001	1
MOHRWS16701037	11393	1 772	1 677	11224	11253	11515	21620	21261	2 921	2 921	2
MOHRWS16801273	21477	21354	21218	21033	2 766	21176	21134	21019	21079	21079	2
MOHRWS16901195	21005	21116	21097	2 997	21014	2 756	2 993	2 810	2 661	2 661	2
MOHRWS1700 857	2 786	2 666	2 671	2 698	2 608	3 741	4 814	4 947	4 804	4 804	4
MOHRWS17101075	4 879	4 904	4 971	41235	4 949	4 855	41147	41130	41126	41126	4
MOHRWS17201086	4 929	4 927	41060	51088	61038	61277	61228	61101	6 847	6 847	6
MOHRWS1730 898	71224	71195	7 996	7 926	7 983	71125	71263	81040	81077	81077	10
MOHRWS1740 918	10 975	101091	10 891	101131	101069	101144	101092	10 890	101123	101123	11
MOHRWS17501158	121054	14 898	15 959	15 916	15 813	15 979	15 923	15 961	151059	151059	15
MOHRWS17601060	151012	151118	16 888	16 894	16 987	16 996	16 956	17 942	171076	171076	17
MOHRWS17701150	171043	17 885	18 935	181166	191086	191125	19 997	221107	221074	221074	22
MOHRWS17801060	221098	231006	231214	231045	23 753	23 975	23 818	23 965	23 924	23 924	24
MOHRWS1790 831	251117	251120	251056	251174	251043	251115	251065	25 776	26 692	26 692	26
MOHRWS1800 867	26 879	26 995	261081	261016	26 901	261002	281092	29 981	301210	301210	31
MOHRWS18101060	331084	33 995	331099	341060	341235	351147	351122	351012	36 845	36 845	36
MOHRWS1820 699	37 843	37 840	37 991	37 943	37 862	37 704	37 987	37 986	371024	371024	37
MOHRWS18301018	40 876	411036	411175	411090	431053	431143	431060	431019	43 993	43 993	43
MOHRWS1840 933	43 911	43 949	431041	431030	43 929	43 945	44 947	44 962	44 941	44 941	44
MOHRWS18501016	471001	481079	48 985	49 875	49 994	491179	491001	491011	49 913	49 913	49
MOHRWS1860 704	49 981	49 948	50 956	50 931	50 962	50 842	51 952	51 964	511125	511125	51
MOHRWS18701014	51 965	51 998	511093	511120	511098	531126	531167	531010	53 981	53 981	53
MOHRWS1880 880	531047	53 963	53 991	531185	531127	531072	53 921	531175	531143	531143	53
MOHRWS1890 812	53 980	53 812	53 582	53 952	531037	531016	531008	53 991	531007	531007	53
MOHRWS19001087	53 996	53 905	531795	53 971	531057	52 832	52 530	52 651	52 703	52 703	52
MOHRWS1910 973	521133	511162	511230	511021	51 974	51 994	491125	49 965	491110	491110	49
MOHRWS19201263	491007	49 890	49 999	491063	49 727	491159	47 994	471046	46 920	46 920	46
MOHRWS1930 913	46 938	45 801	45 889	45 787	45 937	45 962	44 850	44 987	44 989	44 989	44
MOHRWS19401086	441113	441094	44 900	441190	43 940	43 882	431209	431059	431045	431045	43
MOHRWS1950 974	43 966	411192	411113	40 950	401136	401017	401104	391157	381082	381082	38
MOHRWS1960 949	38 972	371039	371021	371221	371087	371156	371118	371327	371051	371051	37
MOHRWS19701057	37 757	37 818	37 943	37 698	37 931	361037	361132	361140	361169	361169	36
MOHRWS1980 836	361195	36 844	361038	341092	341089	34 762	341079	34 818	341022	341022	34
MOHRWS19901040	341070	341152	341029	34 932	34 924	34 739	331316	33 877	33 629	33 629	33
MOHRWS2000 645	33 979	32 778	32 870	32 933	32 873	329990	09990	09990	09990	09990	0
											[Residual]
MOHRWR16629990	09990	0 652	1 889	1 824	11101	11106	11025	11050	1 990	1 990	1
MOHRWR16701031	11383	1 755	1 655	11195	11280	11437	11810	11385	1 902	1 902	1
MOHRWR16801115	11280	11237	21111	2 933	2 678	21094	21069	2 981	21047	21047	2
MOHRWR16901181	21010	21099	21071	2 978	2 989	2 728	2 990	2 825	2 703	2 703	2
MOHRWR1700 909	2 851	2 754	2 754	2 796	2 631	2 901	2 920	31059	4 860	4 860	4
MOHRWR17101111	4 943	4 871	4 970	41199	4 880	4 858	41146	41089	41126	41126	4
MOHRWR17201077	4 856	4 895	4 972	41034	4 963	61171	61149	61036	6 761	6 761	6
MOHRWR1730 818	61159	61090	6 885	7 808	7 947	71087	71233	7 954	71067	71067	7
MOHRWR1740 946	10 986	101058	10 860	101148	101029	101040	101009	10 845	101142	101142	10
MOHRWR17501177	101133	12 905	14 923	15 921	15 857	151011	15 972	151035	151115	151115	15
MOHRWR17601078	151024	151096	15 896	15 921	151007	151019	16 979	16 983	171112	171112	17
MOHRWR17701154	171009	17 900	17 982	171178	181054	181072	19 984	191103	211041	211041	22
MOHRWR17801018	221064	22 986	231225	231041	23 723	23 946	23 863	231048	23 956	23 956	23
MOHRWR1790 853	241141	251124	251025	251149	25 998	251092	251070	25 746	25 754	25 754	26
MOHRWR1800 966	26 943	261059	261087	261007	26 885	261016	261092	27 944	291158	291158	30
MOHRWR1810 961	311023	33 928	331084	331010	341181	341047	351040	35 944	35 816	35 816	36
MOHRWR1820 745	36 938	37 934	371063	37 974	37 899	37 763	371093	371030	371046	371046	37
MOHRWR18301021	37 903	381103	411177	411050	411007	411091	421018	43 978	43 989	43 989	43

MOHRWR1840	931	43	933	43	981	431060	431028	43	922	43	970	43	976	44	994	44	958	44
MOHRWR18501030	441015	461084	47	959	48	869	481030	481195	48	959	491007	49	896	49				
MOHRWR1860	738	491085	49	982	49	994	49	954	501000	50	866	501010	51	996	511147	51		
MOHRWR1870	986	51	961	51	995	511096	511107	511067	511076	531112	53	931	53	963	53			
MOHRWR1880	877	531084	53	959	531013	531194	531071	531020	53	876	531190	531087	53					
MOHRWR1890	763	531002	53	816	53	646	531092	531076	531054	531001	53	987	531000	53				
MOHRWR19001087	53	960	53	894	531787	53	720	531014	52	776	52	581	52	792	52	849	52	
MOHRWR19101111	521179	511145	511176	51	937	51	938	51	990	491138	49	919	491107	49				
MOHRWR19201204	49	905	49	847	491023	491087	49	739	491234	47	948	471054	46	897	46			
MOHRWR1930	929	46	981	45	850	45	975	45	851	451035	451010	44	881	441040	441010	44		
MOHRWR19401102	441101	441051	44	852	441200	43	892	43	905	431239	431013	431029	43					
MOHRWR1950	954	43	961	411189	411047	40	902	401123	40	960	401097	391114	381032	38				
MOHRWR1960	896	38	968	371051	371010	371215	371018	371113	371050	371254	37	934	37					
MOHRWR1970	995	37	712	37	878	371020	37	753	371026	361078	361155	361102	361097	36				
MOHRWR1980	758	361195	36	798	361062	341076	341069	34	754	341126	34	834	341093	34				
MOHRWR19901063	341068	341126	34	971	34	904	34	904	34	752	331383	33	842	33	652	33		
MOHRWR2000	752	331098	32	852	32	969	32	993	32	899	329990	09990	09990	09990	0			

[Arstan]

MOHRWA1660	907	1	952	1	631	1	796	1	737	11017	11083	11047	11070	11012	1					
MOHRWA16701041	11394	1	854	1	660	11099	11269	11512	11961	11670	11162	1								
MOHRWA16801222	11350	11344	21230	21024	2	708	21026	21045	2	994	21050	2								
MOHRWA16901192	21061	21133	21110	21018	21004	2	731	2	926	2	780	2	642	2						
MOHRWA1700	800	2	766	2	677	2	652	2	679	2	518	2	751	2	811	3	988	4	838	4
MOHRWA17101070	4	943	4	865	4	931	41168	4	913	4	854	41102	41099	41160	4					
MOHRWA17201126	4	903	4	885	4	934	41006	4	958	61161	61184	61097	6	803	6					
MOHRWA1730	780	61086	61089	6	915	7	797	7	890	71040	71231	71014	71094	7						
MOHRWA1740	970	10	988	101052	10	871	101122	101045	101064	101029	10	859	101111	10						
MOHRWA17501189	101190	12	970	14	935	15	902	15	826	15	959	15	944	151018	151113	15				
MOHRWA17601107	151061	151121	15	931	15	917	15	980	151006	16	979	16	979	171105	17					
MOHRWA17701177	171063	17	933	17	972	171164	181090	181110	191019	191119	211072	22								
MOHRWA17801048	221083	221011	231236	231099	23	771	23	901	23	816	23	993	23	935	23					
MOHRWA1790	836	241095	251130	251066	251178	251047	251122	251104	25	784	25	713	26							
MOHRWA1800	875	26	884	261018	261080	261028	26	900	26	995	261080	27	962	291157	30					
MOHRWA1810	995	311038	33	936	331072	331021	341193	341096	351083	35	974	35	818	36						
MOHRWA1820	699	36	847	37	867	371015	37	964	37	892	37	733	371018	371007	371049	37				
MOHRWA18301033	37	916	381087	411189	411105	411052	411114	421051	431002	43	994	43								
MOHRWA1840	930	43	915	43	953	431040	431033	43	934	43	957	43	959	44	979	44	949	44		
MOHRWA18501016	441014	461089	47	982	48	874	48	998	481182	481003	491026	49	902	49						
MOHRWA1860	717	491007	49	954	49	984	49	945	50	986	50	857	50	974	51	975	511138	51		
MOHRWA18701016	51	979	51	992	511092	511129	511107	511115	531151	53	980	53	974	53						
MOHRWA1880	869	531050	53	957	531008	531191	531118	531068	53	904	531174	531119	53							
MOHRWA1890	810	53	969	53	789	53	592	53	972	531027	531058	531018	53	997	531001	53				
MOHRWA19001087	53	981	53	898	531761	53	893	531066	52	781	52	535	52	658	52	719	52			
MOHRWA19101008	521152	511182	511236	511013	51	965	51	983	491130	49	949	491108	49							
MOHRWA19201225	49	970	49	863	49	987	491070	49	755	491182	47	966	471064	46	909	46				
MOHRWA1930	913	46	951	45	829	45	929	45	816	45	983	45	987	44	876	441008	441000	44		
MOHRWA19401103	441126	441092	44	887	441183	43	925	43	906	431209	431054	431064	43							
MOHRWA1950	975	43	961	411177	411086	40	940	401117	40	982	401105	391138	381076	38						
MOHRWA1960	929	38	959	371034	371014	371221	371073	371153	371095	371293	371014	37								
MOHRWA19701029	37	720	37	813	37	946	37	721	37	954	361039	361159	361145	361149	36					
MOHRWA1980	809	361164	36	818	361035	341066	341089	34	782	341082	34	831	341061	34						
MOHRWA19901061	341089	341153	341017	34	924	34	888	34	717	331303	33	886	33	656	33					
MOHRWA2000	658	33	980	32	812	32	921	32	955	32	880	329990	09990	09990	09990	0				

Cuadro 6. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de madera temprana de *Psedotsuga menziesii*, Cerro Mohinora, Chihuahua. MOHEW Clave del sitio, (MOH) Mohinora y (EW) Madera Temprana.

MOHEW Std: Mohinora, Chihuahua										[Estándar]	
MOHEWS16579990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0 579	1 790	1 924	1
MOHEWS1660 956	1 917	1 634	1 823	1 758	11096	11091	1 971	11041	1 971	1	1
MOHEWS1670 978	11454	1 752	1 681	11239	11319	11576	21720	21306	2 802	2	2
MOHEWS16801317	21508	21368	21242	21001	2 764	21182	21157	21032	21109	2	2
MOHEWS16901163	21021	21131	21128	2 997	21032	2 747	21055	2 727	2 562	2	2
MOHEWS1700 840	2 811	2 610	2 650	2 714	2 607	3 780	4 852	4 956	4 845	4	4
MOHEWS17101132	4 821	4 936	4 860	41266	4 958	4 761	41118	41076	41091	4	4
MOHEWS17201055	4 862	4 949	4 942	5 910	61052	61294	61242	61106	6 833	6	6
MOHEWS1730 886	71264	71190	71017	7 941	7 968	71137	71302	81082	81045	10	10
MOHEWS1740 914	10 940	101074	10 880	101162	101087	101117	101112	10 882	101115	11	11
MOHEWS17501167	121038	14 888	15 966	15 901	15 805	151018	15 936	15 926	151068	15	15
MOHEWS17601009	151014	151153	16 827	16 901	16 995	161006	16 951	17 939	171104	17	17
MOHEWS17701151	171044	17 862	18 932	181153	191072	191167	191000	221125	221088	22	22
MOHEWS17801081	221124	23 988	231229	231051	23 741	23 952	23 808	23 982	23 924	24	24
MOHEWS1790 818	251143	251130	251059	251208	251032	251143	251125	25 758	26 688	26	26
MOHEWS1800 865	26 852	261013	261057	261016	26 850	26 994	281130	29 993	301255	31	31
MOHEWS18101105	331093	331014	331124	341066	341287	351202	351154	351037	36 833	36	36
MOHEWS1820 672	37 848	37 852	37 999	37 950	37 864	37 676	37 996	37 971	371060	37	37
MOHEWS18301045	40 878	411040	411206	411077	431037	431165	431103	431032	431012	43	43
MOHEWS1840 921	43 873	43 977	431054	431068	43 951	43 984	44 963	44 969	44 926	44	44
MOHEWS18501018	471003	481097	48 978	49 838	49 959	491210	49 969	491027	49 914	49	49
MOHEWS1860 697	49 974	49 910	50 981	50 931	50 981	50 820	51 945	51 924	511126	51	51
MOHEWS1870 977	51 933	51 976	511074	511133	511089	531110	531178	53 985	53 938	53	53
MOHEWS1880 842	531051	53 962	531008	531179	531137	531054	53 855	531201	531153	53	53
MOHEWS1890 762	53 980	53 767	53 540	53 963	531052	53 991	531017	53 977	531001	53	53
MOHEWS19001070	53 986	53 845	531873	53 966	531067	52 829	52 508	52 620	52 667	52	52
MOHEWS1910 953	521135	511179	511255	511026	51 990	51 957	491162	49 954	491141	49	49
MOHEWS19201261	491000	49 855	491040	491067	49 703	491210	47 996	471075	46 893	46	46
MOHEWS1930 941	46 945	45 793	45 880	45 744	45 957	45 940	44 839	44 960	44 967	44	44
MOHEWS19401079	441120	441079	44 882	441195	43 898	43 871	431223	431064	431041	43	43
MOHEWS1950 963	43 953	411214	411101	40 958	401143	401035	401105	391194	381071	38	38
MOHEWS1960 946	38 979	371047	371020	371244	371110	371171	371131	371343	371059	37	37
MOHEWS19701073	37 737	37 830	37 968	37 680	37 944	361062	361157	361154	361231	36	36
MOHEWS1980 814	361228	36 826	361057	341103	341097	34 761	341084	34 820	341015	34	34
MOHEWS19901092	341034	341202	341021	34 921	34 907	34 690	331359	33 877	33 586	33	33
MOHEWS2000 611	331028	32 756	32 862	32 913	32 855	329990	09990	09990	09990	0	0
										[Residual]	
MOHEWR16619990	0 931	1 638	1 822	1 776	11115	11114	1 976	11032	1 965	1	1
MOHEWR1670 972	11451	1 757	1 652	11226	11341	11425	11960	11280	2 746	2	2
MOHEWR16801260	21505	21339	21177	2 934	2 715	21170	21180	21034	21096	2	2
MOHEWR16901154	21009	21111	21115	2 982	21021	2 745	21055	2 750	2 576	2	2
MOHEWR1700 871	2 865	2 654	2 690	2 771	2 581	2 835	2 920	31009	4 858	4	4
MOHEWR17101079	4 845	4 872	4 795	41210	4 915	4 740	41127	41068	41117	4	4
MOHEWR17201083	4 766	4 933	4 913	41004	41019	51184	61187	61059	6 748	6	6
MOHEWR1730 810	61098	61075	7 926	7 843	7 935	71102	71289	71027	71026	7	7
MOHEWR1740 931	10 952	101026	10 863	101179	101046	101040	101028	10 817	101110	10	10
MOHEWR17501183	101144	11 899	14 949	14 890	14 850	151003	15 980	15 991	151115	15	15
MOHEWR17601039	151040	151133	15 856	15 938	161014	161055	16 984	16 968	171136	17	17
MOHEWR17701146	171014	17 866	17 954	171167	181052	181135	191003	191119	221055	22	22
MOHEWR17801036	221090	22 968	231234	231049	23 719	23 953	23 853	231073	23 966	23	23
MOHEWR1790 847	241160	251125	251029	251181	25 982	251114	251118	25 726	25 732	26	26
MOHEWR1800 936	26 902	261080	261064	261014	26 845	26 999	261129	27 942	291212	29	29
MOHEWR18101005	311011	33 931	331091	331007	341223	341095	351063	35 958	35 789	36	36
MOHEWR1820 701	36 937	37 938	371064	37 983	37 898	37 727	371097	371018	371092	37	37
MOHEWR18301039	37 907	381099	401211	401041	41 989	411115	421065	43 979	43 996	43	43
MOHEWR1840 912	43 895	431014	431066	431066	43 936	43 994	43 967	43 993	44 945	44	44
MOHEWR18501034	441012	461108	47 956	48 833	481001	481237	48 942	491026	49 895	49	49
MOHEWR1860 729	491071	49 955	491023	49 953	501017	50 840	501001	51 957	511151	51	51
MOHEWR1870 957	51 939	51 983	511088	511126	511057	511063	531129	53 915	53 920	53	53
MOHEWR1880 847	531093	53 964	531028	531186	531094	531004	53 814	531228	531112	53	53

MOHEWR1890	733	531002	53	781	53	608	531095	531104	531031	531017	53	948	53	993	53
MOHEWR1900	1067	53	962	53	839	531873	53	733	531022	52	775	52	556	52	749
MOHEWR1910	1087	521193	511160	511210	51	938	51	948	51	953	491180	49	918	491135	49
MOHEWR1920	1213	49	919	49	818	491065	491083	49	715	491278	47	958	471080	46	874
MOHEWR1930	955	46	977	45	837	45	955	45	807	451054	45	987	44	877	441010
MOHEWR1940	1101	441118	441045	44	843	441207	43	869	43	904	431256	431029	431019	43	
MOHEWR1950	942	43	945	411219	411040	40	911	401123	40	979	401087	391158	381023	38	
MOHEWR1960	896	38	971	371054	371011	371239	371048	371130	371057	371287	37	952	37		
MOHEWR1970	1004	37	688	37	878	371040	37	730	371029	361101	361166	361109	361153	36	
MOHEWR1980	726	361212	36	777	361070	341094	341077	34	760	341125	34	840	341073	34	
MOHEWR1990	1123	341028	341165	34	962	34	892	34	900	34	712	331442	33	852	
MOHEWR2000	697	331167	32	830	32	965	32	969	32	884	329990	09990	09990	09990	

[Arstan]

MOHEWA16599990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0	924	1			
MOHEWA1660	956	1	915	1	617	1	740	1	688	11029	11089	1	997			
MOHEWA1670	971	11442	1	840	1	665	11145	11337	11505	12091	11542	2	958			
MOHEWA1680	1305	21560	21478	21324	21044	2	756	21127	21180	21082	21130	2				
MOHEWA1690	1187	21058	21140	21148	21025	21040	2	755	21011	2	728	2	525			
MOHEWA1700	752	2	770	2	585	2	587	2	650	2	472	2	698			
MOHEWA1710	1040	4	836	4	844	4	748	41146	4	918	4	739	41069			
MOHEWA1720	1115	4	802	4	905	4	875	4	970	41001	51181	61222	61119			
MOHEWA1730	782	61035	61060	7	941	7	837	7	898	71066	71292	71091	71072			
MOHEWA1740	953	10	950	101012	10	860	101153	101062	101067	101047	10	833	101082			
MOHEWA1750	1183	101188	11	954	14	958	14	878	14	823	15	956	15	954		
MOHEWA1760	1057	151062	151151	15	891	15	932	16	990	161046	16	992	16	971		
MOHEWA1770	1168	171060	17	894	17	939	171145	181074	181163	191042	191143	221087	22			
MOHEWA1780	1067	221112	22	996	231244	231097	23	761	23	916	23	813	231029			
MOHEWA1790	841	241125	251134	251067	251207	251028	251140	251148	25	768	25	701	26			
MOHEWA1800	855	26	844	261035	261056	261028	26	856	26	974	261109	27	961			
MOHEWA1810	1043	311041	33	943	331084	331018	341235	341142	351113	35	994	35	799			
MOHEWA1820	661	36	851	37	876	371025	37	976	37	896	37	705	371029			
MOHEWA1830	1057	37	928	381090	401221	401093	411028	411130	421093	431009	431007	43				
MOHEWA1840	914	43	879	43	982	431051	431074	43	955	43	992	43	961			
MOHEWA1850	1020	441010	461112	47	979	48	840	48	967	481215	48	980	491043			
MOHEWA1860	714	491006	49	928	491010	49	948	501008	50	836	50	970	51	935		
MOHEWA1870	977	51	948	51	971	511077	511138	511091	511094	531156	53	954	53	926		
MOHEWA1880	828	531053	53	957	531025	531187	531133	531049	53	837	531202	531135	53			
MOHEWA1890	779	53	972	53	754	53	557	53	985	531058	531041	531030	53	958		
MOHEWA1900	1061	53	973	53	839	531839	53	880	531081	52	779	52	521	52	635	
MOHEWA1910	992	521161	511190	511262	511008	51	976	51	949	491168	49	946	491141	49		
MOHEWA1920	1235	49	979	49	837	491031	491073	49	732	491233	47	977	471099	46	891	
MOHEWA1930	944	46	955	45	822	45	916	45	773	451002	45	965	44	870	44	982
MOHEWA1940	1095	441134	441081	44	872	441190	43	893	43	902	431227	431064	431054	43		
MOHEWA1950	959	43	943	411204	411074	40	946	401120	40	997	401098	391176	381067	38		
MOHEWA1960	926	38	963	371040	371015	371246	371097	371173	371100	371323	371025	37				
MOHEWA1970	1040	37	698	37	824	37	976	37	708	37	970	361067	361176	361150	361199	
MOHEWA1980	779	361188	36	792	361048	341083	341098	34	787	341093	34	838	341051	34		
MOHEWA1990	1117	341056	341187	341004	34	911	34	883	34	680	331368	33	892	33	611	
MOHEWA2000	611	331053	32	803	32	932	32	936	32	865	329990	09990	09990	09990	0	

Cuadro 7. Índices de ancho de anillo para las cronologías Estándar (S), Residual (R) y Arstan (A), de madera tardía de *Pseudotsuga menziesii*, Cerro Mohinora, Chihuahua. MOHLW Clave del sitio, (VIG) Viga y (LW) Madera Tardía.

MOHLW Std: Mohinora, Chihuahua											[Estándar]		
MOHLWS16579990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0 675	1 842	1 797	1		
MOHLWS1660 942	1 663	1 591	11191	11004	1 624	1 916	11211	11165	11245	1			
MOHLWS16701493	1 984	1 936	1 668	11146	1 823	11142	2 991	2 994	21697	2			
MOHLWS16801027	21306	21295	21093	21249	2 810	21159	21016	2 966	2 925	2			
MOHLWS16901401	2 935	21062	2 951	21019	2 942	2 833	2 684	21271	21204	2			
MOHLWS1700 969	2 679	2 972	2 797	2 640	2 549	3 594	4 612	4 816	4 700	4			
MOHLWS1710 894	41072	4 616	41030	4 988	4 839	41312	41239	41298	41123	4			
MOHLWS17201189	41274	4 977	41549	51236	6 982	61271	61137	6 919	6 980	6			
MOHLWS17301009	7 959	71201	7 929	7 900	71065	71101	71126	8 876	81059	10			
MOHLWS17401016	101083	101044	10 947	10 989	10 962	101069	101032	10 935	101127	11			
MOHLWS17501015	12 982	14 856	15 750	15 837	15 806	15 738	15 774	151092	151007	15			
MOHLWS17601188	15 984	15 912	161089	16 917	161051	16 954	16 947	17 955	171016	17			
MOHLWS17701073	171036	171034	181036	181185	191120	19 951	191019	221034	221006	22			
MOHLWS1780 946	22 954	231078	231078	231071	23 862	23 896	23 936	23 954	23 952	24			
MOHLWS1790 917	251014	251150	251062	251009	251144	251088	25 992	25 926	26 761	26			
MOHLWS1800 954	261052	26 990	261213	261080	261106	261122	281060	291058	301035	31			
MOHLWS1810 905	331092	331007	331037	341112	341028	35 953	351041	35 946	36 944	36			
MOHLWS1820 875	37 900	37 876	371012	37 970	37 954	37 931	371011	371137	37 905	37			
MOHLWS1830 954	40 962	411068	411081	411145	431116	431073	43 896	43 989	43 943	43			
MOHLWS1840 993	431094	43 882	43 993	43 876	43 861	43 788	44 950	44 950	44 991	44			
MOHLWS18501019	471030	481010	481028	491055	491120	491022	491140	49 942	49 899	49			
MOHLWS1860 745	491007	491073	50 852	50 928	50 872	50 938	51 959	511136	511103	51			
MOHLWS18701145	511060	511075	511136	511041	511138	531157	531088	531071	531130	53			
MOHLWS18801011	53 992	53 927	53 887	531140	531008	531117	531179	531031	531065	53			
MOHLWS1890 969	53 948	53 982	53 805	53 915	53 934	531109	53 951	531085	53 988	53			
MOHLWS19001140	531005	531150	531255	53 962	53 914	52 841	52 651	52 802	52 800	52			
MOHLWS19101004	521082	511058	511070	511003	51 915	511145	49 943	49 980	491005	49			
MOHLWS19201244	491033	491025	49 822	491038	49 891	49 935	471003	47 921	461031	46			
MOHLWS1930 777	46 901	45 849	45 968	45 993	45 855	451060	44 916	441127	441094	44			
MOHLWS19401126	441062	441151	441006	441136	431153	43 956	431124	431038	431077	43			
MOHLWS19501049	431036	411061	411152	40 916	401114	40 931	401092	391004	381100	38			
MOHLWS1960 988	38 967	371036	371015	371117	37 993	371058	371100	371171	371007	37			
MOHLWS1970 982	37 874	37 787	37 875	37 815	37 912	36 948	361040	361150	36 888	36			
MOHLWS1980 979	361064	361020	36 985	341029	341080	34 817	341047	34 847	341060	34			
MOHLWS1990 819	341209	34 950	341077	341029	341075	341011	331141	33 893	33 850	33			
MOHLWS2000 805	33 772	32 858	32 893	32 934	32 903	329990	09990	09990	09990	0			
											[Residual]		
MOHLWR16629990	09990	0 696	11339	11112	1 681	1 981	11279	11206	11232	1			
MOHLWR16701411	1 830	1 793	1 584	11157	1 872	11459	11026	11126	11048	1			
MOHLWR16801188	11252	21134	2 960	21086	2 697	21069	2 952	2 950	2 913	2			
MOHLWR16901418	2 908	21016	2 896	2 973	2 921	2 840	2 724	21362	21269	2			
MOHLWR1700 981	2 648	2 969	2 807	2 702	2 637	2 934	2 976	21324	2 884	4			
MOHLWR17101026	41157	4 757	41170	41043	4 845	41214	41037	41153	41018	4			
MOHLWR17201021	41218	4 886	41285	41304	4 872	61203	61052	6 907	6 885	6			
MOHLWR1730 933	6 877	61177	7 888	7 847	71088	71152	71153	7 885	71155	8			
MOHLWR1740 995	81044	10 993	10 879	10 957	10 985	101077	10 943	10 921	101196	10			
MOHLWR17501101	111001	11 970	12 756	12 923	14 914	14 839	15 901	151226	151039	15			
MOHLWR17601138	15 872	15 864	151137	15 913	161060	16 969	16 952	16 981	171054	17			
MOHLWR17701139	17 998	171014	171017	171170	181056	18 855	18 977	191036	191007	22			
MOHLWR1780 929	22 965	221099	221084	231040	23 816	23 905	23 946	23 992	231026	23			
MOHLWR1790 813	23 996	241152	25 979	25 944	251087	251012	25 935	25 968	25 794	25			
MOHLWR18001033	261131	26 986	261198	261010	261033	261055	261012	261017	28 997	29			
MOHLWR1810 865	301084	311005	331030	331080	34 962	34 930	341041	35 942	35 955	35			
MOHLWR1820 915	36 947	36 903	361031	361000	37 975	37 940	371040	371153	37 871	37			
MOHLWR1830 956	37 998	371087	401061	411124	411094	421007	42 828	43 981	43 996	43			
MOHLWR1840 991	431108	43 853	43 985	43 898	43 900	43 860	431053	441006	441015	44			
MOHLWR18501016	441002	45 995	461024	481043	481094	48 971	481091	49 915	49 893	49			
MOHLWR1860 788	491084	491142	49 836	49 939	50 918	50 996	501017	501153	511094	51			
MOHLWR18701097	511018	511025	511091	51 991	511088	511100	521000	53 997	531084	53			

MOHLWR1880	967	53	949	53	929	53	915	531185	531006	531066	531133	53	947	531015	53			
MOHLWR1890	943	53	935	53	990	53	813	53	970	53	992	531161	53	942	531092	53	994	53
MOHLWR1900	1094	53	963	531108	531193	53	870	53	859	52	858	52	720	52	919	52	975	52
MOHLWR1910	1107	521118	511047	511029	51	979	51	900	511169	49	919	49	950	491018	49			
MOHLWR1920	1244	49	972	49	958	49	806	491058	49	915	49	962	471020	47	927	461045	46	
MOHLWR1930	787	46	941	45	919	451031	451046	45	872	451101	44	931	441120	441086	44			
MOHLWR1940	1076	441024	441102	44	947	441094	431100	43	873	431103	431023	431030	43					
MOHLWR1950	1007	431009	411061	411110	40	871	401093	40	903	401073	39	981	381101	38				
MOHLWR1960	947	38	920	371031	371021	371093	37	970	371030	371099	371137	37	944	37				
MOHLWR1970	932	37	855	37	803	37	935	37	898	371001	361020	361089	361164	36	843	36		
MOHLWR1980	934	361078	361022	36	971	341009	341075	34	796	341063	34	871	341078	34				
MOHLWR1990	837	341230	34	967	341017	341006	341025	34	988	331077	33	866	33	838	33			
MOHLWR2000	848	33	837	32	969	32	935	32	956	32	945	329990	09990	09990	09990	0		

[Arstan]

MOHLWA16589990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	09990	0	842	1	797	1						
MOHLWA1660	942	1	663	1	627	11142	11058	1	833	1	981	11189	11264	11394	1				
MOHLWA1670	1594	11082	1	961	1	487	1	932	1	656	11411	11069	11351	11152	1				
MOHLWA1680	1308	11340	21283	21108	21146	2	704	21001	2	811	2	922	2	852	2				
MOHLWA1690	1373	2	982	21179	2	905	2	978	2	858	2	787	2	627	21202	21224	2		
MOHLWA1700	1187	2	798	2	936	2	665	2	594	2	432	2	679	2	763	21255	2	964	4
MOHLWA1710	1178	41185	4	850	41181	4	992	4	910	41180	41032	41242	41082	4					
MOHLWA1720	1111	41245	4	956	41343	41336	41070	61310	61081	61000	6	869	6						
MOHLWA1730	854	6	780	61080	7	859	7	884	71018	71122	71222	71001	71222	8					
MOHLWA1740	1012	81107	10	998	10	894	10	913	10	910	101033	10	940	10	939	101163	10		
MOHLWA1750	1125	111110	111033	12	773	12	847	14	772	14	746	15	791	151120	151049	15			
MOHLWA1760	1251	15	964	15	930	151068	15	882	161067	16	941	16	970	16	955	171031	17		
MOHLWA1770	1141	171056	171083	171039	171190	181104	18	940	18	972	19	972	19	985	22				
MOHLWA1780	924	22	946	221061	221091	231102	23	876	23	893	23	848	23	915	23	973	23		
MOHLWA1790	804	23	961	241080	251014	251004	251088	251026	25	973	25	959	25	760	25				
MOHLWA1800	955	261036	261013	261247	261080	261142	261091	261053	261039	281000	29								
MOHLWA1810	864	301037	31	958	331050	331088	341005	34	963	341017	35	922	35	945	35				
MOHLWA1820	873	36	900	36	844	36	974	36	960	37	985	37	941	371027	371144	37	929	37	
MOHLWA1830	994	37	948	371064	401067	411173	411163	421100	42	888	43	950	43	910	43				
MOHLWA1840	952	431079	43	873	43	997	43	844	43	865	43	780	43	963	44	947	441030	44	
MOHLWA1850	1032	441033	451017	461034	481051	481115	481014	481128	49	934	49	910	49						
MOHLWA1860	722	49	970	491047	49	882	49	960	50	860	50	954	50	970	501149	511144	51		
MOHLWA1870	1201	511110	511096	511117	511022	511114	511114	521058	531038	531089	53								
MOHLWA1880	985	53	968	53	900	53	868	531118	531003	531139	531171	531031	531070	53					
MOHLWA1890	937	53	922	53	933	53	767	53	900	53	894	531132	53	975	531160	531022	53		
MOHLWA1900	1149	53	994	531142	531207	53	963	53	910	52	778	52	609	52	747	52	797	52	
MOHLWA1910	1030	521124	511144	511132	511050	51	932	511137	49	908	49	981	49	968	49				
MOHLWA1920	1225	491032	491057	49	808	491001	49	832	49	936	47	960	47	913	461033	46			
MOHLWA1930	775	46	910	45	815	45	973	451005	45	896	451098	44	920	441149	441095	44			
MOHLWA1940	1157	441091	441157	44	993	441123	431100	43	930	431107	43	998	431068	43					
MOHLWA1950	1019	431028	411067	411128	40	925	401110	40	880	401078	39	951	381120	38					
MOHLWA1960	964	38	954	37	995	37	993	371099	371000	371069	371106	371180	371023	37					
MOHLWA1970	986	37	825	37	729	37	796	37	765	37	914	36	963	361098	361212	36	951	36	
MOHLWA1980	993	361020	361007	36	987	341007	341069	34	818	341041	34	804	341057	34					
MOHLWA1990	793	341217	34	961	341109	341015	341051	34	998	331082	33	879	33	831	33				
MOHLWA2000	747	33	712	32	831	32	831	32	911	32	910	329990	09990	09990	09990	0			

VARIABILIDAD CLIMÁTICA, REGIMENES DE INCENDIOS E INFLUENCIA DE PATRONES CIRCULATORIOS PARA EL SUROESTE DE CHIHUAHUA

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Julián Cerano Paredes** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas estuvo constituido por:

CO-DIRECTOR: _____

Ph. D. Jesús G. Arreola Ávila

CO-DIRECTOR: _____

Ph.D. José Villanueva Díaz

ASESOR: _____

Ph.D. Ignacio Sánchez Cohen

ASESOR: _____

Dr. Ricardo Valdez Cepeda

ASESOR: _____

Dr. Gabriel García Herrera

VARIABILIDAD CLIMÁTICA, REGIMENES DE INCENDIOS E INFLUENCIA DE PATRONES CIRCULATORIOS PARA EL SUROESTE DE CHIHUAHUA

Tesis realizada por **Julián Cerano Paredes** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO

AMBIENTE EN ZONAS ARIDAS

CO-DIRECTOR: _____

Ph. D. Jesús G. Arreola Ávila

CO-DIRECTOR: _____

Ph. D. José Villanueva Díaz

ASESOR: _____

Ph. D. Ignacio Sánchez Cohen

ASESOR: _____

Dr. Ricardo Valdez Cepeda

ASESOR: _____

M.C. Gabriel García Herrera