

# INTERPRETACIÓN DEL HISTORIAL DE INCENDIOS EN BOSQUES MIXTOS DE CONÍFERAS



M. C. Julián Cerano Paredes  
Dr. José Villanueva Díaz  
Dr. Peter Z. Fulé  
Dr. Peter M. Brown  
M. C. Larissa L. Yocom  
Ing. Vicenta Constante García  
Dr. Juan Estrada Ávalos

**CENID-RASPA**

Gómez Palacio, Dgo.

Diciembre del 2009

Folleto Técnico 15

Serie MX-0-310601-13-10-00-09-15 ISBN: 978-607-425-246-0

## DIRECTORIO INSTITUCIONAL

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

**Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda**

*Secretario*

**Ing. Francisco López Tostado**

*Subsecretario de Agricultura*

**Ing. Ignacio Rivera Rodríguez**

*Subsecretario de Desarrollo Rural*

**Lic. Jeffrey Max Jones Jones**

*Subsecretario de Fomento a los Agronegocios*

### INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**Dr. Pedro Brajcich Gallegos**

*Director General*

**Dr. Enrique Astengo López**

*Coordinador de Planeación y Desarrollo*

**Dr. Salvador Fernández Rivera**

*Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación*

**Lic. Marcial A. García Morteo**

*Coordinador de Administración y Sistemas*

### CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA- SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

**Dr. José Antonio Cueto Wong**

*Director del CENID-RASPA*



# Interpretación del Historial de Incendios en Bosques Mixtos de Coníferas

M. C. Julián Cerano Paredes  
Dr. José Villanueva Díaz  
Dr. Peter Z. Fulé  
Dr. Peter M. Brown  
M. C. Larissa L. Yocom  
Ing. Vicenta Constante García  
Dr. Juan Estrada Ávalos

CENID-RASPA  
2009

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

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

ISBN:978-607-425-246-0

Primera Edición 2009

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

## Presentación

La Dendrocronología es una ciencia enfocada a la reconstrucción de variables climáticas, entre las diferentes áreas en que se divide esta ciencia, la Dendroclimatología (reconstrucciones paleoclimáticas), en los últimos ocho años se han diseminado de manera rápida a nivel nacional e internacional; lo anterior se debe al establecimiento del primer laboratorio de Dendrocronología en México con sede en el INIFAP CENID-RASPA en Gómez Palacio, Durango.

Con el objetivo de diversificar las investigaciones, una nueva área de la Dendrocronología en los últimos años se ha comenzado a explorar en México por personal del laboratorio, la Dendropirocronología (reconstrucción de los regímenes ecológico de incendios).

Personal científico con muchos años de experiencia en este tipo de investigaciones en los Estados Unidos de América han desarrollado trabajos esporádicos en los bosques mexicanos en las dos décadas pasadas. Sin embargo, en los últimos cinco años el laboratorio ha logrado generar varios trabajos de investigación en esta área en diferentes bosques del norte de México y otras partes de sudamérica como Guatemala.

La falta de una red de reconstrucciones de regímenes de incendios en los bosques de México que permita conocer su variabilidad en espacio y tiempo y su relación con la variabilidad climática, se atribuye en gran parte al desconocimiento de la metodología y falta de capacitación en el desarrollo de este tipo de investigaciones; ante tal situación, el objetivo de este folleto es dar a conocer la información básica sobre la metodología para el análisis de la interpretación del historial de incendios en los bosques templados de México.

En el presente documento vierte las experiencias adquiridas por los autores en el trabajo de campo, laboratorio e interpretación de los regímenes ecológicos de incendios, que se considera serán de gran ayuda para facilitar el aprendizaje de la Dendropirocronología por técnicos, investigadores, profesores, estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado en las áreas de conservación de los recursos naturales y áreas afines.

Dr. José Antonio Cueto Wong  
Director del CENID-RASPA



## Contenido

|  |    |
|--|----|
| <b>Introducción</b> .....  | 1  |
| <b>Qué es un incendio forestal</b> .....                                       | 2  |
| <b>Tipos de incendios</b> .....  | 4  |
| <b>El fuego como un factor ecológico</b> .....                                 | 5  |
| <b>Importancia del fuego en los ecosistemas</b> .....                          | 5  |
| <b>Efectos del fuego sobre los ecosistemas</b> .....                           | 6  |
| Efectos positivos .....  | 6  |
| Efectos negativos .....  | 7  |
| <b>Regímenes de incendios</b> .....  | 7  |
| <b>Cómo se analizan los regímenes de incendios</b> .....                       | 8  |
| <b>Selección de áreas de estudio</b> .....                                     | 9  |
| <b>Diseño de muestreo</b> .....  | 12 |
| <b>Toma de muestras para la reconstrucción de regímenes de incendios</b> ..... | 13 |
| <b>Equipo de protección para la toma de muestras</b> .....                     | 21 |
| <b>Mantenimiento del equipo de trabajo</b> .....                               | 22 |
| <b>Preparación de muestras en laboratorio</b> .....                            | 23 |
| <b>Determinación de estación de ocurrencia de incendios</b> .....              | 25 |
| <b>Análisis de frecuencia de incendios</b> .....                               | 27 |
| <b>Reconstrucción de regímenes de incendios</b> .....                          | 32 |
| <b>Estudio de caso Reserva Cerro Mohinora</b> .....                            | 33 |
| Intervalos de frecuencia de incendios .....                                    | 37 |
| Estación de ocurrencia de los incendios .....                                  | 39 |
| <b>Relación clima-incendios</b> .....  | 41 |
| Influencia del ENSO en la frecuencia de incendios .....                        | 45 |
| Comportamiento de incendios en el norte de México .....                        | 48 |
| <b>Conclusiones</b> .....  | 49 |
| <b>Literatura consultada</b> .....   | 51 |



## ***Introducción***

---

---

Los incendios forestales históricamente han estado ligados a los bosques mexicanos, ya que muchos de ellos evolucionaron con este fenómeno natural, por lo que a lo largo del tiempo se ha implementado una serie de estrategias enfocadas principalmente a su combate y eventualmente a su manejo. La información que existe sobre la presencia de incendios en México, a pesar de no ser muy abundante, ha sido muy valiosa; no obstante que la mayor parte se enfoca al campo operativo donde México ha evolucionado de manera adecuada. Sin embargo, el tema de los incendios forestales involucra otros aspectos importantes como son educación, investigación, organización social, entre otros; áreas que han quedado rezagadas y en las que comparativamente no se ha producido el mismo nivel de desarrollado (Flores y Rodríguez, 2006).

En la última década, la investigación relacionada con incendios forestales ha mejorado de manera sustancial. El hecho de contar con un mayor número de investigadores de alto nivel educativo ha permitido un mejor desarrollo en temas de investigación y conservación de recursos naturales, lo que se ha traducido en publicaciones de mejor reconocimiento científico a nivel nacional e internacional y en temas educativos con la integración de posgrados que involucran materias básicas relacionadas con incendios forestales (Flores y Benavides, 2006).

La planificación adecuada y control de incendios forestales, el manejo del fuego como herramienta silvícola, el efecto de incendios en los escurrimientos, erosión de cuencas y restauración de áreas

afectadas por cambios en los regímenes de incendios, demandan de un entendimiento del papel ecológico y del comportamiento físico y químico del fuego. Para lo anterior, los estudios deben enfocarse a dos aspectos importantes: a) Reconstrucción de los regímenes históricos de los incendios, y b) Análisis de la variabilidad climática. Esta información permite desarrollar un análisis del comportamiento de los incendios forestales en el pasado y de su relación con factores climáticos.

Por lo que respecta al conocimiento de los regímenes históricos de incendios, son pocos los estudios desarrollados para el centro y sur de México. Por el contrario, en el norte del país este tipo de estudios son más comunes, aunque todavía no tan abundantes (Fulé y Covington, 1996, 1997, 1998; Heyerdahl y Alvarado, 2003; Stephens *et al.*, 2003; Fulé *et al.*, 2005; Cerano, 2008; Drury y Veblen, 2008). Lo anterior se atribuye en gran parte al desconocimiento de la metodología y falta de capacitación en el desarrollo de este tipo de investigaciones; ante tal situación, el objetivo de este trabajo es dar a conocer la información básica sobre la metodología para el análisis de la interpretación del historial de incendios en los bosques templados de México.

### **Qué es un incendio forestal**

Un incendio forestal es la propagación libre del fuego sobre la vegetación forestal. El fuego es la liberación de energía en forma de luz y calor producto de la combustión (quema). Para que el fuego se produzca se requiere de tres elementos que forman el llamado «triángulo del fuego» (Figura 1): combustible, calor y oxígeno; si alguno de estos elementos falta, el fuego no se produce (Rodríguez, 1996).

En el caso de los combustibles, se forman con materiales existentes en el bosque, compuestos por hojas, ramas, hierbas,

arbustos, troncos y árboles, que son material para la combustión. El calor del sol provoca la pérdida de humedad de los combustibles, y el fuego eleva su temperatura hasta que pueden arder. El oxígeno se encuentra en el aire formando el 21 por ciento de las capas bajas de la atmósfera (Rodríguez, 1996).

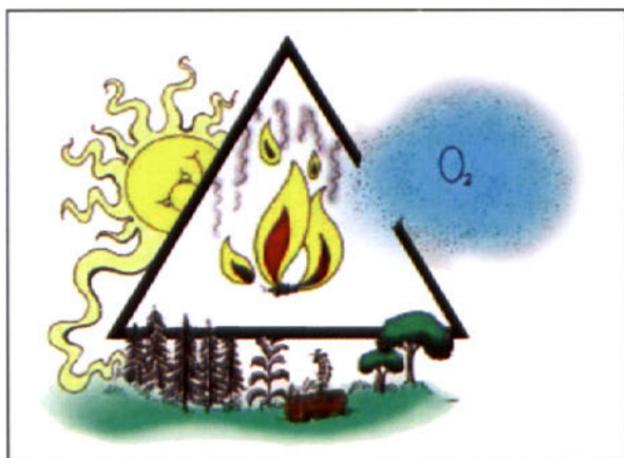


Figura 1. Triángulo del fuego (Rodríguez, 1996).

El calor puede transmitirse de cuatro formas diferentes: por conducción, convección, radiación y pavesas (Figura 2). En la conducción, el calor se transmite a través de los sólidos, como cuando se pone la punta de un tenedor a las llamas y el calor llega a los dedos. La convección consiste en el calentamiento del aire encima de las llamas, que al ser menos denso que el aire frío tiende a ascender, llevando el calor consigo. Parte del calor sobre una fogata se debe a la convección. En la radiación, el calor se transmite junto con la luz a una velocidad de casi 300 mil km seg<sup>-1</sup>. El calor que llega cuando se está a un lado de la fogata se debe en gran parte a la radiación.

Las pavesas son porciones de combustible ardiendo, que son transportadas por el viento, o que ruedan por una ladera y que al entrar en contacto con combustibles no quemados hacen que éstos ardan.

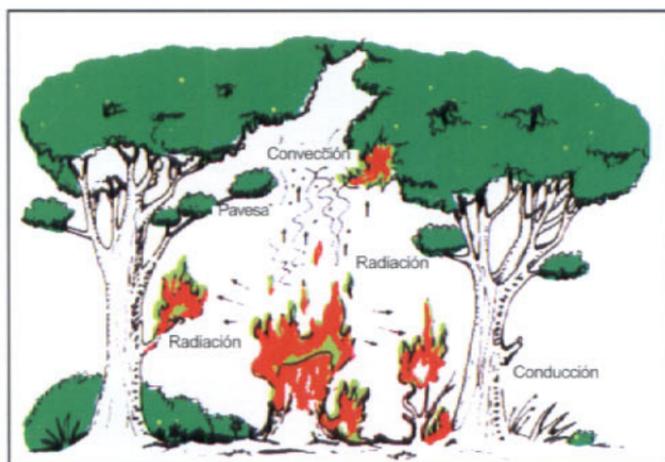


Figura 2. Formas de transmisión del calor (Rodríguez, 1996).

### Tipo de incendios

De acuerdo a su comportamiento o desarrollo y la clase de material que consumen los incendios se clasifican en tres tipos: 1. Superficiales, 2. Subterráneos y 3. De Copa (Rodríguez, 1996).

**Incendios Superficiales.** Este tipo de incendios son los más comunes y se caracterizan por consumir combustibles superficiales como hierbas, zacates, leña, hojarasca, etc., quemando la base de los árboles. Se considera combustible superficial todo aquel que se encuentra entre la superficie del suelo y 1.5 m de altura.

**Incendios Subterráneos.** Estos incendios consumen principalmente el mantillo y raíces bajo la superficie del suelo o la materia orgánica acumulada en las fracturas de grandes afloramientos de roca (malpaís).

**Incendios de Copa.** Consumen la totalidad de los árboles, propagándose tanto de copa en copa como superficialmente. Aunque no es el más común, es muy peligroso y difícil de controlar.

## **El fuego como un factor ecológico**

Los incendios forestales constituyen uno de los factores de perturbación más comunes y extensos en los ecosistemas terrestres (Pyne *et al.*, 1996; Rodríguez, 1996). Sin embargo, no es de sorprender el papel importante que desempeñan en los ecosistemas forestales, por lo cual, el entendimiento del papel ecológico del fuego en la dinámica de los ecosistemas forestales constituye un elemento básico para el diseño de prácticas de manejo adecuadas, tanto para la conservación biológica como para el manejo forestal sustentable (Jardel y Alvarado, 2003; Jardel *et al.*, 2004; Rodríguez, 2006).

### **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). Esta gran resistencia y capacidad de recuperación de los bosques de pino es donde radica la importancia del estudio de los regímenes de incendios, sustentados en estudios dendrocronológicos que permiten inferir con precisión el intervalo de frecuencia más adecuado para el uso de quemas prescritas con fines de manejo del ecosistema, además de la comprensión de los efectos ecológicos del fuego para cada asociación y localidad particular (Rodríguez, 2006).

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 que 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, *Pinus oocarpa* y *Pinus hartwegii*, *Pinus palustris* y *Pinus montezumae* (Keeley y Zedler, 1998; Rodríguez *et al.*, 2004, 2006).

### **Efectos del fuego sobre los ecosistemas**

El exceso en la frecuencia de incendios en las áreas forestales, visto de diferentes enfoques, resulta perjudicial; sin embargo, la exclusión del fuego trae consigo graves consecuencias para los ecosistemas; por ejemplo, la acumulación de combustibles que imprimirá mayor intensidad al fuego y que magnificará el impacto de éste en los bosques (Rodríguez, 2006). 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 desde el punto de vista de las características naturales de los ecosistemas forestales (Rodríguez, 1996; Ruiz, 2000; Jardel *et al.*, 2005). Por ejemplo, en un ecosistema dominado por árboles con adaptaciones a incendios severos, como es el caso con *Pinus contorta*, el incendio de copa no es una perturbación inesperada ni negativa en un sentido ecológico (aunque puede tener efectos negativos para los residentes del bosque). En contraste, un incendio de copa de la misma intensidad puede tener efectos muy negativos en un ecosistema que carece de esas adaptaciones, como es el caso de un bosque de *Pinus durangensis*.

### **Efectos positivos**

Entre los efectos positivos se encuentra la reducción de cargas de combustibles y, en consecuencia, el peligro de incendios severos;

movilización de nutrimentos, creación de condiciones de hábitat favorable para muchas especies de plantas y animales, eliminación de árboles suprimidos, enfermos o plagados, además de generar condiciones de temperatura propicias para la apertura y diseminación de semillas de conos serótinicos, estimula el rebrote de varias especies de pino (Rodríguez, 1996; Fulé y Covington, 1997; Rodríguez, 2006). El fuego es sin duda un elemento de poda natural; a menor altura del arbolado y mayor longitud de llama, el chamuscado alcanzará una gran proporción de la copa. Cuando la poda por el chamuscado resulta moderada, propicia un efecto importante en el crecimiento en diámetro (Rodríguez, 2006).

### **Efectos negativos**

Entre estos efectos 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 y afectación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas; además se afecta el ciclo de nutrimentos de manera directa e indirecta. De manera directa, por el vuelo de cenizas acarreadas por el viento o por su volatilización en forma gaseosa (N, S) y de forma indirecta, después del incendio por la erosión y lixiviación, disminución de la calidad del agua por 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 humo y gases que afectan la calidad del aire (Pyne *et al.*, 1996).

### **Regímenes de incendios**

Un régimen de incendio se define como la manifestación del factor ecológico fuego, originado por causas naturales en un

ecosistema natural forestal, a través de cierta frecuencia promedio y su variación, tipo, intensidad, extensión, regularidad o irregularidad de afectación de incendios forestales y época del año en que se presentan (Rodríguez, 1996).

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 (White y Pickett, 1985; Agee, 1993; Wright, 1996).

El rango de variación en el régimen de incendios en un ecosistema depende en gran medida de la frecuencia de siniestros, ya que ésta afecta a otras dos variables: severidad y extensión. Por ejemplo, intervalos extensos pueden provocar un aumento en la severidad al incrementar la mortalidad de plantas y formar claros de gran extensión a consecuencia de la acumulación de combustibles. A intervalos más cortos, los efectos disminuyen (Swanson *et al.*, 1994).

### **Cómo se analizan los regímenes de incendios**

Los regímenes de fuego en los bosques mixtos de coníferas pueden estudiarse a través de la observación directa, análisis de reportes sobre áreas afectadas a través del tiempo, obtención de información por medio de entrevistas con pobladores de las áreas forestales, toma de datos sobre indicadores de los efectos del fuego e 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 de la datación de restos de carbono en sedimentos o métodos dendrocronológicos (Arno y Sneck, 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 regímenes de incendios forestales (Grissino-Mayer, 2005).

Con la ayuda de la Dendrocronología se puede analizar la frecuencia de los incendios por medio del conteo de las cicatrices de fuego presentes en los anillos de crecimiento de los árboles (Arno y Sneck, 1977; Agee, 1993; Wright, 1996). Estas cicatrices se forman cuando el fuego es lo suficientemente intenso o tiene un tiempo de residencia muy 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 a través del proceso de crecimiento, de manera que quedará grabado en el anillo de crecimiento del árbol el año en que fue quemado (Agee, 1993).

Las cicatrices que deja el fuego en varios árboles de un sitio pueden utilizarse como señal de incendios históricos. Otros factores como heridas provocadas por 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 3).

### **Selección de áreas de estudio**

Para el estudio de la reconstrucción de los regímenes ecológicos de incendios se seleccionan rodales de *Pinus*, áreas de bosques puros o mixtos de coníferas, donde los incendios de origen

natural han mantenido su estabilidad ecológica a través del tiempo; sitios que representan bosques con excelente potencial para la interpretación del historial de incendios varios siglos en el pasado, registros que permiten generar información que garantice su mejor manejo y estabilidad (Figura 4).



**Figura 3.** 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 formará 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 (Cerano, 2008).

Es importante al momento de la selección de las áreas de estudio considerar que los sitios ideales para la reconstrucción de los regímenes ecológicos de incendios deban ser áreas forestales con el menor disturbio posible, de preferencia, áreas poco intervenidas por aprovechamientos maderables y donde los incendios en su mayoría sean de origen natural (por ejemplo incendios ocasionados por descargas eléctricas) (Figura 5).



Figura 4. Área afectada por un incendio superficial con efectos principalmente sobre la regeneración; estos tipos de incendios actúan como reguladores de la densidad de la población y su incidencia se registra en la cara de cicatrización del arbolado adulto que ha sobrevivido a varios siniestros y en los individuos jóvenes que sobreviven.



Figura 5. Área con evidencias mínimas de aprovechamiento en el pasado y con un excelente registro del historial de incendios, sitio Mesa de las Guacamayas, Chihuahua.

En muchos casos áreas con arbolado longevo que han estado sometidas a aprovechamientos maderables representan sitios con excelente potencial para el estudio del historial de incendios; esto se debe a que los individuos al momento de su aprovechamiento no son cortados al nivel del suelo, en la mayoría de los casos se cortan a una altura aproximada de 30 centímetros o más, debido a que la parte basal de la troza está dañada por la cicatrización de los incendios; dicha porción no representa importancia maderable para la industria, por lo que el corte se hace más alto, lo anterior permite que en campo se dejen tocones con excelentes registros de la historia de los incendios; estos registros complementados con la toma de muestras de los individuos vivos permiten desarrollar un excelente trabajo sobre la reconstrucción de la variabilidad de los incendios en el pasado y presente (Figura 6).



**Figura 6.** Fotografías de tocones con excelentes registros de incendios. Cada una de las diferentes capas de madera representan la cicatrización de un incendio. El tocón de la izquierda muestra evidencia de más de 10 incendios, y el tocón de la derecha se vio afectado por más de 15 siniestros en su ciclo de vida.

### **Diseño de muestreo**

El sistema empleado en la toma de muestras para reconstrucción de incendios es selectivo en su mayoría, es decir, se seleccionan en cada sitio de estudio los especímenes con las características deseables (mayor número de cicatrices) que permitirán cumplir con los objetivos planteados en el estudio, conocer el

comportamiento de los regímenes de incendio a través del tiempo, aunque también se aplican en determinados casos muestreos sistemáticos.

### Toma de muestras para la reconstrucción de regímenes de incendios

Una vez seleccionada el área de estudio o las áreas con el potencial para este tipo de investigaciones, una de las etapas más importantes es la toma de muestras o sea, conocer los registros del historial de incendios del arbolado (Figura 7).

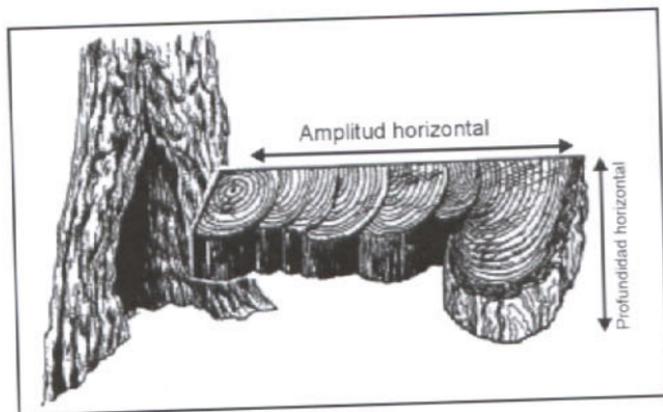


Figura 7. Esquemática de una muestra extraída de un tronco con seis cicatrices de incendios, donde se observa la profundidad de la cavidad (cara de gato o viejita) área de cicatrización, y los cortes comunes para el estudio de regímenes de incendios. Las dimensiones horizontales (amplitud y profundidad) se miden en la cavidad de la muestra (Heyedahl y Mckay, 2001).

En esta etapa es importante evitar la toma de muestras de aquellos individuos con una o dos cicatrices; los individuos ideales deben presentar el mayor número de cicatrices de incendios posibles y que éstas a su vez se registren de manera intensa (cicatrices con cierta profundidad en el tronco) y evitar cicatrices superficiales que al momento del corte de la muestra se pierdan, característica que

permitirá extender el registro de incendios en el tiempo y determinar la frecuencia con mayor éxito (Figura 8).



Figura 8. Individuos con registros de incendios: (a) árboles con gran número de cicatrices, por ejemplo, más de 15 incendios, que constituyen excelentes ejemplares para la reconstrucción histórica de los regímenes de incendios; (b) árboles que presentan tres o cuatro cicatrices, y cuando éstas son particularmente grandes, indican incendios intensos, en especial si se localizan en la parte interna del árbol, de donde es posible obtener excelente información del pasado. En ambos casos se recomienda la toma de muestras. Árboles con estas características pueden representar registros longevos de gran importancia para este tipo de estudios.

Las muestras de incendios se toman tanto de tocones como de árboles tirados, árboles muertos en pie y árboles vivos (Arno y Sneek, 1977). Se emplea como herramienta principal una motosierra para extraer secciones transversales totales de tocones, de árboles tirados y semienterrados, secciones parciales de árboles muertos en pie y de árboles vivos (Figura 9).

Se enfatiza en la toma de secciones en árboles muertos para dañar en lo mínimo árboles vivos (Baisan y Swetnam, 1990) (Figura 10). Asimismo, el muestreo debe cubrir la mayor superficie disponible, de tal manera que la reconstrucción sea lo más representativa de las diversas condiciones fisiográficas del sitio para captar la mayor variación de la cuenca hidrológica.



**Figura 9.** Proceso para la extracción de muestras con cicatrices de incendios. Se identifica la sección y posición del árbol con el mejor registro de incendios (mejor y mayor cantidad de cicatrices). Para obtener la muestra con las cicatrices se realizan dos cortes transversales y paralelos entre sí (a), luego se realiza un corte inclinado ( $45^\circ$  con respecto a la horizontal) que permita romper la parte interna que une la muestra con el centro del árbol (b) y se extrae la muestra (c). Una vista de la muestra con las cicatrices de incendios se observa en la secuencia (d). En caso de árboles tirados y tocones, si se requiere, es recomendable obtener una sección transversal completa (e).

Un bosque que carece de registros, cicatrices de incendios en arbolado muerto (tocones, árboles muertos en pie, muertos tirados) y el arbolado vivo, brinda excelentes registros para interpretar el historial del comportamiento de los incendios varios siglos en el pasado (individuos con varias cicatrices), son áreas factibles a considerarse, se identifican los mejores individuos y se toman las muestras. En este tipo de bosques es importante considerar la extracción de muestras pequeñas para evitar un daño significativo al arbolado.

La herramienta de trabajo de campo generalmente empleada en este tipo de estudios es motosierra, equipo de una capacidad y tamaño de barra variable, aunque generalmente se recomienda el uso de otras más grandes con un cilindraje de  $91.6 \text{ cm}^3$ , diámetro de cilindro de 54 mm, carrera de 40 mm, potencia de 5.0 kw y de 1,200

a 1,300 revoluciones por minuto; en el mercado existen varias marcas con estas características (Villanueva *et al.*, 2009) (Figura 9).

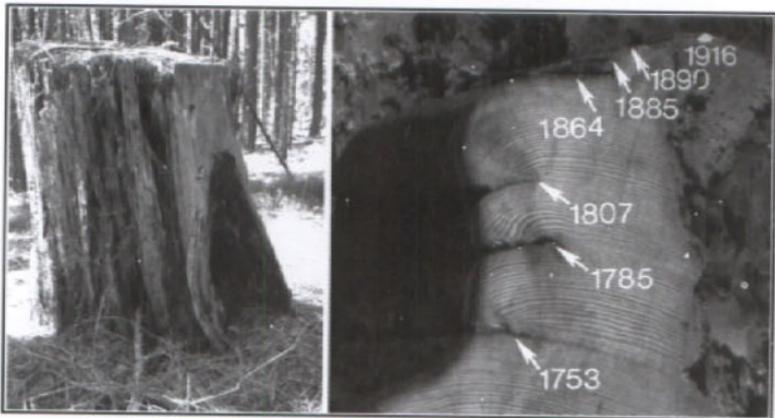


Figura 10. Muestra tomada de un tocón de pino que presenta un área con diversas cicatrices de incendios, conocida como «cara de gato» o «viejitas», formada por la repetida incidencia de incendios y su cicatrización (Brown, 2006).

Generalmente se emplean motosierras de grandes dimensiones porque permiten la extracción de muestras tanto de árboles pequeños como de árboles grandes, y se evita tener que trabajar con motosierras de diferentes dimensiones, algo impráctico en campo. Lo que se recomienda es contar con un equipo extra en cada uno de los muestreos por cualquier anomalía que se llegara a presentar y que el trabajo de campo no tenga que ser detenido.

Al elegir un árbol con cicatrices de incendios se debe explorar minuciosamente la parte en forma de triángulo con las cicatrices llamada también «cara de gato» o «viejitas» a fin de determinar la porción con mayor cantidad de cicatrices. En general, cuando el área de cicatrización o cara de gato son pequeñas, la mayor cantidad de cicatrices se presentan en la base del árbol; no obstante, se pueden localizar cicatrizaciones en forma de triángulo de varios metros de altura donde se localizan cicatrices que no están presentes en la

base del tronco. En estos casos se recomienda la toma de más de una muestra, una en la base y otra en la parte superior, de esta manera se captan todas las cicatrices del árbol, tocón o sección tirada en el piso forestal.

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 o cronología generada para la reconstrucción de variables climáticas en alguna área cercana a la región de estudio.

Cuando uno de los objetivos de la investigación sea estudiar la relación entre la variabilidad climática y la frecuencia de incendios (relación clima-incendios) y no se cuente con alguna cronología desarrollada, localizada en un sitio cercano al área de trabajo, se requerirá entonces ubicar rodales con árboles que posean el menor disturbio posible y seleccionar especímenes que presenten el mayor potencial para estudios paleoclimáticos. Para el caso de reconstrucción de variables climáticas se recomienda, de ser posible, trabajar con la especie *Pseudotsuga menziesii* (Mirb), la cual es de alta sensibilidad a la variabilidad hidroclimática y, por lo tanto, una de las especies con mejor potencial para este tipo de estudios. Por otra parte, se debe tener la opción de que en sitios donde no se desarrolle esta especie, se pueden utilizar otras coníferas; no obstante, pueden presentar mayor problemas en términos de fechar sus crecimientos al año exacto de su formación. Las muestras para este propósito se obtienen con taladro de Pressler de diversas dimensiones (Figura 11). Para mayor detalle sobre la metodología de muestreo se sugiere al lector consultar el Folleto Técnico 13, «Muestreo Dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales» (Villanueva *et al.*, 2009).



Figura 11. Toma de muestra de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) empleando taladro de Pressler con fines paleoclimáticos.

Es importante la captura de información ecológica y fisiográfica para cada uno de los árboles de los que se extraen muestras con cicatrices de incendios. Esta información debe incluir aspectos relacionados con la condición del árbol, características de la muestra, una breve descripción del micrositio y, principalmente, información específica sobre la ubicación geográfica de cada una de las muestras. Recopilar esta información tiene el objetivo de que en el laboratorio se cuente con elementos técnicos para la interpretación y discusión de los resultados que se generen, así como ubicar en un mapa cada punto de muestreo y facilitar las interpretaciones relacionadas con la influencia topográfica del terreno y de la vegetación misma (Forma 1).

Una vez obtenida la muestra y recavada toda la información de campo referente a la descripción del micrositio, condición de la muestra y ubicación geográfica, todas aquellas muestras con cierto grado de deterioro o pudrición deben protegerse; lo más recomendable y práctico es envolverlas en plástico para evitar mayores daños durante el traslado al laboratorio (Figura 12a). Es común en este tipo de trabajos que alguna de las muestras dado su grado de deterioro se

seccionen; en estos casos se recomienda unir las partes y señalar en la muestra, con el apoyo de un marcador, dónde va cada una de las piezas; lo anterior, también se complementa con la toma de una fotografía de la muestra en el terreno como se pide en el formato de campo, situación que permite una mejor restauración en laboratorio (Figura 12b).



**Figura 12.** Protección de las muestras para evitar su deterioro durante el transporte (a) y muestras seccionadas con señalamientos de la dirección de las piezas para facilitar su integración en el laboratorio (b).

Durante el proceso de preparación y restauración de muestras en laboratorio se recomienda realizar la unión de las diferentes piezas de la muestra al aplicar pegamento (por ejemplo, pegamento blanco para madera). En el caso de que el grado de deterioro o pudrición de la muestra origine que la aplicación del pegamento no sea suficiente para obtener la solidez requerida en los diferentes procesos de preparación (pulido y fechado), ésta recibirá un tratamiento especial que consiste en montar la pieza completa una vez identificadas y ensambladas todas sus partes sobre una superficie de madera (por ejemplo triplay), donde la muestra se adhiere utilizando una grapadora mecánica; esto permite tener una muestra más sólida y que se pueda



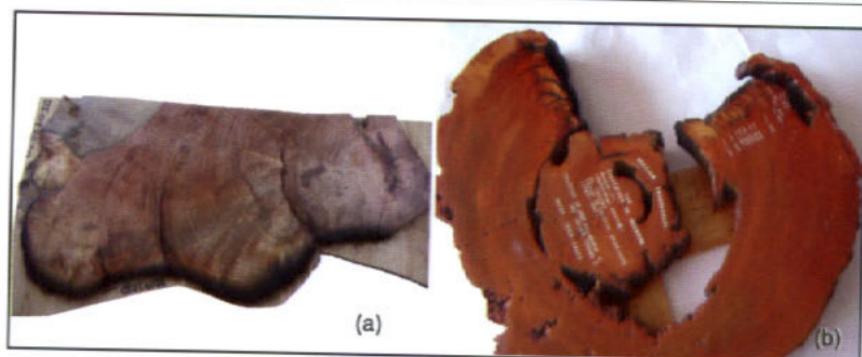


Figura 13. Muestras restauradas con cicatrices de incendios. La muestra (a) se montó totalmente en una porción de triplay para una mejor solidez; la muestra (b) se montó de manera parcial, dando especial solidez a determinadas partes de la muestra.

### Equipo de protección para la toma de muestras

En la fase de campo el equipo de protección es uno de los elementos importantes a considerar. En principio, la persona encargada de la toma de muestras debe tener entrenamiento y experiencia en el manejo de motosierra para evitar accidentes y disponer del equipo básico de protección personal, compuesto por casco, lentes, tapones para los oídos, guantes, chaparreras y botas de campo. Este equipo es elemental para el trabajo de colecta de muestras (Figura 14).

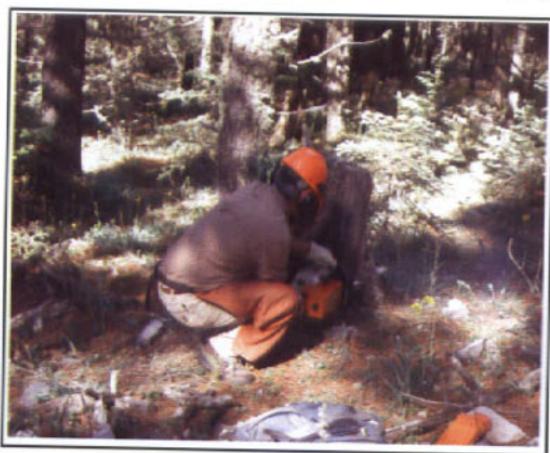


Figura 14. Elementos básicos de protección personal, para la toma de muestras con motosierra en campo.

## **Mantenimiento del equipo de trabajo**

Las muestras para el estudio de los regímenes de incendios en su mayoría se extraen de tocones, árboles tirados y madera semienterrada; esto ocasiona que con frecuencia, aunque se tomen las precauciones adecuadas, la espada de la motosierra golpee o roce tierra y rocas, el contacto de la cadena con este tipo de materiales ocasionan que los dientes pierdan filo o se doblen, lo que provoca una baja o nula eficiencia en el corte y un mayor esfuerzo del operador.

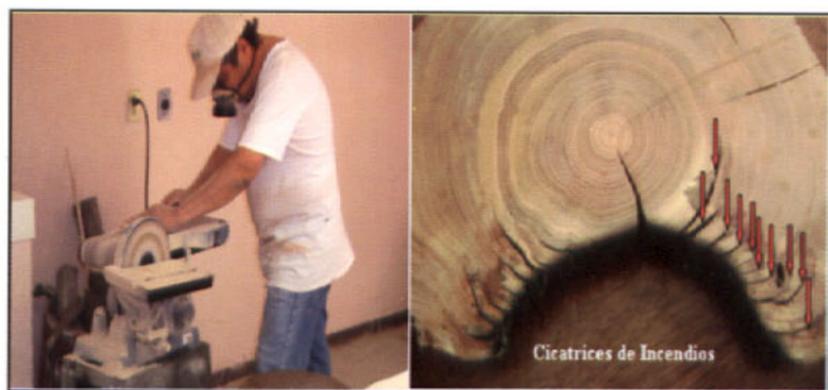
Para garantizar el buen funcionamiento del equipo de trabajo es recomendable revisar el estado general de la motosierra, y en específico la cadena y la espada, de preferencia al finalizar el corte de cada una de las muestras; si se detecta algún daño se debe dar el mantenimiento inmediato; dicho mantenimiento puede incluir el afilado, enderezado de filo y espada, chequeo de niveles de gasolina y aceite, etc. Se sugiere llevar siempre consigo herramientas de afilado (limatón o cola de rata), llaves para desmontar y cambiar cualquier parte de la motosierra; asimismo, es importante disponer de determinadas partes adicionales como: cadenas, espadas y bujías (Figura 15).



**Figura 15.** Diagnóstico y mantenimiento de la motosierra después del corte de una muestra con cicatrices de incendio.

## Preparación de muestras en laboratorio

Cuando termina el trabajo de campo y se tienen las muestras en el laboratorio, éstas se secan al aire libre bajo sombra. Posteriormente se cortan a un grosor uniforme (3 a 5 cm) para facilitar su manejo en el microscopio y sistema de medición. Las muestras no deben secarse directamente al sol, ya que se produce una repentina pérdida de humedad ocasionando rompimiento de las fibras y de la muestra en sí. Posterior al secado, las muestras se someten a un proceso de pulido utilizando lijas con grado secuencial de grano grueso a fino (30 a 1,200). Esta secuencia de granos en el pulido permitirá resaltar las estructuras de los anillos de crecimiento y apreciar con mayor claridad la ubicación exacta de la cicatriz del incendio en el anillo de crecimiento (Figura 16).



**Figura 16.** Preparación de muestras utilizando diferentes grados de lijas. La figura del lado derecho señala la ubicación de las cicatrices de incendios posterior a su pulido.

La datación de las muestras se realiza mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968) (Figura 17). Cuando las muestras se obtienen de árboles vivos y jóvenes el año actual de crecimiento corresponderá al primer anillo exterior (primer anillo cercano a la corteza). En muestras con anillos de crecimiento claros, el fechado se realiza directamente en la muestra, contando

los anillos bajo una lupa estereoscópica, se inicia en la parte exterior (corteza) y continua hacia el interior (centro del árbol). En esta situación, las fechas de crecimiento se asignan directamente a cada uno de los incrementos anuales. En muestras más longevas de árboles vivos, y principalmente árboles muertos, se realizan gráficos de crecimiento («Skeleton Plots») para cada una de ellas. Estos gráficos se comparan con un gráfico maestro derivado de alguna cronología previa para un sitio cercano al área de estudio. En caso de no existir ninguna cronología cercana se tendrá que desarrollar un gráfico maestro para el sitio, y cada una de las muestras de incendios se deberá comparar con dicho gráfico para su perfecto fechado y generar la cronología de incendios (Figura 17).

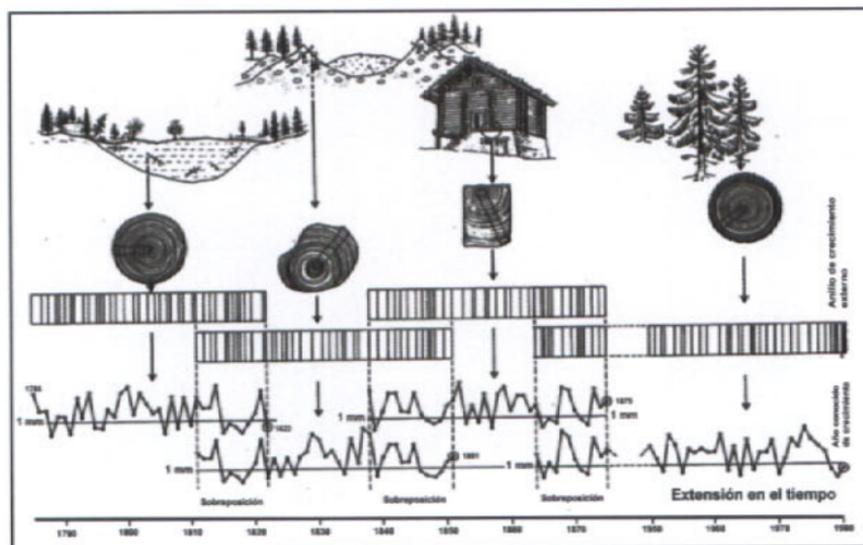


Figura 17. Esquema del fechadado cruzado, principio de la Dendrocronología, que permite determinar el año exacto de formación de cada anillo de crecimiento y que con base en la similitud de los patrones de crecimiento es factible extender en el tiempo las series fechadas, al lograr datar árboles vivos, troncos muertos, enterrados o semienterrados, que a su vez determinarán la extensión en el tiempo de la reconstrucción, tanto climática como de regímenes de incendios (Fritts, 1976).

Cuando se carece de alguna serie de tiempo, donde su fechado no está corroborado estadísticamente, se recomienda medir los anillos de crecimiento de algunas muestras jóvenes con presencia de cicatrices de incendios ya prefechadas. La medición se realiza con un micrómetro de precisión 0.001 mm y platina de fase deslizante que van conectados a una computadora (Robinson y Evans, 1980). El fechado y exactitud de la medición de cada anillo se verifica con el programa COFECHA, el cual correlaciona períodos de 50 años con traslape de 25 años (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001). Este programa se emplea también como apoyo para verificar de manera estadística el fechado de muestras de incendios, cuando así lo amerita el caso.

Las muestras de árboles vivos, cuyo fechado ha sido corroborado estadísticamente a través del programa COFECHA, permitirán desarrollar un gráfico promedio, el cual será empleado para el fechado de muestras longevas de árboles vivos y principalmente las muestras procedentes de árboles muertos.

### **Determinación de la estación de ocurrencia de incendios**

Después de fechar exactamente cada anillo anual de las muestras de incendios, el siguiente paso es identificar el período de ocurrencia de cada uno de ellos, lo cual se realiza 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 categoriza según la metodología propuesta por Grissino-Mayer (2001) (Figura 18), que utiliza las siguientes siglas en Inglés:

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

- b. EE, madera temprana (cicatriz localizada en la primera tercer parte de la porción de la madera temprana).
- c. ME, mitad de la madera temprana (cicatriz localizada en la porción media de la madera temprana).
- d. LE, madera temprana tardía o final (cicatriz localizada en la última tercera parte de la madera temprana).
- e. L, madera tardía (cicatriz localizada en la madera tardía).

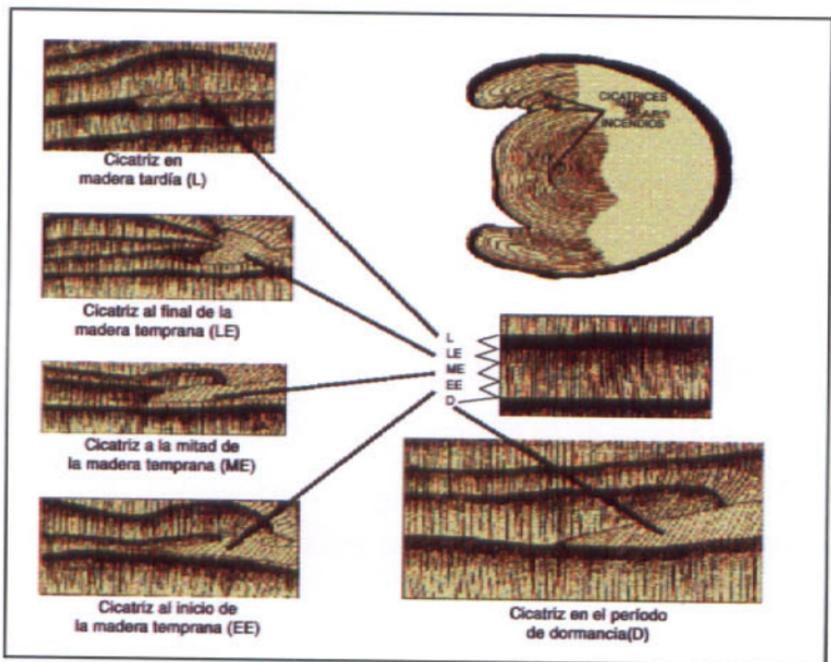


Figura 18. Categorización de la época de ocurrencia de los incendios en una sección transversal (Grissino-Mayer, 2001).

La ubicación exacta de la posición de la cicatriz del incendio en el anillo anual de crecimiento, fechado al año exacto de su formación, permite tener información adicional al año de ocurrencia como la época en que se registraron cada uno de los incendios. Lo anterior proporciona información que facilita conocer el número y

porcentaje de incendios ocurridos o registrados en cada una de las épocas del año, que a su vez constituye una herramienta importante para la toma de decisiones y ejecución de programas de manejo y prevención de incendios.

### **Análisis de 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).

Los análisis estadísticos de intervalos de frecuencia de incendios, recurrencia y variabilidad en el tiempo se generan de manera gráfica y estadística con el software FHX2 (Grissino-Mayer, 2001), programa que puede consultarse en la página electrónica <http://www.forestresearchtools.com/fhx2.html>. Este software también produce una cronología maestra de incendios para cada sitio analizado (Dieterich, 1980).

Los intervalos de incendios se analizan estadísticamente por medio de diferentes categorías o filtros; primero, al considerar todas las muestras con cicatrices de incendio incluyendo aquellas muestras con una sola cicatriz; segundo, todas las muestras con cicatrices de incendio registradas en el 10 por ciento o más de las muestras, y por último, años con cicatrices de incendio registrados en el 25 por ciento o más de las muestras.

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

- a. Frecuencia media de incendios (FMI).
- b. Intervalo mínimo entre incendios o intervalo más corto (IMIN).
- c. Intervalo máximo entre incendios o intervalo más largo (IMAX).

- d. Intervalo medio de probabilidad de Weibull (IMPW). Este estadístico permite conocer el intervalo medio de probabilidad de recurrencia de incendios en el área forestal de interés en la que se esté trabajando.

El software FHX2 alimentado con toda la información sobre los registros de ocurrencia de incendios que corresponden a cada una de las diferentes muestras facilita analizar de manera gráfica la variabilidad de los incendios a través del tiempo, desglosa la información de manera resumida en tres gráficos al considerar los tres diferentes filtros (todas las muestras con cicatrices de incendios, cicatrices registradas en el 10 y 25 por ciento de las muestras o más) (Figuras 19 a, b y c). Estos filtros permiten observar los incendios que fueron más extensos y severos, en comparación con aquellos que se registraron en sólo unos cuantos árboles, lo cual indica que el siniestro cubrió una superficie muy reducida, con alta probabilidad de que haya sido de baja intensidad (Swetnam y Baisan, 1996, 2003).

En general, los diferentes filtros permiten conocer en primera instancia la variabilidad general del comportamiento de los incendios a través del tiempo para determinada región; al considerar todas las muestras y al aplicar filtros del 10 y 25 por ciento facilita observar las fechas de los incendios con intensidad media y aquellos con alta probabilidad de ser los más intensos y extensos en la región, en función al área de distribución que cubrieron.

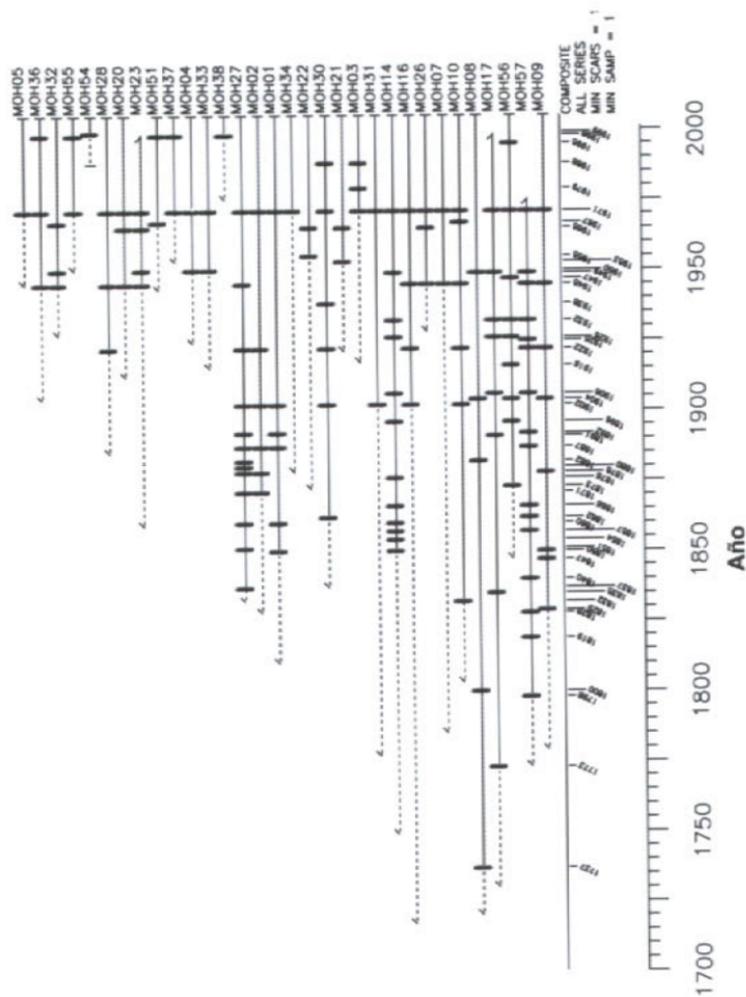


Figura 19 (a). Gráfico de la variabilidad de los incendios al considerar todas las cicatrices.

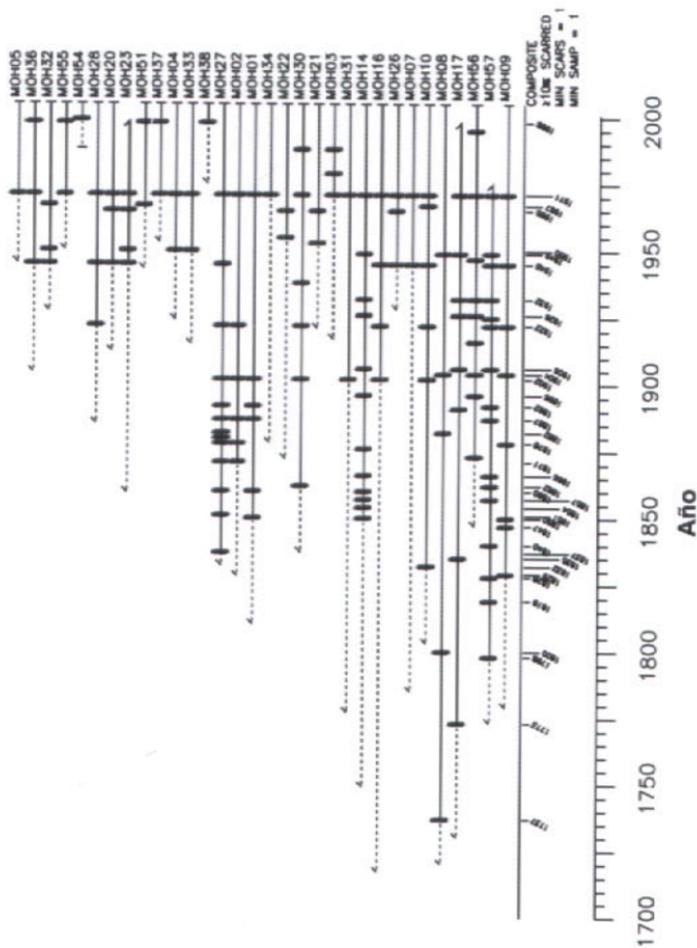


Figura 19 (b). Gráfico que involucra todas las muestras con cicatrices de incendios registradas en el 10 por ciento o más de las muestras.

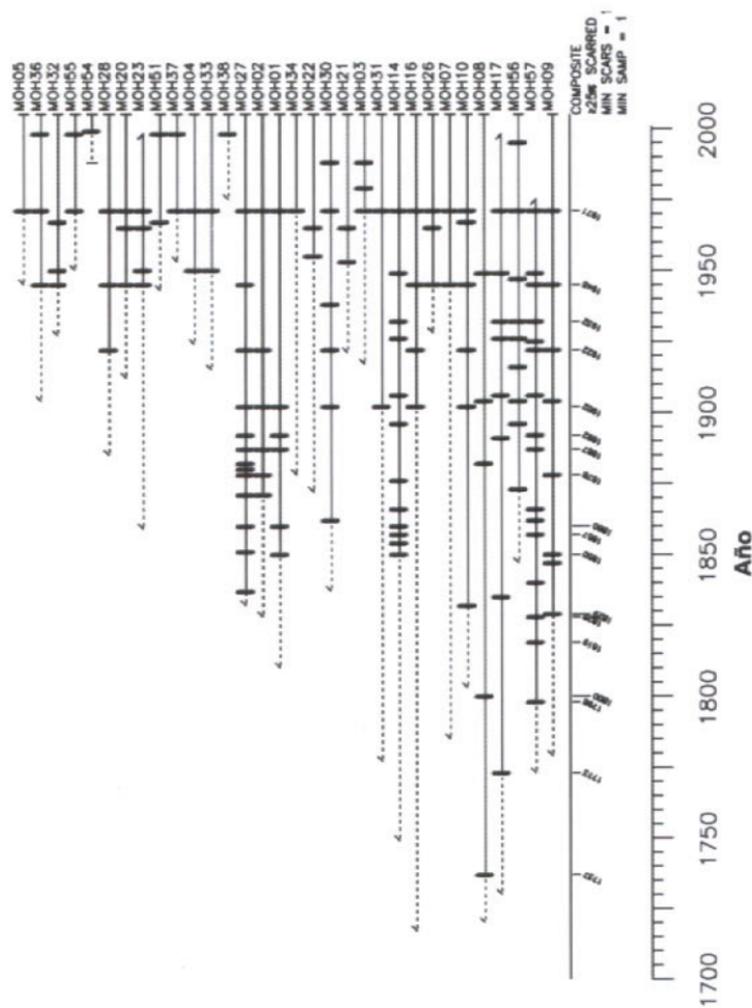


Figura 19 (c). Gráfico que muestra las cicatrices de incendio registrados en el 25 por ciento o más de las muestras.

Cuando las diferentes líneas de color negro que se muestran de manera perpendicular a la longitud de la muestra en el gráfico y que corresponden a cada uno de los incendios, tienden a formar una línea vertical, indican que el siniestro para ese año específico fue un incendio intenso y extenso, que cubrió todas las condiciones fisiográficas del área de estudio (Figura 22). Por el contrario, cuando estos puntos aparecen en el gráfico muy dispersos, y no coinciden con otros puntos en las diferentes muestras (sin formar una línea vertical continua), esto indica que se trata de incendios muy localizados, que no representan una amplia área de influencia o afectación (Figura 19).

La Figura 19 representa la variabilidad en el número de incendios al considerar cada uno de los diferentes filtros estadísticos de análisis; por ejemplo, la Figura 19 (a) indica en el eje secundario superior de las «X» la fecha de todos los incendios; lo anterior, se debe a que el filtro considera las cicatrices de incendios de todas las muestras. La Figura 19 (b) muestra un número más reducido de las fechas de incendios, que se observan en el eje de las «X»; estos son incendios de mayor intensidad. Finalmente la Figura 19 (c), donde el número de fechas de incendios es menor, sugiere que las fechas finales representan únicamente los incendios de mayor intensidad, que para este caso y a manera de ejemplo, corresponden a las fechas de 1902, 1904, 1922, 1945 y 1971.

### **Reconstrucción de regímenes de incendios**

Los incendios forestales han ocurrido históricamente en los bosques de México, y con el devenir de los años se ha implementado una serie de estrategias avocadas a su combate y eventualmente a su manejo (Flores y Rodríguez, 2006). Sin embargo, aún falta una investigación más extensa en esta área que permita un mayor conocimiento y que brinde las herramientas para una prevención más

eficaz y para el combate y manejo de incendios. Ante esta situación es relevante ampliar la investigación en este rubro que permita generar conocimiento sobre el comportamiento histórico de los incendios para cada uno de los ecosistemas forestales del país; información de gran valía en la prevención y manejo del fuego, cuyo objetivo final sería minimizar las superficies forestales afectadas anualmente y garantizar una mayor protección de los recursos naturales en México.

A continuación se describe una breve explicación de manera detallada y ordenada de la interpretación de los resultados más relevantes generados en la reconstrucción de los regímenes de incendios en la Reserva Cerro Mohinora, Chihuahua, empleando la técnica de la Dendropirocronología con el apoyo del software FHX2.

### **Estudio de caso para la «Reserva Cerro Mohinora»**

Uno de los trabajos de reconstrucción de los regímenes de incendios es el desarrollado para la Reserva Cerro Mohinora en el estado de Chihuahua (Cerano *et al.*, En Edición). El área se localiza al suroeste del estado de Chihuahua, cerca de los límites con los estados de Durango y Sinaloa ( $25^{\circ} 57' 16''$  N,  $107^{\circ} 01' 38''$  O, parte alta;  $25^{\circ} 58' 27''$  N,  $107^{\circ} 02' 26''$  O, parte media y  $25^{\circ} 58' 23''$  N,  $107^{\circ} 01' 35''$  O, parte baja); el área comprende un gradiente de elevación de 2,500 a 3,000 m (Figura 20).

En la parte alta del área de estudio se distribuyen bosques de pino y *Abies-Pseudotsuga-Picea*; en la parte media se desarrolla un 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*.

El área se dividió en dos sitios de trabajo, la parte baja y la parte alta. Se colectó un total de 100 secciones transversales con cicatrices de incendios de las especies *Pinus duranguensis*, *P.*

*arizonica* y *P. ayacahuite*; se lograron fechar 73 secciones con un total de 277 cicatrices de incendios, las cuales se emplearon para el análisis de los regímenes de incendios. Del total de secciones, 32 fueron colectadas en la parte alta con 143 cicatrices, y 41 en la parte baja con 134 cicatrices de incendios.

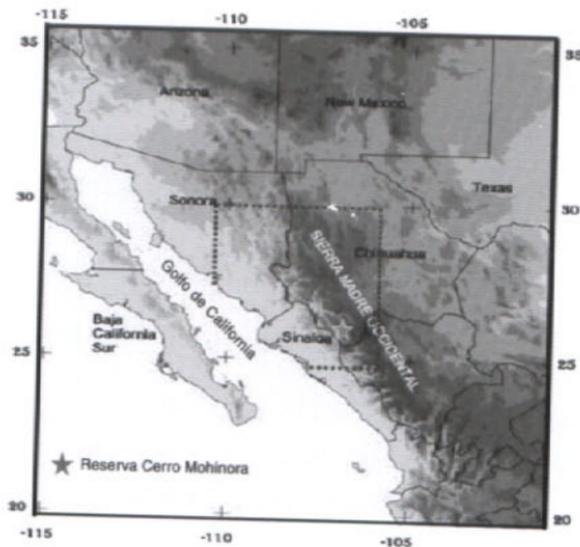


Figura 20. Localización geográfica del sitio de muestreo «Reserva Cerro Mohinora», en el suroeste del estado de Chihuahua.

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 (Figura 21). Después de 1970 a la fecha se detectó un período libre de incendios frecuentes, sólo perturbado por incendios localizados y de baja intensidad ocurridos en los años 1979, 1988, 1995, 1998 y 1999.

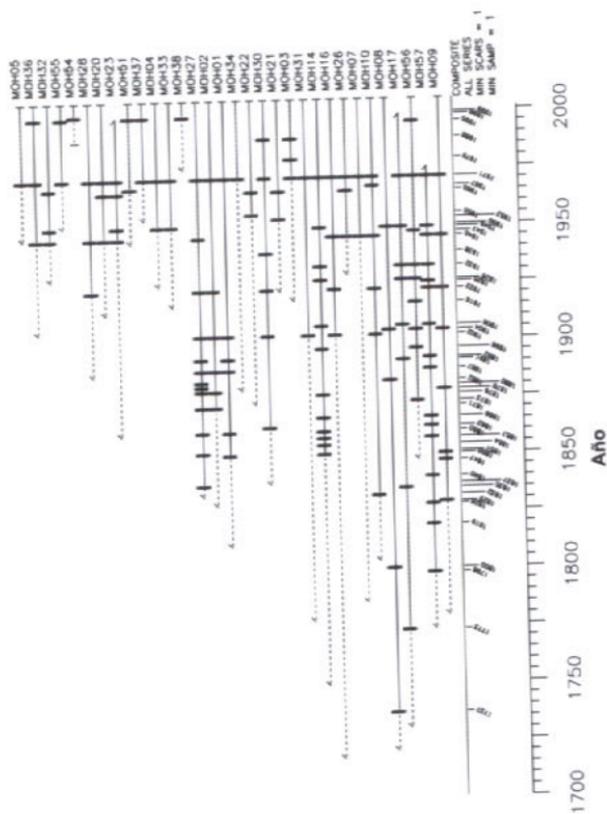


Figura 21. Reconstrucción de la frecuencia de incendios para los últimos 300 años en la parte alta de la «Reserva Cerro Mohinora», Chihuahua. Las líneas horizontales representan la extensión de cada una de las muestras con cicatrices y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios, al considerar todas las cicatrices, se indican sobre el eje inferior (Cerano et al., En Edición).

En la parte baja, el historial del fuego se reconstruyó para el período 1900-2005, donde 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 incendios para los años 1902, 1922 y 1933 (Figura 22).

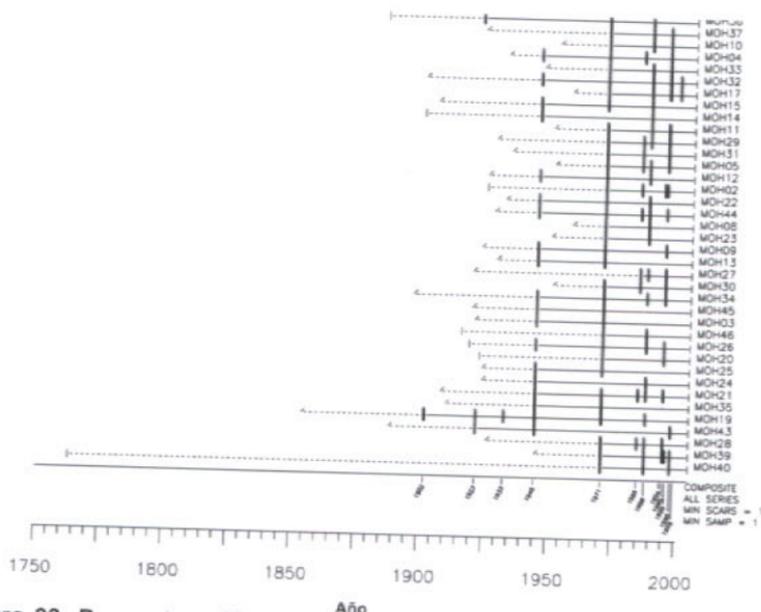


Figura 22. Reconstrucción del régimen histórico de incendios para los últimos 100 años en la parte baja de Cerro Mohinora, Chihuahua. Las líneas horizontales representan el período de cada una de las muestras con cicatrices, y las barras verticales son eventos de incendios. Los años en los cuales se registraron los incendios (considerando todas las cicatrices) se muestran sobre el eje inferior (Cerano et al., En Edición).

Ambos sitios indican registros de incendios para los años de 1902, 1922, 1945, 1971, 1988, 1995 y 1998. Con base en la superficie afectada, los incendios de 1945 y 1971 fueron los más fuertes y extensos. Este comportamiento se relaciona con las intensas sequías que afectaron esta región y que se encuentran reconstruidas para las

décadas de 1940 y 1970 en la serie de tiempo, donde se describe la variabilidad de la precipitación para esta región (Cerano *et al.*, 2009).

### 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 cicatrices (aun aquellas con una sola cicatriz), 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 por ciento 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 registradas en el 25 por ciento o más de las muestras, el MFI varió entre 13.3 y 13.8, y el WMPI entre 11.6 y 12.4 años (Cuadro 1).

Los intervalos presentan un comportamiento muy similar a los reportados en otros estudios sobre frecuencia de incendios en bosques mixtos de pino del norte de México. Para la Michilía, Durango se reconstruyeron intervalos medios de frecuencia de incendios de 3.2 a 7.6 años (Fulé y Covington, 1999); mientras que para la Sierra los Ajos, Sonora se reportan intervalos 4.0 a 5.9 años (Swetnam *et al.*, 2001). Para la Sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua y Durango, se reportan intervalos medios de 3.0 a 6.0 años (Heyerdahl y Alvarado, 2003). Estudios recientes de frecuencia de incendios para la Reserva Tutuaca, al oeste de Chihuahua, reporta intervalos medios de frecuencia de incendios de 3.9 a 5.2 años, e intervalos medios de frecuencia de 2.0 a 6.0 años para la Reserva Las Bayas, Durango (Fulé *et al.*, 2005; Drury y Veblen, 2008).

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

| Sitio                    | Período de análisis | Categoría de análisis | No. de intervalos | MFI <sup>3</sup> | Min. | Máx. | WMPI <sup>4</sup> |
|--------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|------------------|------|------|-------------------|
| <b>MOHPA<sup>1</sup></b> | 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             |
| <b>MOHPB<sup>2</sup></b> | 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             |

<sup>1</sup>MOHPA = Mohinora parte alta <sup>2</sup>MOHPB = Mohinora parte baja<sup>3</sup>MFI = Intervalo medio de frecuencia<sup>4</sup>WMPI = Intervalo medio de probabilidad Weibull.

## Estación de ocurrencia de los incendios

La estación de ocurrencia del incendio se estimó por medio de la ubicación física de la cicatriz en el anillo de crecimiento (Grissino-Mayer, 2001).

La estación de ocurrencia se determinó en el 100 por ciento 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. 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 sólo el 5.6 por ciento se registró en los meses de verano (Cuadro 2).

Para la parte baja, 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 las muestras registraron incendios en la parte inicial de crecimiento de la madera temprana (66.4%); un poco más de la mitad de los incendios se registraron en los meses de primavera (66.4%), y el resto durante los meses de verano (33.6%) (Cuadro 2).

Cuadro 2. 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 <sup>A</sup> | Incendios de verano <sup>B</sup> |
|--------------------|----------------------|-------------------------|---|------|------|-----|---|-------------------------------------|----------------------------------|
| <sup>1</sup> 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                              |
| <sup>2</sup> 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                             |

<sup>1</sup>MOHPA = Mohinora parte alta, <sup>2</sup>MOHPB = Mohinora parte baja<sup>A</sup>Dormancia más madera temprana (D + E).<sup>B</sup>Mitad de la madera temprana más final de madera temprana más madera tardía (M+L+A).

En estudios desarrollados en la Reserva de la Biósfera «La Michilía», Durango, México, se reconstruyeron los regímenes de incendios y se encontró que el 82 por ciento de los incendios ocurrieron en la estación de primavera y el 18 por ciento en la estación de verano (Fulé y Covington, 1999). Para la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México, el 52 por ciento de los incendios se registraron en primavera y el 48 por ciento en verano (Stephens *et al.*, 2003). La «Reserva Tutuaca», al oeste de Chihuahua, reporta un comportamiento similar en la ocurrencia estacional de los incendios, donde el 73 por ciento de las cicatrices se registraron en la estación de dormancia e inicio de la madera temprana, período que corresponde a los meses de primavera, y 27 por ciento de las cicatrices se registró en la mitad del crecimiento y final de la madera temprana, período que corresponde a los meses de verano (Fulé *et al.*, 2005). Para el noroeste de México se desarrollaron estudios de frecuencia de incendios en 12 diferentes sitios, donde se reporta que más del 50 por ciento de los incendios se registran en el período de primavera (Skinner *et al.*, 2008).

Caso contrario ocurre en el norte de Arizona, EUA, donde 70 por ciento de los incendios se presentan en el período que corresponde a los meses de verano y un 30 por ciento se registra en los meses de primavera (Heinlein *et al.*, 2005). Otro trabajo en el sur del parque nacional «Gran Cañón», reporta que el 82 por ciento de los incendios ocurrieron en el período de verano, y el 18 por ciento en primavera (Fulé *et al.*, 2003).

### **Relación clima-incendios**

La relación entre las variaciones del clima y la ocurrencia de incendios se analizan con la subrutina Análisis de Sobreposición de Época (SEA, por sus siglas en inglés), del software FHX2 (Grissino-Mayer, 2001). Para este tipo de análisis se requieren dos bases de datos; la primera, una cronología regional de anillos de árboles para

emplearse como «*proxy*» del clima; para esto, se emplea alguna cronología o serie de tiempo generada cerca del área de estudio, de no existir, es importante generar una serie de tiempo con las especies presentes del género *Pinus* o de ser posible con *Pseudotsuga menziesii*, especie con alto potencial para estudios de reconstrucción de la variabilidad climática por su sensibilidad a los cambios ambientales (Stahle *et al.*, 1998, 1999). La segunda base de datos consiste en la cronología maestra de incendios desarrollada para el análisis de reconstrucción del historial de incendios.

Debido el impacto de fenómenos atmosféricos de circulación general, como el Monzón (NAMS, por sus siglas en inglés), El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), entre otros fenómenos que definen la precipitación de las épocas cálida y fría del año para diferentes regiones de México y del mundo, se considera de gran importancia analizar la influencia de estos fenómenos en la ocurrencia de incendios, empleando la subrutina SEA del programa FHX2.

En la «Reserva Cerro Mohinora» se generó un estudio que permitió conocer la relación entre la variabilidad climática y el comportamiento de los incendios. El sitio de estudio se analizó por separado, es decir, parte alta y parte baja. Se reconstruyó la precipitación de los últimos 350 años y la variabilidad hidroclimática derivada de este estudio se utilizó con fines comparativos para determinar su influencia en la variabilidad e intensidad de los incendios reconstruidos.

Los resultados de la relación clima-incendio se pueden observar en un gráfico de barras, donde el valor del clima promedio está representado por el número uno en el eje vertical «Y». El procedimiento «bootstrapping» se utilizó para evaluar la significancia

estadística del clima en la ocurrencia de incendios, cuando supera la media (años húmedos, valor superior a 1.0), y cuando cae por abajo de la media (años secos, valor inferior a 1.0). El primer año (año «0») en el eje «X», indica el año en que ocurrió el incendio, y los valores -5 hasta -1 representan las condiciones de los cinco años previos al incendio, y los valores uno y dos indican la influencia del clima los siguientes dos años posteriores al incendio. Las tres líneas horizontales discontinuas ubicadas arriba y abajo del eje «X» en cada uno de los gráficos constituyen los intervalos de confianza al 95, 99 y 99.9 por ciento, respectivamente (Figuras 23 y 24).

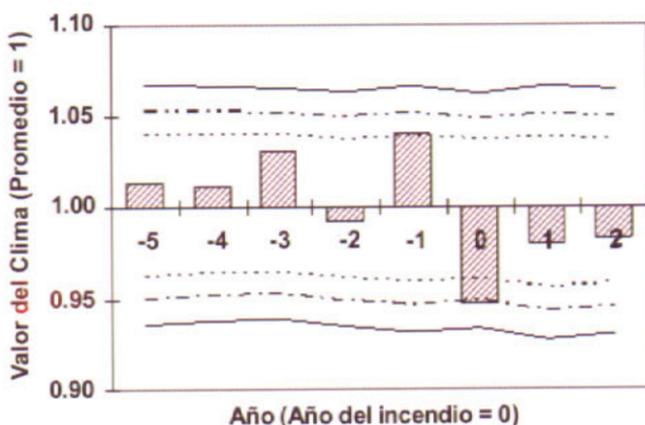


Figura 23. Análisis de clima e incendios empleando el programa SEA para la parte alta del Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones húmedas un año previo al incendio y condiciones secas durante el incendio.

Para la parte alta se encontró que los incendios tendieron a ocurrir en años secos ( $p < 0.01$ ) y seguido también de años secos, aunque no de manera significativa ( $p > 0.05$ ). El año anterior a los incendios fue un año húmedo, condiciones de precipitación por arriba de la media ( $p < 0.05$ ) (Figura 23).

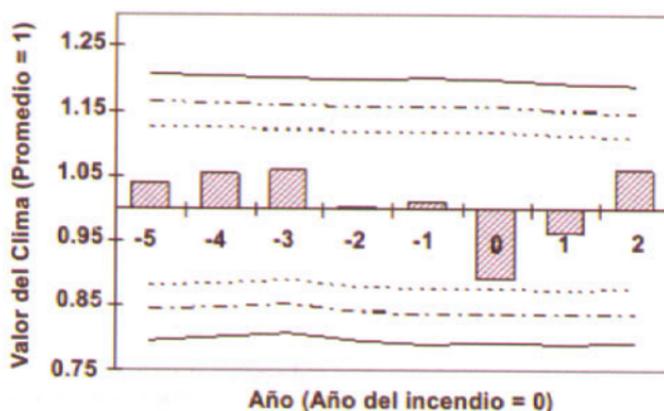


Figura 24. Análisis de clima e incendios empleando el programa SEA para la parte baja del Cerro Mohinora, Chihuahua. El análisis indica condiciones secas durante el incendio y ligeramente húmedas antes del incendio.

La parte baja mostró un comportamiento similar a la parte alta, los incendios se presentaron en años secos aunque no de manera significativa ( $p > 0.05$ ), seguido de un año seco ( $p > 0.05$ ). El año anterior a la ocurrencia de los incendios presentó condiciones húmedas, aunque esta relación no fue estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) (Figura 24).

Para la parte baja, la presencia de incendios no estuvo supeditada a la ocurrencia de sequías intensas y de años húmedos previos al incendio. Lo anterior se puede atribuir a que en la parte baja las condiciones ambientales generalmente son más húmedas y 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 establecen las condiciones propicias que hacen más susceptible al área a la incidencia de incendios.

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

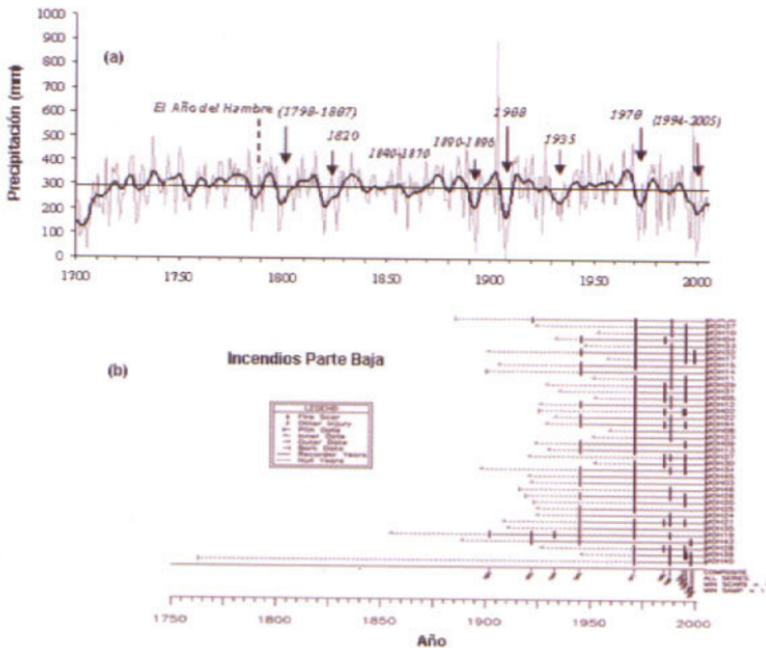
### **Influencia del ENSO en la frecuencia de incendios**

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

En general, tanto la parte alta como la parte baja del área de estudio en Cerro Mohinora se vieron afectadas por incendios de gran intensidad en los años de 1902, 1904, 1922, 1945 y 1971. Siete de los años con mayor incidencia de incendios como 1902, 1904, 1922, 1945, 1971, 1995 y 1988, estuvieron asociados a eventos extremos de ENSO (Figura 25). Los años de 1971 y 1945 presentaron los incendios más intensos y extensos registrados en la región, lo cual también es indicativo de la intensidad del fenómeno ENSO durante dichos años.

En la reconstrucción del régimen de incendios para Cerro Mohinora, Chihuahua, el año de 1971 fue el de mayor frecuencia de incendios para los meses de primavera-verano. Lo anterior se atribuye a la presencia de la fase cálida de ENSO en 1969 que originó intensas sequías en el verano de 1970, con lo que se inició la fuerte sequía de la década de los setenta. En el año de 1970 se presenta nuevamente un evento ENSO en su fase fría, que no trajo ningún incremento en la precipitación; de esta manera, el verano de 1971 constituyó el año más seco de la década de los setenta (Figura 25); lo que favoreció

una alta frecuencia de incendios, como ha sido reportado para ese año en la región del suroeste de Chihuahua.



**Figura 25.** Relación entre la variabilidad de precipitación (a) y la ocurrencia de incendios (b) en los últimos 100 años en la Reserva Cerro Mohinora al analizar la influencia del ENSO. La Figura (b) muestra los años con mayor frecuencia de incendios como 1902, 1922, 1945, 1971, 1988 y 1995. En la Figura (a) se observa la alta variabilidad en precipitación como resultado de la influencia del ENSO, fase cálida y fría, situación que incidió de manera significativa en la frecuencia de incendios.

El año de 1945 ocupa el segundo lugar en cuanto a presencia de incendios, lo cual es consecuencia del período seco ocurrido de 1929 a 1940 y a su vez provocado por los eventos de El Niño de 1929, 1930 y 1940 en su fase cálida, dando así paso a una reducción de la precipitación de verano (retraso de las lluvias del Monzón). Seguido de estas sequías se presentaron eventos de El Niño en los años 1942 y 1944 en su fase fría, lo que propició a su vez un incremento en la

precipitación de verano y, en consecuencia, acumulación de combustible fino (pastos y plantas arbustivas), situación que aunado a una caída en la precipitación registrada en 1945 produjo las condiciones ideales para el desarrollo de fuertes incendios en el período primavera-verano (Figura 25).

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 (fase fría) no generó incremento en la precipitación, lo que originó que para el verano se intensificara la sequía y diera paso a la ocurrencia de incendios severos derivado de la presencia de gran cantidad de combustible disponible, como resultado del período húmedo que antecedió a dicho evento seco.

Una alta frecuencia de incendios ocurrió también 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 evento de El Niño en su fase cálida que trajo consigo un gran descenso en la precipitación de verano, lo que dio paso a fuertes incendios en los meses de primavera-verano de ese año. En 1903 se registró un fuerte año de El Niño en su fase fría, que propició intensas lluvias (reconstruido como el año con la mayor cantidad de lluvia de los últimos 350 años, incremento en la lluvia de verano producida por el Monzón) (Figura 25), seguido en 1904 por una fuerte sequía derivada de la influencia de otro evento de El Niño en su fase cálida (intensas sequías en las estaciones primavera-verano), lo que provocó nuevamente fuertes incendios para el suroeste de Chihuahua.

Aunque después de 1970 existe una clara disminución en la frecuencia de incendios para la parte alta, en la parte baja se reconstruyeron incendios de alta intensidad para los años 1988 y 1995 (Figura 25).

Los incendios de 1988 se atribuyen a El Niño de 1986-1987 que provocó una disminución en la precipitación primavera-verano de 1988 y originó una alta frecuencia de incendios a nivel nacional. Finalmente, El Niño del período 1994-1995 que marca el inicio de la sequía intensa y prolongada que persiste en la región hasta la fecha, ocasionó fuertes incendios en la estación primavera-verano de 1995, lo que se vio favorecido por las buenas condiciones de precipitación de años previos.

En el estudio, los incendios más antiguos se detectaron para el año 1835, posterior a esta fecha 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). El mismo comportamiento en el patrón de distribución de los incendios se observó en la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, donde se reconstruyó el régimen de incendios para los últimos 500 años detectando una alta variabilidad en el comportamiento de los incendios antes y después a este período, y una baja o nula incidencia de ocurrencia para el período 1790-1830, atribuible a una baja actividad de ENSO (Stephens *et al.*, 2003).

### **Comportamiento de incendios en el norte de México**

En el norte de México y suroeste de los Estados Unidos los incendios se presentan generalmente en años secos (Fulé y Covington, 1997, 1999), ya que existe una correlación estrecha entre la presencia de un año o período seco y la ocurrencia de incendios, a su vez esto se asocia con el efecto de El Niño (Stahle y Cleaveland, 1993; Stahle *et al.*, 1998); caso concreto el período de incendios ocurrido en 1998 para el norte, centro y sur de México (Rodríguez, 1996; Pyne *et al.*, 1996). 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 se ve favorecido cuando un año seco le sigue un año húmedo derivado de 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).

### Conclusiones

En México existe una gran experiencia en el combate, control y prevención de incendios y en la determinación del papel que juega el tipo y carga de combustibles. Las investigaciones en este tópico también se han incrementado de manera reciente. El hecho de contar con un número mayor de investigadores ha permitido la generación de mayor número de publicaciones y de mejor calidad; sin embargo, en lo referente a la reconstrucción de los regímenes ecológicos de incendios, actualmente no existe una red representativa para México y todavía son aislados los estudios relacionados con la reconstrucción de incendios que describan la variabilidad espacial y temporal de estos en los bosques mixtos de coníferas en nuestro país.

En gran parte, lo anterior se atribuye a la falta de conocimiento y personal capacitado en esta área que cuente con los elementos básicos para la ejecución y desarrollo de este tipo de investigaciones.

Este folleto describe los elementos básicos para la reconstrucción de incendios, selección de áreas con potencial para estudio de regímenes de incendios, toma de muestras en campo, preparación en laboratorio, fechado, así como la interpretación del registro de incendios y su relación con la variabilidad climática.

Estas investigaciones en México son todavía incipientes, y las herramientas técnicas y científicas aquí plasmadas seguramente

serán un detonante para aplicar esta tecnología en la conservación de ecosistemas naturales que evolucionaron con este fenómeno.

### **Agradecimientos**

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento otorgado a través del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI), proyecto CRN # 2047, a su vez financiado por el US/National Science Foundation (Grant GEO-0452325).

### Literatura consultada

- Agee, J. K. 1993. Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press, Washington, D.C. 477 pp.
- \_\_\_\_\_. 1998. Fire and pine ecosystems. In: Richardson M.S. (Ed.) *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, pp. 193-218.
- Arno, S. F. and K. M. Sneek. 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 T. W. Swetnam. 1990. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, USA. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1559-1569.
- Brown, P. M. 2006. Climate effects on fire regimes and tree recruitment in black hills ponderosa pine forests. *Ecology*, 87(10), pp. 2500-2510.
- 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, Durango, Méx. 118 p.
- Cerano P. J., J. Villanueva D., P. Z. Fulé, J. G. Arreola A., I. Sánchez C. y R. D. Valdez C. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera y Bosques* 15 (2): 27-44.
- Cerano P. J., J. Villanueva D. y P. Z. Fulé. Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la reserva Cerro Mohinora, Chihuahua. *Revista Ciencia Forestal*. En Edición.
- 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.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree-rings and Climate*. Academic press. New York. 567 p.
- Flores G., J. G. y D. A. Rodríguez T. 2006. Incendios Forestales. Definiendo el problema, Ecología y manejo, Participación social, fortalecimiento de capacidades, Educación y divulgación. México. 254 pp.
- Flores G., J. G. y J. D. Benavides S. 2006. Avances de la investigación en incendios forestales en México (2004). Capítulo 2. Incendios Forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, Participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. México. Pp. 13-25.
- 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.
- \_\_\_\_\_. 1997. Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Acta Botánica Mexicana* 41:43-79.
- \_\_\_\_\_. 1998. Spatial patterns of Mexican pine-oak forests under different recent fire regimes. *Plant Ecology* 134: 197-209.
- \_\_\_\_\_. 1999. Fire Regime Changes in La Michilia Biosphere Reserve, Durango, Mexico. *Conservation Biology*. Vol. 13, N° 3, pp 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, Mexico. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 320-330.

- 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.
- \_\_\_\_ 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.
- \_\_\_\_ 2001. Evaluating crossdating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*. 57(2): 205-221.
- 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.
- \_\_\_\_ 2005. [En línea]. *The Ultimate Tree-Ring Web Pages*. Disponible en: <<http://web.utk.edu/~grissino/principes.htm>>
- 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. In: 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. and McKay, S. J. 2001. Condition of live fire-scarred ponderosa pine trees six years after removing partial cross sections. *Tree-Ring Research*, Vol. 57(2), 2001, pp. 131-139.

- 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. Pages 196-217 In: *Fire and climatic change in temperate ecosystems of the western Americas*. Eds. T. T. Veblen, W. L. Baker, G. Montenegro and T. W. Swetnam. New York: Springer-Verlag.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and mesurement. *Tree-Ring Bulletin*. 43: 69-78.
- 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.
- \_\_\_\_ y E. Alvarado. 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., F. Castillo-Navarro, R. Ramírez V, J. Chacón M. y O. Balcázar M. 2004. Los incendios forestales en la Reserva de la Biósfera 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., R. Ramírez V., F. Castillo-Navarro, S. García R., O. Balcázar M., J. Chacón M. y E. Morfín J. 2005. Programa de Manejo del Fuego y Restauración de Bosques en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. Universidad de Guadalajara-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Autlán, Jalisco, México. 48 pp.
- Keeley, E. J. and H. P. Zedler. 1998. Evolution of life histories in *Pines*. In: 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. 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.; J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrizosa y J. Pérez. 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., J. L. Vázquez, J. L. Pérez y J. B. Pérez. 2003. Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica internacional*. UNAM, Mexico 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., E. G. Dussart, H. D. Estelrich. y E. A. Morici. 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.
- Pyne, S. J., P. L. Andrews and R. D. Laven. 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 Chapingo. México. 630 p.

- \_\_\_ H. C. Martínez H. y V. Horteiga B. 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.
- \_\_\_ 2006. Ecología del fuego y manejo integral del fuego en las montañas del Valle de México (bosque de coníferas). Incendios Forestales. Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. CONAFOR. Pp. 41-56.
- 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.
- Skinner, C. N., J. H. Burk, M. G. Barbour, E. Franco-Vizcaino 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-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., 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. 10<sup>th</sup> Conference of Global Change Studies. Preprint volume, American Meteorological Society, 79<sup>th</sup> Annual Meeting. January 10 – 15. Dallas, Texas.

- 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. *Can. J. For. Res./Rev. Can. Rech. For.*, 33(6):1090-1101.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Chicago. USA. 73 p.
- Swanson, F. J., J. A. Jones, D. O. Wallin and Cissel. 1994. Natural variability implications for ecosystem management. *In*: Jensen, M.E. and 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. and C. H. Baisan. 1996. Historical fire regime patterns in the southwestern United States since AD 1700. *In*: Allen, C.D. (ed). Proceedings of the 2<sup>nd</sup> La Mesa Fire Symposium. USDA Forest Service General Technical Report RM-GTR-286, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Fort Collins, CO. Pp. 11-32.
- \_\_\_ 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.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., V. Constante G., L. E. Montes G. y L. Vázquez S. 2009. Muestreo Dendrocronológico: colecta, preparación y

procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales. CENID-RASPA INIFAP. Folleto Técnico 13.

White, P. S. and S. T. A. Pickett. 1985. Natural disturbance and patch dynamics an introduction, definitions of patch dynamics, perturbation and disturbance. *In*: Pickett S.T.A. and White P.S. (Eds.). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, Nueva York, EUA, pp. 4-13.

Wright, C. S. 1996. Fire History of the Teanaway River Drainage, Washington. *Tesis de Maestría*. University of Washington, Seattle, Washington, EUA. 187 pp.

**Comité Editorial del CENID-RASPA****Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong****Secretario: Dr. Miguel A. Velásquez Valle****Vocales: Dr. Juan Estrada Ávalos****M. C. Miguel Rivera González****Revisores Técnicos****Dr. Luis Valenzuela Núñez****M.C. Ma. de Lourdes González López****Edición y Diseño: Ing. Raquel Anguiano Gallegos**

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de diciembre del 2009 en los Talleres del Grupo Colorama, Adolfo Aymes N° 50 Cd. Industrial, Torreón, Coah.

Su tiraje consta de 600 ejemplares





### CENID-RASPA

Km 6.5 margen derecha canal Sacramento  
Gómez Palacio, Durango. MÉXICO.  
Apdo. Postal 41, Cd. Lerdo, Dgo.  
Tels. y Fax: 01 (871) 159-01-04, 159-01-05  
e-mail: [cerano.julian@inifap.gob.mx](mailto:cerano.julian@inifap.gob.mx)