

RECONSTRUCCIÓN DE INCENDIOS Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA PARA LA RESERVA CERRO EL MOHINORA, CHIHUAHUA

FIRE RECONSTRUCTION AND ITS RELATION TO WEATHER IN THE CERRO EL MOHINORA RESERVE, CHIHUAHUA

Julián Cerano Paredes ¹, José Villanueva DÍaz ¹ y Peter Z. Fulé ²

RESUMEN

El historial de regímenes de incendios de bosques de coníferas del estado de Chihuahua fue reconstruido con base en cicatrices de incendios registrados en la Reserva Cerro El Mohinora, localizada al suroeste del estado de Chihuahua. La importancia del área radica en la producción de agua que drena hacia la Planicie Costera del Pacífico, en Sinaloa; además de, constituir un hábitat de árboles relicto de *Picea chihuahuana*. En la reserva se colectaron secciones transversales con cicatrices de incendios de *Pinus duranguensis*, *P. arizonica* y *P. ayacahuite*; se fecharon 73 secciones transversales que contenían un total de 277 de dichas marcas. Los períodos de análisis de siniestros se extienden en la parte alta de la cuenca para los años de 1737 a 1999 y de 1902 a 1998 para la parte baja. Los de mayor incidencia de eventos reconstruidos para ambos sitios de la cuenca fueron 1945, 1971, 1988 y 1995. Los intervalos medios de frecuencia de incendios reconstruidos (MFI), al considerar el total de las muestras, variaron de 5.1 a 8.8 años y el intervalo medio de probabilidad de ocurrencia de incidencia (WMPI) fue de 3.8 a 6.0 años. Más de 80% de las conflagraciones se registraron en la estación de primavera. El SEA indicó que los años con este tipo de siniestros fueron significativamente secos ($p < 0.01$) y los años previos significativamente húmedos ($p < 0.05$). Se confirmó la asociación entre la presencia de sequías y la ocurrencia de incendios con eventos ENSO.

Palabras clave: Bosque de coníferas, dendrocronología, ENSO, reconstrucción climática, régimen de incendios, variabilidad climática.

ABSTRACT

A history of fire regime was reconstructed from conifers at the Cerro Mohinora preserve in southwestern Chihuahua, Mexico. This preserve constitutes an important source of water for the Sinaloa state in the Pacific Coastal Plane; in addition, the area is habitat for the relict Mexican spruce (*Picea Chihuahuana*). Fire-scarred cross-sections were obtained from *Pinus duranguensis*, *Pinus arizonica*, and *Pinus ayacahuite*. A total of 277 fire scars were dated out of 73 cross-sections. The fire chronology extended from 1737 to 1999 and from 1902 to 1998 for the upper and lower watershed sections, respectively. The fire years of 1945, 1971, 1988, and 1995 were common for the whole watershed. Mean fire return intervals (MFI) considering all the fire-scarred samples ranged from 5.1 to 8.8 years; whereas the mean probability of fire occurrence (WMPI) had a range from 3.8 to 6.0 years. Over 80% of the fires were recorded in the spring season. The Superposed epoch analysis (SEA) revealed that fire years were significantly dry ($p < 0.01$) and that previous years to the fire significantly wet ($p < 0.05$), this relationship is significantly related to the ENSO influence in this part of the country.

Key words: Conifer forest, dendrochronology, ENSO, climate variability, fire regime, climate reconstruction.

Fecha de recepción: 09 de septiembre de 2008.

Fecha de aceptación: 18 de marzo de 2010.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen uno de los factores de perturbación más comunes y extensos en los ecosistemas terrestres (Pyne *et al.*, 1996; Rodríguez, 1996). Arrasan con la madera, el hábitat de la fauna silvestre, contaminan el aire, intervienen en el cambio climático global, propician la erosión del suelo, afectan la belleza escénica y alteran el régimen hidrológico, entre muchos otros impactos ecológicos, económicos, sociales y políticos, tanto mediatos como a corto, mediano y largo plazo (Rodríguez, 1996).

En contraste, influyen a la mineralización de la materia orgánica; participan en diversos ciclos de nutrimentos y cuando el fuego es de baja intensidad puede promover el crecimiento de los árboles, gracias a la poda natural que propician y a la fertilización mediante cenizas. Favorece el mantenimiento de masas forestales comerciales, como los pinares, e incluso, junto con otros disturbios naturales, al afectar la sucesión, contribuyen con la permanencia de la biodiversidad en el planeta (Rodríguez, 1996).

Por la trascendencia de los incendios como factores de transformación de los ecosistemas forestales, el entendimiento de su papel ecológico constituye un elemento fundamental para el diseño de prácticas de manejo apropiadas para la conservación biológica y el manejo de bosques (Agee, 1993; Pyne *et al.*, 1996; Vélez, 2000; Jardel y Alvarado, 2003; Jardel *et al.*, 2004); por lo tanto, es necesario desarrollar estudios al respecto que cubran la diversidad de condiciones ambientales prevalecientes en el país (González- Cabán y Sandberg, 1989).

La ocurrencia y severidad de los incendios han sido muy variables en todos los ecosistemas forestales, pues están controladas por procesos ambientales que se miden a escalas de tiempo y espacio (Kaufmann *et al.*, 2000; Sherriff y Veblen, 2006). Estas variaciones se han asociado con el clima. Los incendios de alta intensidad se relacionan, generalmente, con años secos (Fulé y Covington, 1999; Heyerdahl y

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), INIFAP. Correo-e cerano.julian@inifap.gob.mx

² Northern Arizona University, School of Forestry and Ecological Restoration Institute.

Alvarado, 2003; Fulé *et al.*, 2005; Drury y Veblen, 2008), situación que es modulada por patrones de circulación global y a escala regional (ENSO) (Heyerdahl y Alvarado, 2003; Román-Cuesta *et al.*, 2003).

A la fecha son pocos los estudios sobre reconstrucción de incendios en el estado de Chihuahua que describen la variabilidad espacial y temporal de los regímenes de incendios en los bosques mixtos de coníferas (Heyerdahl y Alvarado, 2003; Fulé *et al.*, 2005) y que proporcionan un mejor entendimiento de la forma en que se comportan los incendios en el tiempo para una mejor planeación, ejecución de los programas de quemas prescritas y control de los incendios.

Surge la necesidad de conocer con mayor profundidad la influencia de los regímenes de incendios a nivel local y regional, a fin de contar con herramientas para una mejor planeación y éxito en la ejecución de los programas de prevención de incendios. En este trabajo se plantea la hipótesis de que existe una estrecha relación entre la frecuencia de incendios y la incidencia de patrones atmosféricos circulatorios, particularmente El Niño, con una menor participación de actividades antropogénicas. Para probarla, se propusieron los siguientes objetivos: 1) Reconstruir los regímenes de incendios y analizar cómo han variado en el tiempo; 2) Identificar la forma en la que la variabilidad climática influye en la frecuencia de incendios; y 3) Conocer el grado de influencia de fenómenos como El Niño Oscilación del Sur (ENSO) y el Monzón de Norte América (MNA) en la frecuencia de incendios en el suroeste de Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se localiza en la Reserva Cerro El Mohinora, sitio que constituye un área de conservación enclavada en la Sierra Madre Occidental en el municipio Guadalupe y Calvo, al suroeste del estado de Chihuahua. Las coordenadas del sitio son: 26° 06' N, 106° 58' W, con una altura de 2,320 msnm; colinda al norte con los municipios Guachochi y Morelos; al este con Balleza, al sur con Durango y al oeste con Sinaloa. El área comprende un gradiente altitudinal de 2,500 a 3,000 m. En la parte alta de la cuenca, ubicada en las coordenadas 25° 57' 16" N, 107° 01' 38" W están los bosques de *Pinus* y *Abies-Pseudotsuga-Picea*; en la parte media (25° 58' 27" N, 107° 02' 26" W) se desarrolla el bosque de *Abies-Pseudotsuga-Picea* y en la baja (25° 58' 23" N, 107° 01' 35" W) el bosque de *Pinus* (Figura 1).



Figura 1. Localización geográfica del sitio de muestreo Reserva Cerro El Mohinora, al suroeste del estado de Chihuahua.

Pinus duranguensis Martínez, *Pinus arizonica* Engelman y *Pinus ayacahuite* K. Ehrenb. ex Schlecht son las especies más importantes de pinos.

Las características climáticas del área, en términos de temperatura y precipitación, son muy variables durante el año. La temperatura máxima promedio fluctúa de 25 a 27°C; mientras que la media mensual más elevada se registra en los meses de mayo a septiembre. La temperatura mínima es entre -1 y -3°C para el periodo de diciembre a marzo, el promedio de precipitación mensual es de 96 mm con una media anual de 1,130 mm (ERIC II, 2000).

Métodos de campo

Dentro de la cuenca se establecieron dos áreas de muestreo: la primera en la parte baja (2,500 m), con una superficie de 40 ha y la segunda en la parte alta (por arriba de 3,000 msnm), la superficie fue de 60 ha aproximadamente.

El sistema de muestreo empleado fue selectivo, en el entendido de que se escogieron especímenes con características adecuadas que permitieran cumplir con los objetivos planteados en el estudio en cada uno de los sitios. De las partes con cicatrices de incendios se obtuvieron con una motosierra secciones transversales totales de tocones, de árboles tirados y semienterrados, tramos de árboles muertos en pie y de árboles vivos (Arno y Snack, 1977) (Figura 2). Cuando el fuego quema la corteza y parte del cambium (Figura 2a), en la parte dañada del tronco se inhibe el crecimiento y se forma una cicatriz (Figura 2b). La incidencia de nuevos incendios origina nuevas cicatrices en la sección transversal del tallo (Figura 2c).

En los estudios de reconstrucción de historial de incendios es recomendable la toma de muestras de árboles vivos para generar una cronología maestra "master chronology" que sea de utilidad para el fechado de árboles muertos; alternativamente se emplea una serie de tiempo generada para algún área cercana a la localidad. Para el presente trabajo se usó la reconstrucción de precipitación de la región obtenida por Cerano (2008).

Métodos de laboratorio

En el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP-CENID-RASPA, las muestras fueron secadas al aire y cortadas a una dimensión de 3 a 5 cm para facilitar su manejo.



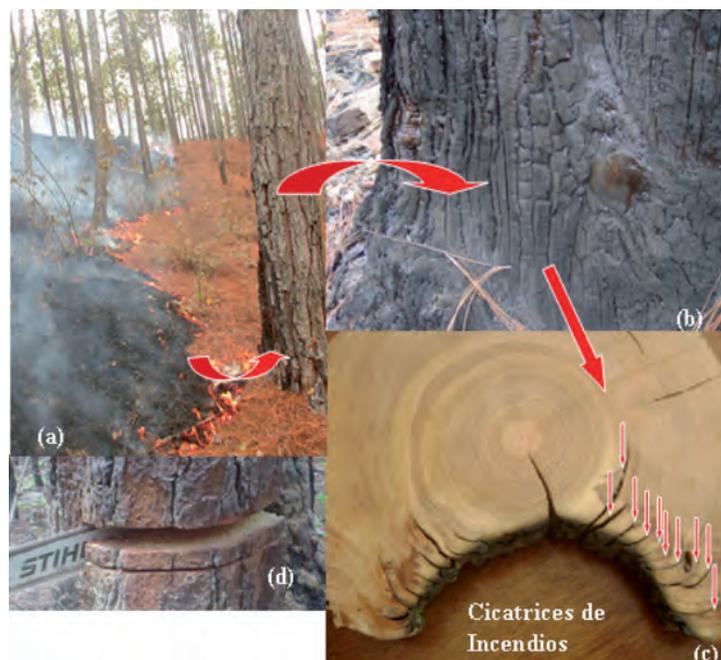


Figura 2. Formación de las cicatrices de incendios en la parte basal de los tallos de árboles de pino.

Las secciones se pulieron con lijas de grano progresivo 30 a 1,200 para resaltar las estructuras de los anillos de crecimiento y apreciar con mayor claridad la ubicación exacta de la cicatriz del incendio. Las muestras se dataron mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968). Las mediciones de los anillos de crecimiento se hicieron con un micrómetro de precisión 0.001 mm y platina de fase deslizante, conectado a una computadora (Robinson y Evans, 1980). El programa COFECHA se utilizó como apoyo para el fechado de las muestras (Holmes, 1983).

Se identificó el período de ocurrencia de los incendios, con base en la posición relativa de cada cicatriz dentro del anillo de crecimiento anual (Baisan y Swetnam, 1990); su época de ocurrencia se categorizó según la metodología propuesta por Grissino-Mayer (2001) fundamentada en los siguientes códigos: D = dormancia, E = madera temprana, M = mitad de la madera temprana, L = madera temprana tardía o final y A = madera tardía.

Análisis de datos

Se graficó una cronología maestra de incendios por sitios (Dieterich, 1980). Los análisis estadísticos de intervalos de frecuencia de fuegos e intervalos de recurrencia de los mismos se generaron con el software de análisis de incendios FHX2 (Grissino-Mayer, 2001).

Los intervalos fueron analizados estadísticamente mediante diferentes categorías o filtros: 1) al considerar todas las muestras con cicatrices de incendio, incluso aquellas con una sola cicatriz; 2) todas las muestras con cicatrices de incendio registradas en 10% ó más, y 3) años con cicatrices de incendio registrados en 25% ó más de las muestras. Estos criterios permiten observar los siniestros que fueron más extensos e intensos, en comparación con los que registran una cicatriz en pocos árboles, lo cual sugiere que el

incendio cubrió una superficie reducida, con alta probabilidad de que haya sido de baja intensidad (Swetnam y Baisan, 1996, 2003).

Los estadísticos utilizados para describir la distribución de los intervalos de incendio fueron los siguientes (Grissino-Mayer, 1995, 2001; Fulé et al., 2005):

- Frecuencia media de incendios (FMI)
- Intervalo mínimo entre incendios (IMIN), el intervalo más corto.
- Intervalo máximo entre incendios (IMAX), el intervalo más largo.
- Intervalo medio de probabilidad de Weibull (IMPW)

Clima y frecuencia de incendios

La relación entre las variaciones del clima y la ocurrencia de incendios se analizó con la subrutina Análisis de Sobreposición de Época (SEA, por sus siglas en inglés), del software FHX2 (Grissino-Mayer, 2001). Dos bases de datos fueron requeridas: la primera, una cronología regional de anillos de árboles para emplearse como "proxy" del clima; para esto se empleó la cronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, (Cerano, 2008). La segunda consistió en la cronología maestra de incendios, desarrollada para el análisis de reconstrucción del historial de incendios.

Dado el impacto de los patrones circulatorios como el Monzón de Norte América (MNA) y El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), en la precipitación de la época cálida y fría del año para la región del suroeste de Chihuahua se consideró importante analizar la influencia de estos fenómenos en la aparición de fuegos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De un total de 100 secciones transversales con cicatrices de incendios de *P. duranguensis*, *P. arizonica* y *P. ayacahuite* colectadas en la parte alta y baja del Cerro El Mohinora, Chih., se lograron fechar 73 con una acumulación de 277 marcas; 32 de los 73 tramos correspondieron a la porción superior de la localidad con 143 cicatrices y 41 a la inferior con 134 (Figura 3).

La cronología de incendios se inicia en el año 1700, para la zona alta y 1750 para la baja; el incendio registrado en la zona más interna de las muestras para la sección alta fue 1737 y para la baja, 1902.

El régimen del fuego se reconstruyó de 1700 a 2005 para la parte alta, donde los años con evidencia de incendios intensos (registrados al aplicar el filtro del 25%) fueron 1902, 1904, 1922, 1945 y 1971 como se advierte en la Figura 4. Después de 1970 a la fecha existe un período libre de alta frecuencia de incendios, solo perturbado por incendios localizados y de baja intensidad ocurridos en los años 1979, 1988, 1995, 1998 y 1999. 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 estos eventos, al considerar todas las cicatrices, se indican sobre el eje inferior.

En la superficie inferior del cerro, el historial del fuego se reconstruyó para el período 1900-2005, en el cual los años con alta incidencia de incendios (registrados al aplicar el filtro del 25%) fueron 1945, 1971, 1985, 1988 y 1995; sin embargo, también se lograron datar sucesos para los años 1902, 1922 y 1933 (Figura 5). Las líneas horizontales representan el lapso de tiempo de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son incendios. Los años en los cuales se registraron (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior.

Ambos sitios indican incendios para 1902, 1922, 1945, 1971, 1988, 1995 y 1998; sobresalen 1945 y 1971, cuando ocurrieron los siniestros más intensos y extensos por su distribución en la mayor parte de la superficie. Este comportamiento se relaciona con las fuertes sequías que afectaron la región y que se reconstruyeron para las décadas de 1940 y 1970 (Cerano, 2008).

Intervalos de frecuencia de incendios

Los intervalos medios de frecuencia de incendios (MFI, por sus siglas en inglés) al considerar el total de las muestras con marcas, aun aquellas con una sola, variaron de 5.1 a 8.8 años y el intervalo medio de probabilidad de Weibull (WMPI, por sus siglas en inglés) fue de 3.8 a 6.0 años. Para todas las muestras con cicatrices de incendios registradas en el 10% de las secciones o más, el MFI varió entre 7.1 a 13.3 años y el WMPI de 5.1 a 12.4 años; mientras que para las cicatrices observadas en 25% o más de las muestras, el MFI tuvo un intervalo de 13.8 a 13.3 años y el WMPI de 11.6 y 12.4 años. Los intervalos mínimos por sitio fueron un año y los máximos de 26 a 36 años entre los siniestros (Cuadro 1).

Los datos mostraron un comportamiento muy similar a los citados por estudios semejantes en bosques mixtos de pino de México. Para la Michilía, Durango, se reconstruyeron MFI de 3.2 a 7.6 años (Fulé y Covington, 1999); mientras que para la Sierra los Ajos, Sonora, fueron de 4.0 a 5.9 años (Swetnam *et al.*, 2001). Para la Sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua y Durango, se calcularon intervalos medios de 3.0 a 6.0 años (Heyerdahl y Alvarado, 2003). Estudios recientes sobre el tema para la Reserva Tutuaca, al oeste de Chihuahua, revelan lapsos medios de 3.9 a 5.2 años y de 2.0 a 6.0 años para la Reserva Las Bayas, Durango (Fulé *et al.*, 2005; Drury y Veblen, 2008).

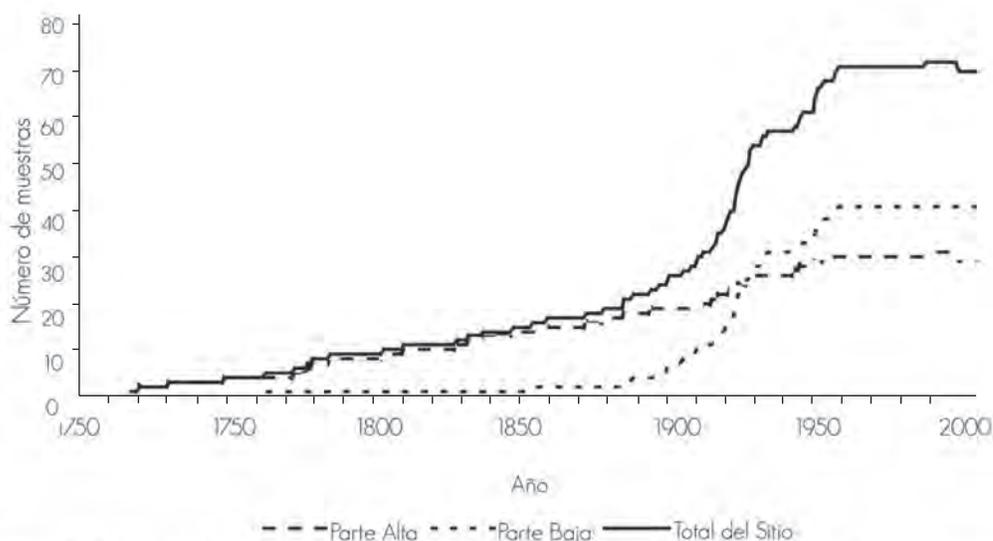


Figura 3. Profundidad de la muestra en términos de años comprendidos para cada una de las áreas y total de las muestras consideradas en el estudio.

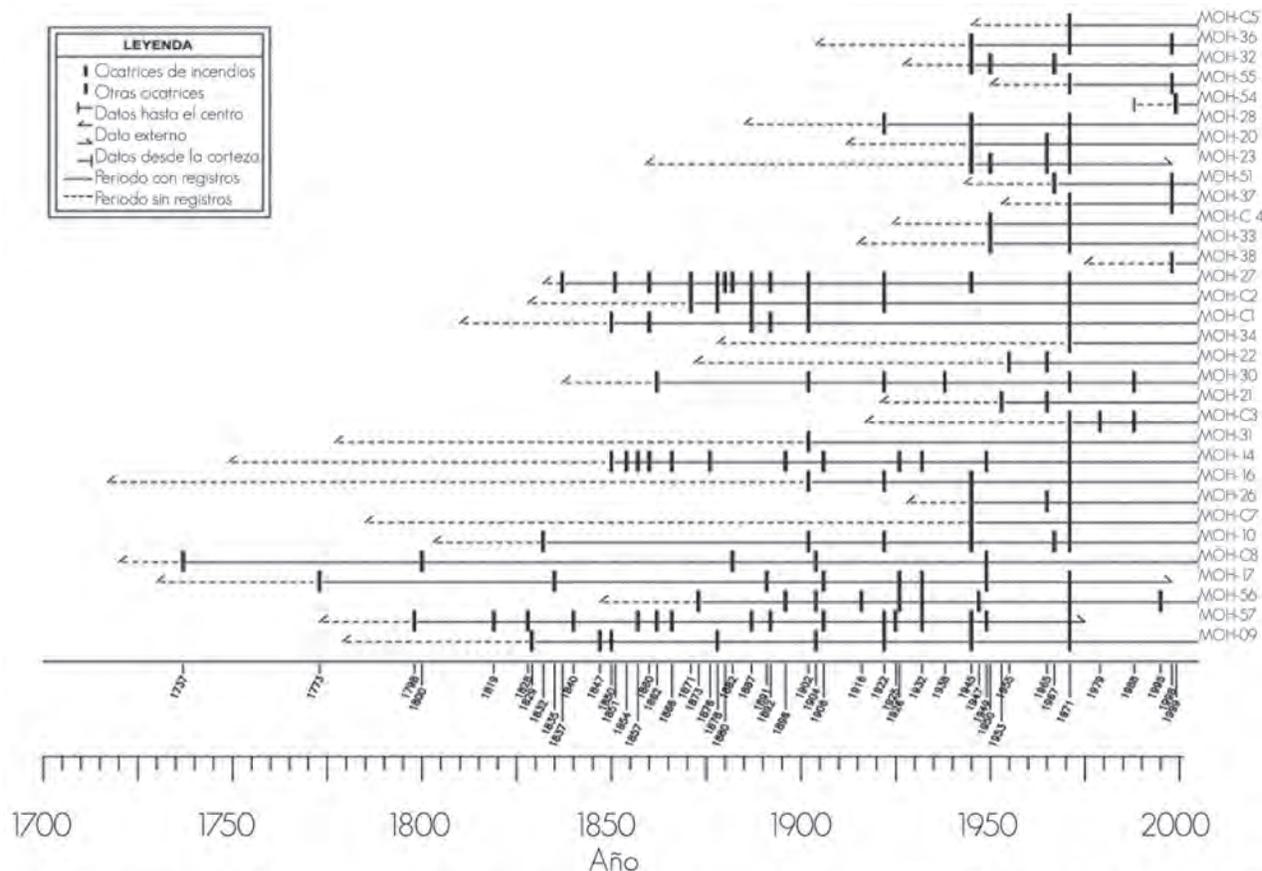


Figura 4. Reconstrucción de la frecuencia de incendios para los últimos 300 años en la parte alta de la Reserva Cerra El Mohinora, Chih.

Estación de ocurrencia de los incendios

La estación de ocurrencia del incendio se estimó mediante la ubicación física de la cicatriz en el anillo de crecimiento (Grissino-Mayer, 2001). En ninguna muestra se observaron cicatrices de incendio para el período de dormancia y madera tardía; pocas indicaron incendios en la porción media (2.1%) y final de la madera temprana (3.5%). Siempre se notó la presencia de fuego en la parte inicial de crecimiento de la madera temprana (94.4%), que corresponde a los meses de primavera y sólo 5.6% se definió en los meses de verano (Cuadro 2).

Para la parte baja los resultados indican la ausencia de cicatrices para la etapa de dormancia y época de formación de madera tardía (0%); un número reducido de incendios en la porción final de la madera temprana (7.5%). A diferencia de la porción alta del cerro, en este sitio se identificó una mayor cantidad de dichas marcas en la parte media de la madera temprana (26.1%), aunque en la mayoría de las ocasiones se observaron los signos de incendios al inicio del crecimiento de la madera temprana (66.4%); un poco más de la mitad de los siniestros en primavera (66.4%) y el resto durante el verano (33.6%) (Cuadro 2).

En estudios desarrollados en la Reserva de la Biosfera La Michilía, Durango, México, se reconstruyeron los regímenes de incendios y se concluyó que 82% de los eventos tuvieron lugar en primavera y 18% en verano (Fulé y Covington, 1999). Para

la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México, 52% de las conflagraciones se registraron en la primera estación del año y 48% en la segunda (Stephens *et al.*, 2003). En la Reserva Tutuaca al oeste de Chihuahua, se ha indicado un comportamiento similar en la ocurrencia estacional de los incendios, donde 73% de las cicatrices produjeron durante la dormancia e inicio de la madera temprana, período que corresponde a los meses de primavera y 27% de dichas marcas en la mitad del crecimiento y final de la madera temprana, incluye los meses de verano (Fulé *et al.*, 2005). Para el noroeste de México, investigaciones similares en 12 sitios resultaron más del 50% en primavera (Skinner *et al.*, 2008).

Lo contrario sucede en el norte de Arizona, EUA, en donde 70% de los incendios se presentan en el verano y 30% en primavera (Heinlein *et al.*, 2005). En el sur del Parque Nacional Gran Cañón, 82% de los incendios se reconstruyeron en el período de verano y 18% durante la primavera (Fulé *et al.*, 2003).

Relación clima-incendios

Las series reconstruidas de regímenes de incendios y la preexistente de precipitación para esta región (Cerano, 2008), se analizaron con la subrutina SEA del software FHX2 (Grissino-Mayer, 2001). El SEA determina la relación entre el clima local (ancho del anillo estandarizado) y la ocurrencia de incendios. El sitio de estudio se abordó por separado (parte alta y parte baja).

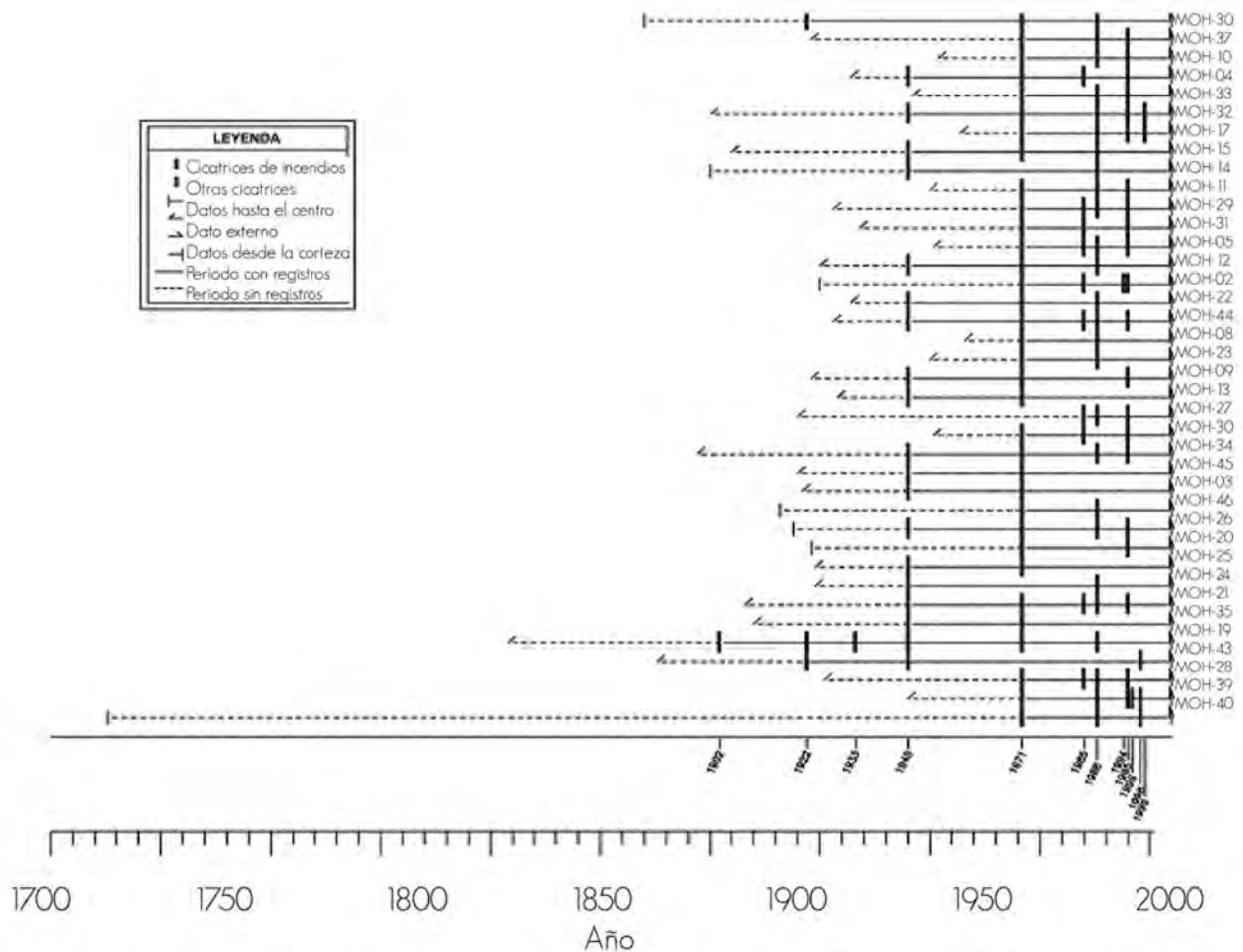


Figura 5. Reconstrucción del régimen histórico de incendios para los últimos 100 años en la parte baja de Cerro El Mohinora, Chih.

Cuadro 1. Intervalos de frecuencia y recurrencia de incendios para dos sitios de estudio en bosques mixtos de pino en el Cerro El Mohinora, Chih.

Sitio	Período de análisis	Categoría de análisis	No. de intervalos	MFI ³	Min.	Máx.	WMPI ⁴
MOHPA ¹	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
MOHPB ²	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.

El valor del clima promedio está representado por 1 en el eje de las "Y". El procedimiento "Bootstrapping" se utilizó para evaluar la significancia estadística del clima en la ocurrencia de incendios, tanto cuando supera la media (años húmedos) como para los años secos (menor a la media). El primer año (0) indica la aparición del fuego y los valores -5 hasta -1 constituyen los cinco años anteriores al mismo; 1 y 2 se refieren a la influencia del clima en los dos años posteriores al evento. Las tres líneas ubicadas arriba y abajo del eje de las "X" en cada uno de los gráficos son los intervalos de confianza al 95%, 99% y 99.9%, respectivamente (figuras 6 y 7).

Para la parte alta se observó que los incendios surgieron en años secos ($p < 0.01$), seguidos de periodos iguales, aunque no de

manera significativa ($p > 0.05$). El año previo fue húmedo, cuando las condiciones de precipitación estuvieron por arriba de la media ($p < 0.05$) (Figura 6 y 8).

Patrones similares en el comportamiento de los incendios se han registrado para Chihuahua y Durango (Fulé y Covington, 1999; Heyerdahl y Alvarado, 2003; Fulé *et al.*, 2005; Drury y Veblen, 2008).

La parte baja del cerro mostró un comportamiento similar, pues los incendios se presentaron en años secos, aunque no de manera significativa ($p > 0.05$), seguidos de un periodo seco ($p > 0.05$). El año anterior fue húmedo, pero la relación no fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$) (figuras 7 y 8).

Cuadro 2. Estacionalidad de incendios para dos sitios de bosque mixto de pino en la Reserva Cerro El Mohinora, Chih.

Sitio	Estación determinada	Estación no determinada	D	E	M	L	A	Incendios de primavera ^A	Incendios de verano ^B
MOHPA									
Número	143	0	0	135	3	5	0	135	8
Porcentaje	100	0	0	94.4	2.1	3.5	0	94.4	5.6
MOHPB									
Número	134	0	0	89	35	10	0	89	45
Porcentaje	100	0	0	66.4	26.1	7.5	0	66.4	33.6

^A = Dormancia más madera temprana (D + E); ^B = Mitad de la madera temprana más final de madera temprana más madera tardía (M+L+A)

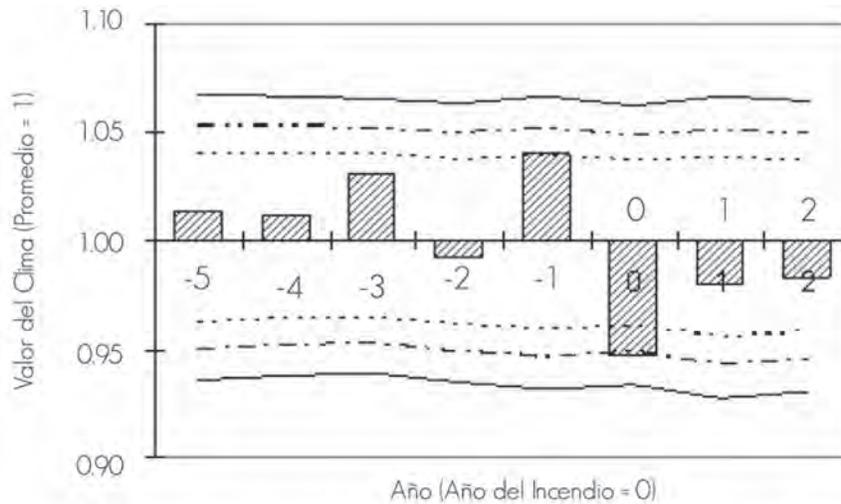


Figura 6. Análisis de clima e incendios mediante el programa SEA para la parte alta del Cerro El Mohinora, Chih.

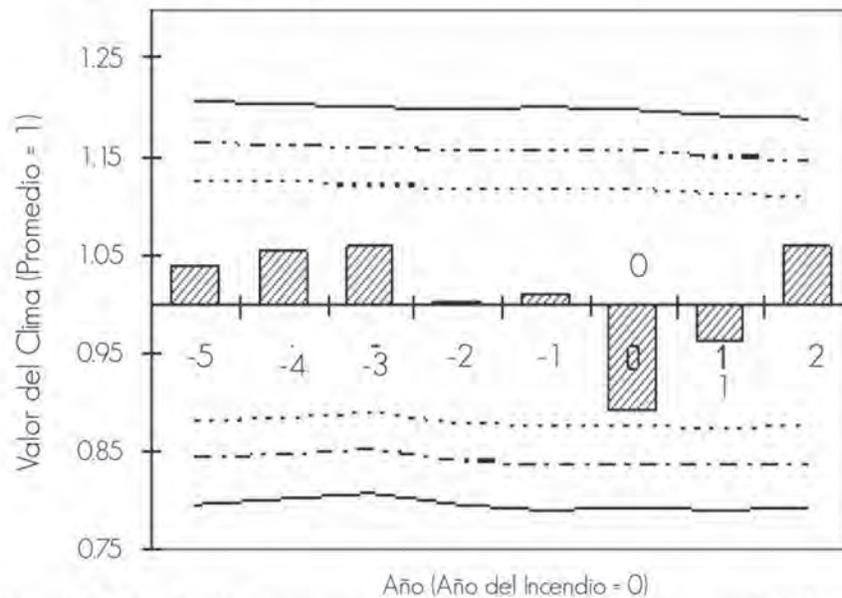


Figura 7. Análisis de clima e incendios mediante el programa SEA para la parte baja del Cerro El Mohinora, Chih.

En esta zona los incendios no estuvieron supeditados a las sequías intensas ni a húmedas previas al siniestro. Lo anterior se puede atribuir a que las condiciones ambientales, generalmente, son menos secas, a que se genera y acumula combustible anualmente. En la etapa primavera-verano, al reducirse la precipitación,

pese a que no sea de manera importante, se establecen las características ecológicas que favorecen la incidencia de incendios.

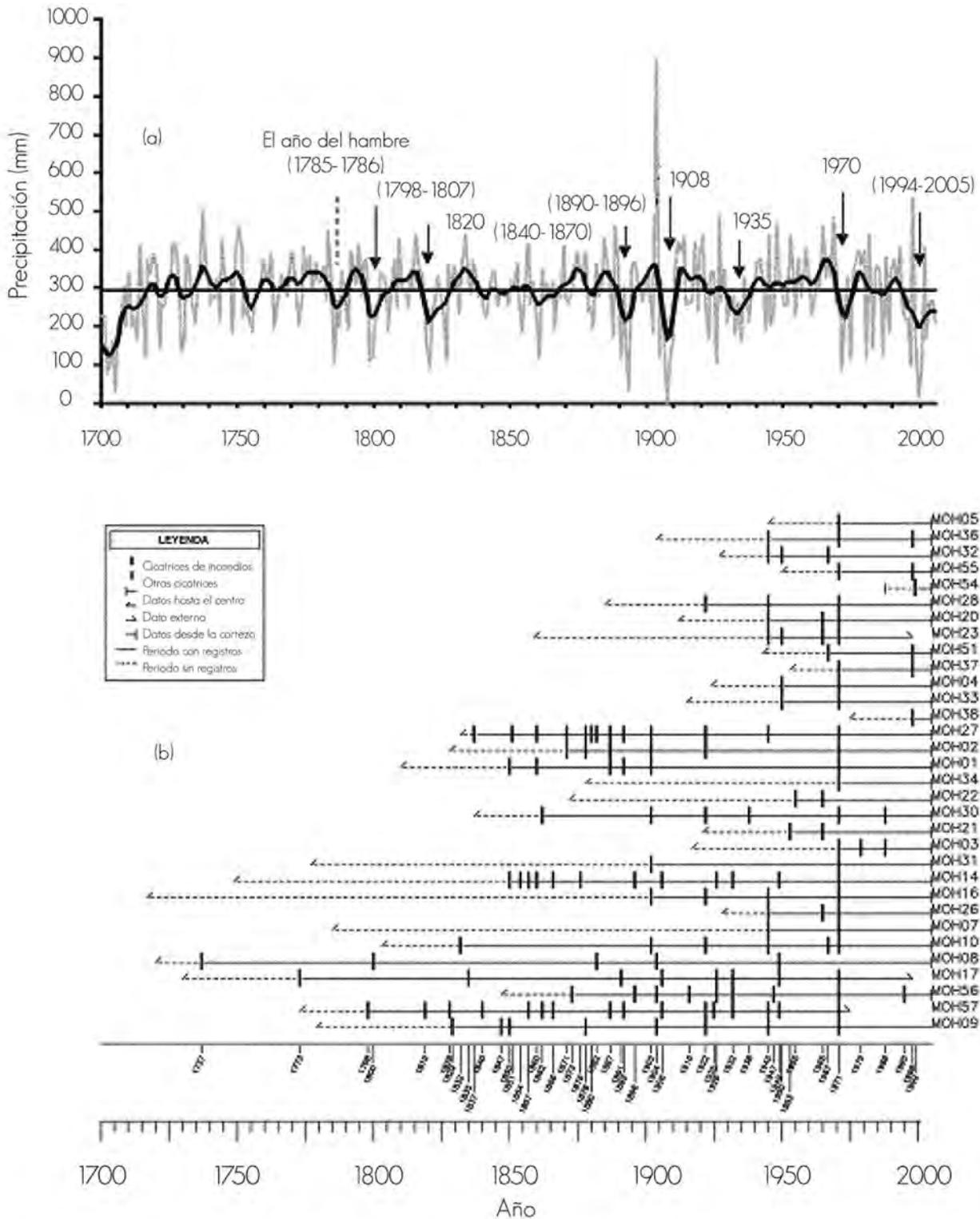


Figura 8. Relación entre la variabilidad del clima (a) y la ocurrencia de incendios (b) para los últimos 300 años en la parte alta del Cerro El Mohinora, Chih.

Influencia del ENSO y MNA en la frecuencia de incendios

En general, el Cerro El Mohinora se vió afectado por incendios de gran intensidad en 1902, 1904, 1922, 1945 y 1971. Siete de los años con mayor incidencia corresponden a 1902, 1904, 1922, 1945, 1971, 1995 y 1988, lo que estuvo asociado a eventos extremos de ENSO (Figura 9); en 1971 y 1945 tuvieron lugar los fuegos más intensos y extensos en la región, indicativo de la intensidad del fenómeno ENSO en dichos años.

El área de estudio se localiza en la zona 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 concluyen que el MNA en Sonora y Sinaloa es débil durante veranos de Niño (Higgins *et al.*, 1999). El principio del monzón en el noroeste mexicano puede presentar adelantos o retrasos substanciales de hasta 30 días, con respecto al comienzo de las lluvias (17 de junio). Un inicio tardío del MNA en el noroeste de México por lo general significa una temporada de lluvias deficiente, hecho que parece ocurrir en años Niño.

El ENSO se manifiesta en la mayor parte de México con un incremento en la precipitación de invierno y anomalías negativas en el verano, en su fase cálida. En veranos de ENSO, en su fase fría, las lluvias están alrededor o por encima de lo normal (Magaña y Pérez, 1998; Magaña *et al.*, 1999 y 2003).

Eventos intensos de ENSO provocan una señal del MNA negativa que origina una caída en la precipitación, y por ende, sequías de gran magnitud asociadas con incendios en el suroeste del estado de Chihuahua. La relación entre la incidencia de estos siniestros forestales en México y las condiciones de sequía para el período primavera-verano causadas por ENSO ha sido bien documentada (Heyerdahl y Alvarado, 2003; Román-Cuesta *et al.*, 2003).

En la reconstrucción del régimen de incendios para el Cerro El Mohinora, el año de 1971 fue el de mayor frecuencia para primavera-verano. Lo anterior se atribuye a la fase cálida de ENSO en 1969, que generó severas sequías en el verano de 1970, con lo que partió el gran problema de la década al ser suprimida la señal del MNA. Ese año se presentó nuevamente un evento ENSO en su fase fría que no trajo ningún incremento en la precipitación; de esta manera, el verano de 1971 representó el año más seco para el periodo de los setentas (Figura 9) y en consecuencia hubo una alta incidencia de incendios en ese año en la región del suroeste de la entidad.

El año de 1945 ocupa el segundo lugar en incendios forestales derivados del lapso seco de 1929 a 1940, producto de los eventos del Niño de 1929, 1930 y 1940, ambos en su fase cálida, que a su vez propiciaron una reducción de la precipitación de verano (Retraso del MNA). Después de esta falta de lluvia, siguieron eventos El Niño para los años 1942 y 1944 en su fase fría, lo que favoreció un incremento en la precipitación de verano (MNA en fase positiva) y, en consecuencia, la acumulación de combustible fino (pastos y plantas arbustivas), situación que al agregarse a una caída en la precipitación en 1945, produjo las condiciones ideales para el desarrollo de fuertes incendios en primavera-verano (Figura 9).

Otro año crítico fue el de 1922, atribuible a un período libre de sequías de 1910 a 1920; posteriormente disminuyó la precipitación. El Niño de 1922 (fase fría) no generó un incremento en la lluvia, lo que originó que para el verano se intensificara la sequía y se diera paso a incendios severos, a los que contribuyó la gran cantidad de combustible disponible.

A principios del siglo XX se reconstruyó una alta incidencia de incendios para los años de 1902 y 1904. Antes del primero, las lluvias se mantenían sin caídas considerables; sin embargo, en ese año se presentó un intenso Niño en su fase cálida, que trajo consigo una marcada reducción de la precipitación de verano, como resultado del retraso del MNA, que dio lugar a incendios severos en los meses de primavera-verano de entonces. En 1903 se registró un fuerte año Niño en su fase fría que propició intensas lluvias. Su reconstrucción correspondió al año con la mayor cantidad de lluvia de los últimos 350 años, con incremento en la precipitación de verano producida por el MNA (Figura 9). En 1904 se registró acusada sequía derivada de la influencia de otro Niño en fase cálida (intensas sequías para primavera-verano) y de nueva cuenta ocurrieron nuevamente importantes incendios para el suroeste de Chihuahua.

Aunque después de 1970 se distingue una clara disminución en la frecuencia de incendios para la parte alta, para la baja se reconstruyeron intensos eventos en los años 1988 y 1995 (Figura 9).

El Niño de 1986-1987, propició que la precipitación primavera-verano de 1988 fuera menor, o una señal negativa del MNA; además, originó una alta incidencia de incendios a nivel nacional. Por último, El Niño del período 1994-1995, que marca el inicio de la intensa sequía que persiste en la región hasta la fecha, ocasionó este tipo de siniestros en la estación primavera-verano de 1995, lo cual se vio favorecido por las buenas condiciones de lluvia de años anteriores.

Los incendios ocurrieron generalmente en años secos, ya que existe una correlación estrecha entre la falta de humedad ambiental y el establecimiento de fuegos. Se reconoce una correspondencia con la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur (ENSO). Los años previos al 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 manifestación de un incendio se favorece cuando un año seco es seguido de uno húmedo, pues se acumula una gran cantidad de combustible. Un mecanismo similar se ha verificado para otras áreas de Chihuahua, donde las gramíneas perennes son abundantes en los bosques (Fulé *et al.*, 2005).

El norte de México es afectado por ENSO (Stahle y Cleaveland, 1993; Stahle *et al.*, 1998). La incidencia de siniestros relacionados con el fuego en esa región del país está ligada a dicho fenómeno, como sucede en el suroeste de los Estados Unidos y sur de América del Sur (Fulé y Covington, 1997, 1999). En el centro y sur de México, los incendios de 1998 también se asociaron con ENSO (Rodríguez, 1996; Pyne *et al.*, 1996). En este estudio los siniestros más antiguos se registraron en 1835; posterior a esta fecha, se presentó un período libre de fuego entre 1790 y 1830, lo que tal vez se relacionó con una baja frecuencia de cambios en la variabilidad de ENSO (Grissino-Mayer y

Swetnam, 2000; Kitzberger y Veblen, 2003; Stahle y Cleaveland, 1993). El mismo comportamiento en el patrón de distribución se observó en la Sierra San Pedro Martir, Baja California, donde se reconstruyó el régimen correspondiente a los últimos 500 años, en el cual se detectó una alta variabilidad en el comportamiento de los incendios antes y después del período considerado y una baja o nula incidencia de 1790-1830, atribuible a una reducida actividad de ENSO (Stephens *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

Se reconstruyeron 300 años de frecuencia de incendios para la Reserva Cerro El Mohinora, Chih.; la evidencia de incendios de alta intensidad correspondió a los años 1995, 1988, 1985, 1971, 1945, 1922, 1904 y 1902; de ellos, los más intensos y extensos se reúnen en los años 1971 y 1945, situación que se relaciona con la sequía que afectó esta región en las décadas de 1940 y 1970.

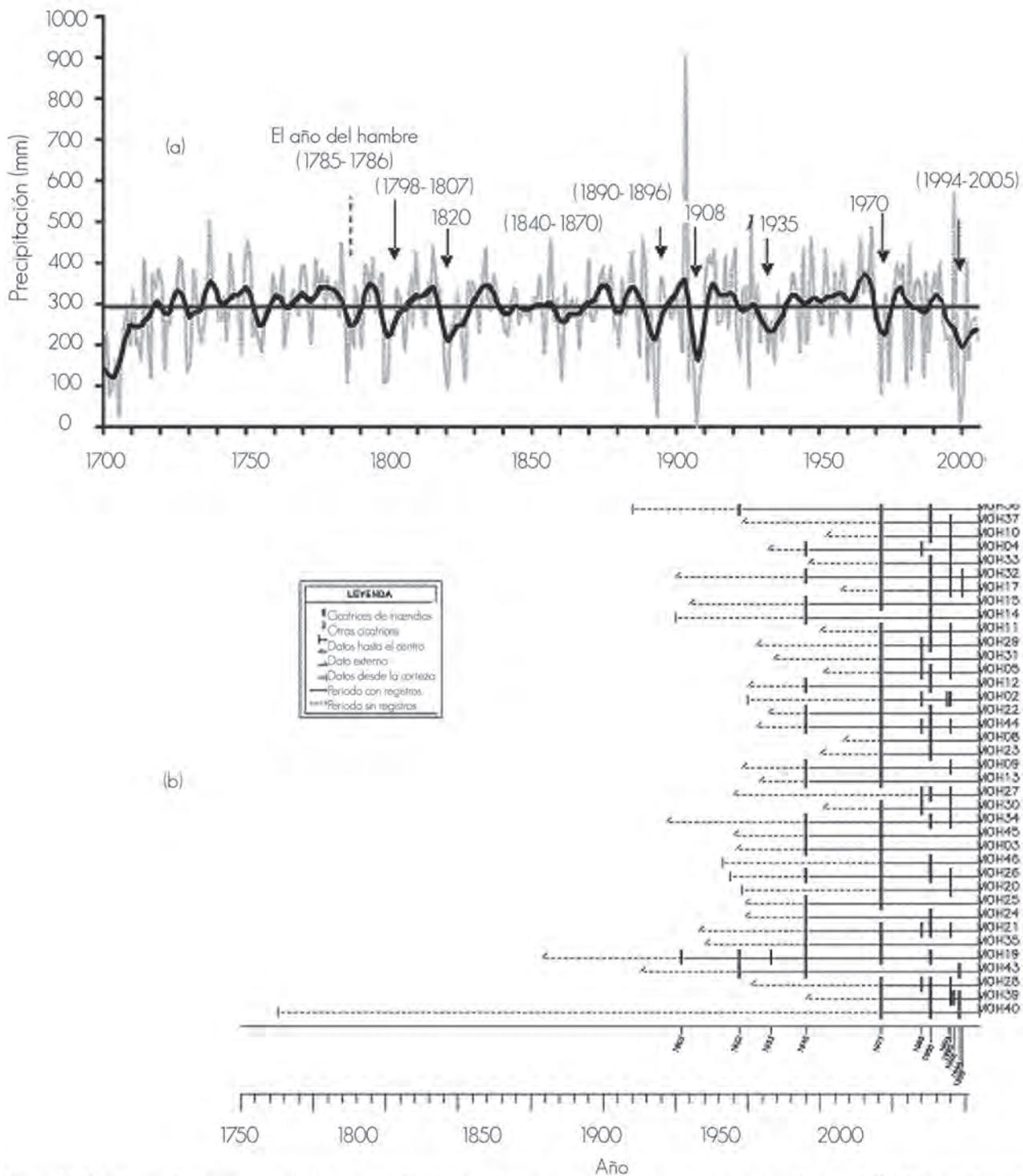


Figura 9. Relación entre la variabilidad de precipitación (a) y la ocurrencia de incendios (b) en los últimos 100 años, analizando la influencia del ENSO.

Los intervalos medios de frecuencia de incendios variaron de 7.05 a 13.29 años y el intervalo medio de probabilidad de ocurrencia fue de 5.1 a 12.4 años, al considerar todas las cicatrices de incendios registradas en 10% de las muestras o más.

Para el suroeste de Chihuahua se determinó una relación significativa entre los años secos y la presencia de incendios ($p < 0.01$). Los años húmedos (precipitación superior a la media MNA en fase positiva) seguidos de periodos secos (años ENSO), explican significativamente ($p < 0.05$) la incidencia y comportamiento de los incendios en esta región. Dado que 80.5% de los siniestros reconstruidos se observaron en la estación de primavera y sólo 19.6% en verano; esto es un indicativo de la temporada en la que se tiene que enfatizar su prevención y manejo.

Los incendios en la zona de estudio están muy ligados con el ENSO en su fase cálida, por tal razón, para el desarrollo de escenarios futuros de frecuencia de incendios es importante incluir este patrón circulatorio. Los eventos del ENSO, actualmente, tienen cierta predictibilidad, por lo que el conocer con antelación su incidencia permitirá planear acciones de control de incendios en áreas que así lo ameriten y el desarrollo de estrategias de manejo del fuego para la conservación de ecosistemas que evolucionaron con este fenómeno.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento otorgado por el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IIA), a través del 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 National Science Foundation (Grant GEO-0452325).

REFERENCIAS

- Agee, J.K. 1993. Fire ecology of Pacific Northwest forests. Island Press, Washington, D.C. USA. 477 p.
- Arno, S. F. and K. M. Snack. 1977. A method for determining fire history in the coniferous forests in the mountain West. USDA Forest Service, General Technical Report INT-42. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, UT. USA. 28 p.
- Baisan, C. H. and T. W. Swetnam. 1990. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, USA. *Canadian Journal of Forest Research* 20:1559-1565.
- Cerano, P. J. 2008. Variabilidad climática, regímenes de incendios e influencia de patrones circulatorios para el suroeste de Chihuahua. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Dgo. México. 118 p.
- Dieterich, J.H. 1980. Chimney Spring forest fire history. USDA Forest Service Research Paper RM-220.
- Drury, S. A. and T. T. Veblen. 2008. Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecol.* 197:299-316.
- Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC) II. 2000. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, Méx.
- Fulé, P. Z. and W. W. Covington. 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. 1999. Fire regime changes in La Michilia Biosphere Reserve, Durango México. *Conservation Biology* 13(3): 640-652.
- Fulé, P. Z., T. A. Heinlein, W. W. Covington and M. M. Moore. 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., J. Villanueva-Díaz and M. Ramos-Gómez. 2005. Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, México. *NRC. Canadian Journal of Forest Research* 35:320-330.
- González-Cabán, A. and D. V. Sandberg. 1989. Fire management and research needs in México. *Journal of Forestry* 87: 20-26.
- 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, AZ, USA. 407 p.
- Grissino-Mayer, H. D. and T. W. Swetnam. 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.
- Heinlein, T. A., M. M. Moore, P. Z. Fulé and W. W. Covington. 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.
- Heyerdahl, E. K. and E. Alvarado. 2003. Influence of climate and land use on historical surface fires in pine-oak forests, Sierra Madre Occidental, Mexico. In: T. T. Veblen, W. L. Baker, G. Montenegro and T. W. Swetnam. (Eds.). Fire and climatic change in temperate ecosystems of the Western Americas. Springer Verlag, New York, NY, USA. pp. 196-217.
- Higgins, R. W., Y. Chen and A. V. Douglas. 1999. Interannual variability of the North American warm season precipitation regime. *J. Climate* 12:653-680.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43:69-78.
- Jardel, J. P. y E. Alvarado. 2003. Reseña del seminario sobre manejo del fuego y restauración de los bosques. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Autlán, Jal. México, pp.1-5.
- Jardel, J. P., F. Castillo-Navarro, V. R. Ramírez, M. J. Chacón y M. O. Balcázar. 2004. Los incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. In: L. Villers R. y J. López-Blanco (Eds.). Incendios forestales en México: Métodos de evaluación. Centro de Ciencias Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F., México, pp.147-164.
- Kaufmann, M. R., C. M. Regan and P.M. Brown. 2000. Heterogeneity in ponderosa pine /Douglas-fir forests: age and size structure in unlogged and logged landscapes of central Colorado. *Canadian Journal of Forest Research* 30:698-711.
- Kitzberger, T. and T. T. Veblen. 2003. Influences of climate on fire in Northern Patagonia, Argentina. In: T. T. Veblen, W. L. Baker, G. Montenegro, and T. W. Swetnam (Eds.). Fire and climatic change in temperate ecosystems of the Western Americas. Springer-Verlag, New York, NY, USA. pp. 296-321.
- Magaña, V. y J. L. Pérez. 1998. Usos de un modelo de mesoescala en la dinámica atmosférica regional de México. *GEOUNAM*. 5(1):33-39.
- Magaña, V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrizosa y J. Pérez. 1999. El Niño y el clima. In: V. Magaña (Editor). Los impactos de El Niño en México. SEP - CONACYT. Mexico, D. F. México. pp. 23-68.
- Magaña, V., J. L. Vázquez, J. L. Pérez and J. B. Pérez. 2003. Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica internacional* 42(3):313-330.
- Pyne, S. J., P. L. Andrews and R. D. Laven. 1996. Introduction to wildland fire. Second Edition, John, Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. 753 p.
- 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. México. 617 p.
- Román-Cuesta, R. M., M. Gracia and J. Retana. 2003. Environmental and human

- factors influencing fire trends in ENSO and non-ENSO years in tropical Mexico. *Ecological Applications* 13(4):1177-1192.
- Sherriff, R. L. and T. T. Veblen. 2006. Ecological effects of changes in fire regimes in *Pinus ponderosa* ecosystems in the Colorado Front Range. *J. Veg. Sci.* 17:705-718.
- Skinner, C. N., J. H. Burk, M. G. Barbour, E. Franco-Vizcaíno and S. L. Stephens. 2008. Influences of climate on fire regimes in montane forests of north-western Mexico. *Journal of Biogeography* 35: 1436-1451.
- 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., 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-Diaz and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(10):2137-2152.
- Stephens, S. L., C. N. Skinner and S. J. Gill. 2003. Dendrochronology-based fire history of Jeffrey pine - mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Martir, México. *Canadian Journal of Forest Research* 33(6):1090-1101.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press. Chicago, IL. USA. 73 p.
- Swetnam, T. W. and C. H. Baisan. 1996. Historical fire regime patterns in the southwestern United States since AD 1700. *In: C. D. Allen (Ed.) Proceedings of the 2nd La Mesa Fire Symposium*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-286. Tucson, AZ. USA. pp. 11-32.
- Swetnam, T. W., C. H. Baisan and J. M. Kaib. 2001. Forest fire histories in the sky islands of La Frontera. *In: 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, NM. USA. 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: T. T. Veblen, W. L. Baker, G. Montenegro and T. W. Swetnam (Eds.) Fire and climatic change temperate ecosystems of the western Americas*. Springer-Verlag, New York, NY. USA. pp. 158-195.
- Vélez, M. R. 2000. Perspectiva global: El fuego en los ecosistemas forestales del mundo. *In: Vélez M., R. (Ed.) La defensa contra incendios forestales, Fundamentos y Experiencias*. Mc-Graw Hill/ Interamericana de España, S.A.U., Aracava Madrid, España. pp. 2.1-2.11.