

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL



Reconstrucción de la Frecuencia de Incendios en un Bosque de *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson var. *arizonica* (Engelmann) Lawson en Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

Por:

**EDGAR GUZMAN ARREOLA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Reconstrucción de la Frecuencia de Incendios en un Bosque de *Pinus ponderosa*  
Douglas ex C. Lawson var. *arizonica* (Engelmann) Lawson en Los Picos de Davis,  
Múzquiz, Coahuila.

Por:

**EDGAR GUZMAN ARREOLA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

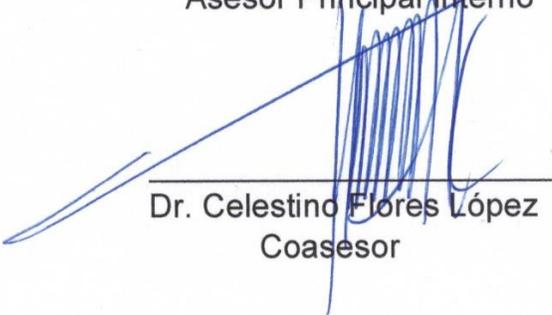
Aprobada por el Comité de Asesoría:



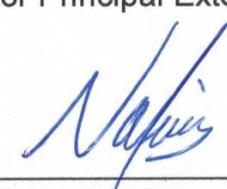
Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo  
Asesor Principal Interno



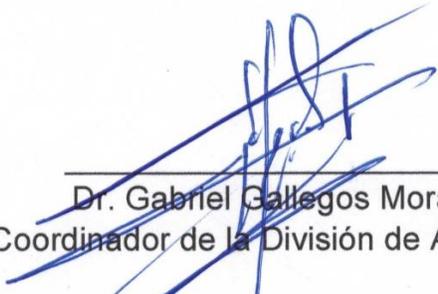
Dr. Julián Cerano Paredes  
Asesor Principal Externo



Dr. Celestino Flores López  
Coasesor



M.C. Salvador Valencia Manzo  
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2019



## Dedicatoria

A mis padres: Leodegario Guzman y Eustolia Arreola

Por su apoyo incondicional, moral, emocional y económico, me siento tan orgulloso de ser su hijo, los admiro mucho. Con sus enseñanzas, sus valores y sus principios me han forjado como un hombre de bien, capaz de salir adelante, este logro se los dedico desde el fondo de mi corazón. Agradezco infinitamente la confianza depositada en mí, sus buenos consejos, sus muestras de amor sincero, los amo con todo mi corazón.

A mi abuelita: Amelia Soto

Con todo mi amor y respeto sincero, eres una persona muy especial para mí, te agradezco el amor que me brindas día con día y que siempre estas pendiente de mí, guiándome con tus sabios consejos. Te amo abuelita.

A mis hermanos: Reyna, Omar y Brenda

Con cada uno de ustedes he pasado grandes momentos que indudablemente hicieron de mi infancia la mejor, el amor de hermanos que ustedes siempre me han brindado me ha servido para superarme, gracias por alentarme siempre para continuar con mi preparación, los quiero mucho.

## Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias a los fondos fiscales de INIFAP a través del proyecto “Reconstrucción de la frecuencia histórica de incendios y caracterización de las cargas de combustible en ecosistemas forestales del norte-centro de México”.

A Dios por darme salud y mucha fortaleza para culminar esta grandiosa etapa de mi vida, pero lo más importante por darme una familia excepcional.

A mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme las posibilidades para crecer profesionalmente, me siento enormemente agradecido y orgulloso de haber pertenecido a una Universidad con alto nivel de reconocimiento en la formación de profesionales. Por todas esas vivencias, gracias a mis maestros por todos los conocimientos y sobre todo los buenos consejos.

Al personal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias en Gómez, Palacio, Durango. Por facilitarme el uso de las instalaciones, así como el equipo para el desarrollo del trabajo de investigación.

Al honorable Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo por orientarme desde el comienzo en la elección de las mejores decisiones, por mostrarse con la mejor disposición y por colaborar de manera muy valiosa en aportaciones para realizar el trabajo de investigación. Le agradezco sus buenos consejos, para culminar de la mejor manera esta gran etapa de mi vida.

Con mucha admiración al Dr. Julián Cerano Paredes por toda la asesoría y compartirme sus valiosos conocimientos, para el desarrollo de cada una de las actividades realizadas, por el compromiso que mostro para ayudarme y sacar el trabajo adelante, por el apoyo para la estancia en Gómez, Palacio. Pero también por ser un buen amigo.

A mis coasesores el Dr. Celestino Flores López y el M.C. Salvador Valencia Manzo por las valiosas contribuciones en el desarrollo de un mejor trabajo de investigación, por su disponibilidad, empeño y buena actitud.

A la M.C Rosalinda Cervantes Martínez gracias por ayudarme en el trabajo de laboratorio, por su paciencia para explicar y resolver dudas, por mostrar interés y una excelente actitud con un sentido empático. Por los excelentes consejos e inigualables pláticas, donde siempre se mostró como una persona sencilla y amigable.

Al M.C Gerardo Esquivel Arriaga por su valioso apoyo en las actividades, por todas esas convivencias donde siempre me brindo su amistad sincera y demostró la sencillez que lo caracteriza. Gracias por ser un buen amigo.

A la Sra. Martha Olivia Bustamante Sapien por preocuparse por mi bienestar, por siempre estar al pendiente de mí, por todos esos consejos, gracias por esa peculiar manera de ser, que sin duda alguna alegraron mi estancia en Gómez, Palacio.

A mis compañeros y amigos de la UAAAN; Fátima, Alayla, Zaira, Brenda, Arabid, Ernesto, Urbano, Juan Carlos y Víctor pero específicamente a José Luis y Otoniel, agradezco enormemente su amistad, por la sencillez y humildad que los caracteriza, así como las ocurrencias que nunca podían faltar, saben que los estimo.

## Índice de contenido

	Página
Índice de tablas .....	1
Índice de figuras .....	2
Resumen .....	3
1. Introducción .....	5
2. Objetivos e hipótesis .....	9
2.1 Objetivo general .....	9
2.2 Objetivos específicos .....	9
2.3 Hipótesis .....	9
3. Materiales y métodos .....	10
3.1 Área de estudio .....	10
3.2 Métodos de campo .....	11
3.3 Métodos de laboratorio .....	13
3.3.1 Análisis de los datos .....	15
3.3.2 Registros observados de incendios en el área de estudio .....	15
4. Resultados y discusión .....	17
4.1 Reconstrucción del régimen de incendios forestales .....	17
4.2 Estacionalidad de los incendios .....	26
4.3 Intervalos de frecuencia de incendios .....	28
4.4 Importancia de resultados e implicaciones para el manejo forestal .....	32
5. Conclusiones .....	34
6. Recomendaciones .....	35
7. Referencias .....	36

## Índice de tablas

Página

Tabla 1. Valores medios de precipitación, temperatura media, máxima y mínima extrema, para el periodo de 1960 a 2013 de cuatro estaciones climatológicas: Ejido San Miguel de Ocampo, Cabeceras Jiménez, Eutimias Ocampo y el Macho Zaragoza, aledañas a los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. ....	22
Tabla 2. Categorización de la estación de ocurrencia de los incendios en Los Picos Davis, Múzquiz, Coahuila. ....	26
Tabla 3. Intervalos de frecuencia de incendios en los Cañones del Oso y Ojo de Agua, Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. ....	29

## Índice de figuras

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas de estudio Cañón del Oso y Cañón Ojo de Agua en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.....	10
Figura 2. Bosque de <i>Pinus ponderosa</i> var. <i>arizonica</i> en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila (a), árboles vivos con registros de incendios (a, b, c y d), árboles muertos en pie (e) y tirados (f). .....	12
Figura 3. Obtención de muestras en el bosque de <i>Pinus ponderosa</i> var. <i>arizonica</i> en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.....	13
Figura 4. Lijado de muestras (a), pre-fechaado (b) y ubicación de las cicatrices en la muestra (c).....	14
Figura 5. Historia de incendios en un bosque de <i>Pinus ponderosa</i> var. <i>arizonica</i> en el Cañón Ojo de Agua y Cañón del Oso en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. Las líneas horizontales de color azul representan la longitud de cada una de las muestras colectadas en campo, las líneas verticales de color negro representan los incendios, cuando más continua se torna una línea negra significa un incendio extenso, las líneas verticales continuas de color gris representan los incendios más extensos, la línea vertical de color verde significa un periodo libre de incendios, en el eje secundario de las abscisas se muestra el año específico de cada incendio. ....	18
Figura 6. Reconstrucción de la historia de incendios para los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila contemplando el $\geq 25\%$ o más de las cicatrices identificadas en el total de las muestras, filtro que revela los incendios más extensos que cubrieron mayor superficie dejando a su paso más árboles marcados. Las líneas verticales de color gris indican los incendios que se registraron en mayor cantidad de muestras.....	21
Figura 7. Incendios observados y reconstruidos; la línea roja representa los incendios observados por año en el estado de Coahuila, para el periodo de 1970-2017 (48 años), la línea azul representa los incendios observados en el municipio de Múzquiz para el periodo de 2010-2017 (8 años), registros obtenidos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2017). Las barras en color gris representan los incendios reconstruidos. ....	32

## Resumen

Para la Sierra Madre Oriental, los estudios sobre el historial de incendios son escasos, por tal motivo, los objetivos del presente estudio fueron, reconstruir la frecuencia histórica de incendios forestales, determinar la estación de ocurrencia de los mismos y determinar los intervalos de frecuencia de incendios en un bosque de *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson var. *arizonica* (Engelmann) Lawson, en los Cañones Ojo de Agua y Oso, en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. Con base en un muestreo selectivo, se colectaron 47 muestras con cicatrices de incendios, 30 del Cañón del Oso y 17 del Cañón Ojo de Agua. Basados en técnicas dendrocronológicas se logró fechar el 100% de las muestras, 75% (35 muestras) de árboles vivos y 25% (12 muestras) de árboles muertos. Se generó una cronología de 320 años (1693-2013), en la cual se determinaron periodos cortos de exclusión del fuego. Para el Cañón del Oso el 90.5% de los incendios ocurrieron en la estación de primavera y el 9.5% restante en verano. Para el Cañón del Ojo de Agua el 70.6% en primavera y el 29.4% en verano. Se determinó un intervalo medio de frecuencia de incendios (MFI) de 1.88 a 5.33 años y un intervalo medio de probabilidad de Weibull (WMPI) de 1.66 a 4.04, considerando todas las muestras y el 25% para ambos cañones, respectivamente. Los incendios más extensos se registraron en los años 1927, 1988, 1998 y 2011. Al no haber cambio importante en la frecuencia del fuego, se determinó que no existe alteración del régimen de incendios. La mayor variabilidad en la frecuencia del fuego y el registro de los incendios más extensos, se relacionan con la variabilidad climática, disminuciones importantes de precipitación.

**Palabras clave:** Dendropirocronología, cicatrices de incendios, régimen de fuego, anillos de crecimiento, incendios forestales.

## 1. Introducción

El fuego es un componente integral en la dinámica de la naturaleza, puesto que puede alterar y/o modificar los ciclos ecológicos, así como los recursos procedentes del bosque (Ciesla, 1995). También es un elemento que ha intervenido en la evolución de las poblaciones forestales a lo largo del tiempo (Mutch, 1970). El fuego como proceso natural mantiene la salud de ciertos ecosistemas; sin embargo, el hombre ha modificado la participación de este en la naturaleza (FAO, 2001).

Las repercusiones del fuego se presentan cuando se hace uso excesivo o cuando se excluye de los ecosistemas donde es requerido; en cualquiera de los casos ocurre un régimen alterado de fuego; lo que se traduce en un cambio en la estructura y composición de los ecosistemas, en consecuencia, se presentan pérdida de especies de flora y fauna, aumento de la carga de combustible o reducción de la cobertura vegetal que conlleva a la erosión del suelo, alterar la regeneración natural y afecta la calidad del agua (Pantoja, 2008).

Ciertos ecosistemas dependen de una constante frecuencia de incendios, son ecosistemas que están adaptados al fuego, por lo que la función de los incendios es inducir a la diversidad de especies de flora y fauna; existen especies dependientes del fuego, es decir requieren de éste para completar su ciclo biológico y perdurar en el ecosistema; algunas especies han adquirido adaptaciones, como conformaciones cespitosas, conos serotinos, corteza gruesa, entre otras (Ciesla, 1995).

Actualmente conocer la historia de los incendios en los bosques se facilita gracias a una diversidad de técnicas, una de ellas es la dendroecología que trata de reconstruir

los regímenes de incendios a través del análisis de los anillos anuales de crecimiento de los árboles; las cicatrices de incendios al quedar registradas en la madera de los individuos afectados por el siniestro, permiten conocer la versatilidad del fuego en periodos de tiempo extensos (Swetnam, Allen y Betancourt, 1999; Mckenzie, 2004; Conedera *et al.*, 2009).

*Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson var. *arizonica* (Engelmann) Lawson, está influenciado por la frecuencia de incendios naturales desarrollando adaptaciones como una corteza gruesa, lo que les permite resistir los incendios superficiales (Fowells, 1965). Las acículas en el suelo de este pino favorecen la propagación de los incendios de baja intensidad y reducen los incendios de copa (Ciesla, 1995). Esta especie ha sido ampliamente estudiada en los Estados Unidos empleando métodos dendroecológicos (Douglass, 1919).

Para la Sierra Madre Oriental los estudios sobre la reconstrucción de la frecuencia histórica de incendios son escasos; mientras que para la Sierra Madre Occidental se han elaborado mayor cantidad de reconstrucciones de historial de fuego; en Canelas, Dgo., se trabajó con muestras de *Pinus lumholtzii* B.L Rob. & Fernald, *Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco y *Abies durangensis* Martínez, se encontraron intervalos entre incendios de 5 años, que son comunes para el norte de México (Fulé y Covington, 1997). En la reconstrucción de la historia del fuego para la reserva de la biosfera de la Michilía, Mezquital, Dgo., mediante especímenes de *Pinus. Arizonica* Engelm, *Pinus ayacahuite* Schltldl, *P. lumholtzii*, *Pinus teocote* Schltldl & Cham, entre otras; se encontró una frecuencia continua de incendios a partir de 1754 a 1936., se determinó

un periodo a partir de 1950 a 1989 de baja frecuencia con incendios que fueron muy localizados (Fulé y Covington, 1999).

Para el municipio de Temosachic, Chih., se analizaron muestras de *Pinus duranguensis* Martínez, *P. ayacahuite* y *P. menziesii*, los incendios muestran una versatilidad constante, pero para 1955 no existe evidencia de incendios (Fulé, Villanueva y Ramos, 2005). En un estudio en un bosque mixto de pino con especies como; *P. duranguensis*, *P. arizonica* y *P. ayacahuite*; en el Guadalupe y Calvo, Chih. (Cerano, Villanueva y Fulé, 2010) confirmaron la relación positiva entre las sequias y la presencia de incendios, que se vio reflejada en los grandes incendios, que ellos reportan para los años de 1902, 1904, 1922, 1945, 1971, 1995 y 1988. En Peña Nevada, Zaragoza, N.L., se hizo una reconstrucción en *P. hartwegii* Lindl, donde se encontró un periodo de exclusión del fuego, a partir de 1950 hasta 1998 año que presenta las cicatrices más recientes para ese estudio (Yocom *et al.*, 2010).

Para Madera, Chih., (Fulé *et al.* 2012) encontraron un intervalo medio de incendios para este sitio de 7.5 años, así como una frecuencia constante de incendios en un bosque de *P. durangensis*, *P. ponderosa* var. *arizonica* y *Pinus strobiformis* Engelm.

En el Área de Conservación de Davis, el Parque Nacional Big Bend en el oeste de Texas y el Área Protegida de Maderas del Carmen, Coahuila., (Poulos, Villanueva, Cerano, Camp y Gatewood, 2013) determinaron una disminución en la frecuencia del fuego a partir de la década de los ochentas, para el bosque de *P. ponderosa* var. *arizonica*, *P. strobiformis*, *A. duranguensis* y *P. menziesii*.

En Arteaga, Coah., mediante muestras de *P. hartwegii*, *P. strobiformis* *P. menziesii* y *Abies vejarii* Martínez se reconstruyó la historia de incendios cuyo régimen se mostró constante de 1438 hasta el año 1917 donde el fuego se excluyó para este sitio (Yocom *et al.*, 2014). Con el análisis de muestras de *P. douglasiana* Martínez, en Cuautitlán de García Barragán, Jalisco, se determinaron grandes incendios para los años 1988 y 1998, asociados a eventos meteorológicos adversos de gran escala (Cerano *et al.*, 2015). Un estudio de reconstrucción histórica de los regímenes del fuego, realizado en un bosque de *P. duranguensis*, *P. arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. teocote* y *P. menziesii* en Mezquital, Dgo., arrojó intervalos medios de incendios de 2 años lo cual indica que este sitio requiere del fuego de manera pronta por tratarse de intervalos muy cortos (Molina *et al.*, 2017).

A pesar de los trabajos de investigación que se han desarrollado, falta mucho por conocer sobre los regímenes de fuego en México, es necesario hacer mayor investigación que permita un mejor conocimiento sobre las alteraciones de la frecuencia del fuego atribuidas a la influencia antropogénica.

*P. ponderosa* se distribuye hasta algunas regiones del norte de México, para estos bosques los estudios sobre la historia del fuego son escasos, por lo tanto, resulta relevante generar información sobre la historia del fuego en estos ecosistemas forestales, que contribuya a una mejor planeación y manejo del fuego en pro de la conservación de la riqueza de flora y fauna.

## 2. Objetivos e hipótesis

### 2.1 Objetivo general

Reconstruir la frecuencia histórica de incendios, determinar su estacionalidad así como sus intervalos de frecuencia en bosques de *Pinus ponderosa* Douglas ex c. Lawson var. *arizonica* (Engelmann) Lawson en los Cañones Ojo de Agua y el Oso, en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Reconstruir la frecuencia de incendios para el bosque de *P. ponderosa* en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.
- b) Determinar la estación de ocurrencia de los incendios forestales en un bosque de *P. ponderosa* en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.
- c) Determinar los intervalos de la frecuencia de incendios forestales en los últimos tres siglos en un bosque de *P. ponderosa* en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

### 2.3 Hipótesis

**H<sub>0</sub>:** No existe una alteración en el régimen del fuego en las últimas décadas para los Cañones Oso y Ojo de Agua de los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

**H<sub>a</sub>:** Existe una alteración en el régimen del fuego en las últimas décadas para los Cañones Oso y Ojo de Agua de los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en la Sierra Madre Oriental en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila de Zaragoza (Figura 1), entre las coordenadas  $102^{\circ} 1' 51''$  W y  $28^{\circ} 57' 26''$  N (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2018).

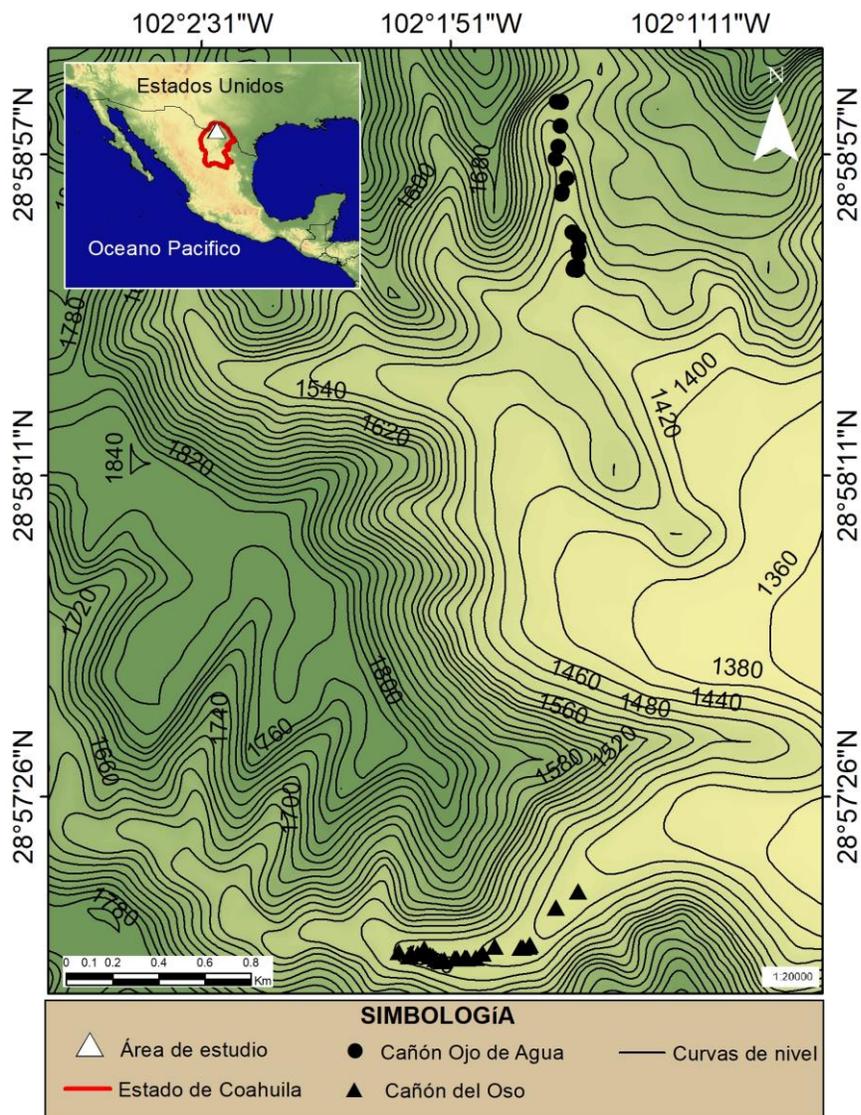


Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas de estudio Cañón del Oso y Cañón Ojo de Agua en Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

El área de estudio se ubica en la región hidrológica Bravo Conchos y la cuenca Río Bravo-Sosa, aledaña a las corrientes intermitentes de las cañadas de la Zorra, que corresponde a la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, con una altitud media aproximada de 1450 msnm (INEGI, 2001a). La formación geológica pertenece a roca sedimentaria (INEGI, 2001b), al acumularse los sedimentos y mediante procesos de diagénesis los materiales son consolidados (Foronda, 2015).

El suelo es de tipo litosol, suelo muy delgado, su grosor es menor de 10 cm, se encuentra sobre un estrato duro y continuo, tal como roca, tepetate o caliche (INEGI, 2014). El clima corresponde a un BS1kw semiseco templado, templado con verano cálido, temperatura media anual de 21 °C, temperatura media anual mínima de 5.6 °C y temperatura media anual máxima de 35.6 °C con un régimen de lluvia de verano (García, 1998).

La vegetación corresponde a un bosque templado de pino-encino con especies de chaparro amargoso, nopal, madroño y zacate navajita, con dominancia de *P. ponderosa* (Rzedowski y Huerta, 1978).

### **3.2 Métodos de campo**

Para la colecta muestras se empleó un muestreo selectivo, se identificaron árboles con cicatrices de incendios, individuos vivos (Figura 2a, b, c y d), muertos en pie (Figura 2e) y tirados (Figura 2f). Así mismo, se consideró en la medida de lo posible localizar los árboles más longevos (Arno y Sneek, 1977). Para cada individuo seleccionado se tomaron las coordenadas geográficas (GPS GARMIN modelo GPSMAP 64, Taiwán), y se registró en un formato de campo las características físicas del sitio.

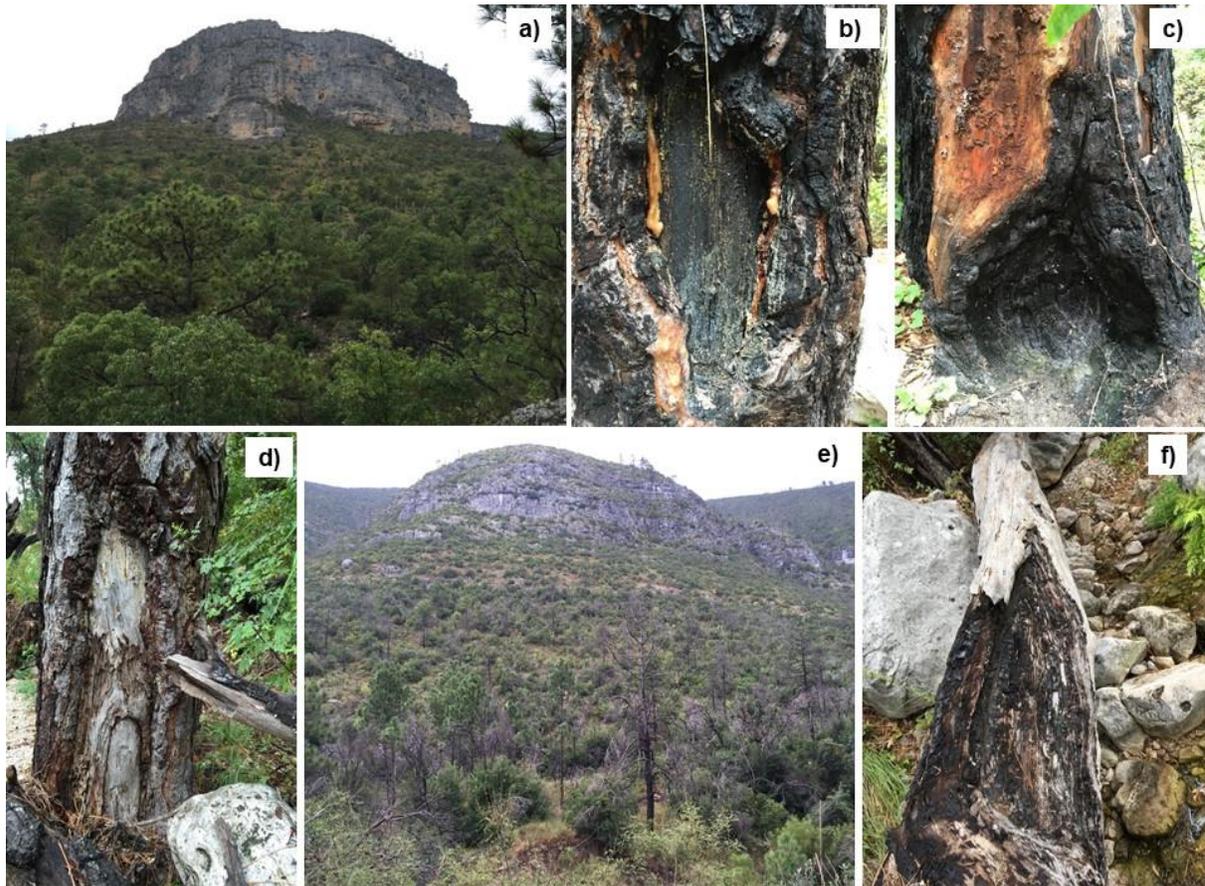


Figura 2. Bosque de *P. ponderosa* var. *arizonica* en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila (a), árboles vivos con registros de incendios (a, b, c y d), árboles muertos en pie (e) y tirados (f).

Se obtuvieron 35 secciones parciales en árboles vivos (Figura 3a) y 12 muestras de árboles muertos en pie (Figura 3b) y secciones transversales de árboles caídos (Figura 3c) empleando una motosierra marca Stihl modelo MS 660.



Figura 3. Obtención de muestras en el bosque de *P. ponderosa* var. *arizonica* en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

### 3.3 Métodos de laboratorio

Las muestras colectas se trasladaron al laboratorio de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA, en Gómez Palacio, Dgo., donde las muestras fueron pulidas, con lijas de 40 al 1,200, (Figura 4a) para resaltar las estructuras de crecimiento anual de los anillos y diferenciar anillos falsos y detectar la presencia de microanillos (Cerano, 2004).

Con el apoyo de un microscopio estereoscopio con lupa de aumento 10X, se hizo el conteo de anillos, cada década se marcó con un punto, los periodos de cincuenta años dos puntos, los siglos con tres puntos (Figura 4b), para indicar un anillo falso se utilizó una diagonal, para los microanillos se usaron dos puntos paralelos y finalmente dos puntos alternos para señalar un anillo perdido (Stokes y Smiley, 1968).

Para el caso de las muestras de árboles jóvenes donde se conocía el año de formación del último anillo de crecimiento externo (corteza), se procedió a la asignación de fechas partiendo de este último anillo formado hacia el interior.

Para las muestras de árboles vivos más longevas se elaboraron gráficos de crecimiento “skeleton plot”, estos gráficos permitieron identificar los patrones de crecimiento similares entre muestras y determinar problemas de anillos perdidos. Con los diferentes gráficos de árboles vivos se generó un gráfico maestro el cual fue empleado para datar las muestras de árboles muertos con base en la técnica de fechado cruzado (Stokes y Smiley, 1968).

Una vez datadas cada una de las muestras, se ubicaron las cicatrices de incendio dentro del anillo de crecimiento para determinar el año de ocurrencia del siniestro (Figura 4c) e identificar la estación de ocurrencia de los incendios, esto con base en la metodología propuesta por Baisan y Swetnam, (1990). Se definieron las siguientes clases: EE) inicio de la madera temprana, ME) mitad de la madera temprana, LE) final de la madera temprana, L) madera tardía y D) Dormancia



Figura 4. Lijado de muestras (a), pre-fechado (b) y ubicación de las cicatrices en la muestra (c).

Para la categorización de la época de ocurrencia de incendios se basó en la metodología propuesta por Grissino, (2001), que plantea que los incendios categorizados en la estación de primavera corresponden a las cicatrices ubicadas en

Dormancia (D) e inicio de la madera temprana (EE), los incendios de la estación de verano resultaron de las cicatrices ubicadas en mitad de la madera temprana (ME), final de la madera temprana (LE) y la madera tardía (L). Con esta información se elaboró la base de datos en el software Excel, se colocó la clave de la muestra, la especie, ubicación del anillo (más interno o centro, anillo más externo o corteza) esto para facilitar su interpretación y manejo de información al ingresarla los datos al software FHX2 versión 3.2 (Grissino, 2001).

### **3.3.1 Análisis de los datos**

La base de datos se analizó con el software FHX2 versión 3.2 (Grissino, 2001). El análisis inicio con el primer año que presentó un adecuado tamaño de muestra. El primer año de incendio registrado en  $\geq 10$  % o más del número total de muestras (Grissino, Baisan y Swetnam 1994). Los intervalos medio de probabilidad o de recurrencia de incendios Weibull (WMPI), el intervalo medio de frecuencia de incendios (MFI) y los intervalos mínimos y máximos entre incendios, se analizaron en tres diferentes filtros: (1) todas las cicatrices, (2) cicatrices presentes en  $\geq 10$  % de las muestras y (3) cicatrices registradas en  $\geq 25$  % o más de las muestras. Este último filtro revela los incendios que pudieron ser más extensos.

### **3.3.2 Registros observados de incendios en el área de estudio**

Se obtuvieron registros observados de incendios para el estado de Coahuila, registros que comprende el periodo de 1970-2017 (48 años), y de manera específica para el municipio de Múzquiz, que comprende el período de 2010-2017 (8 años), datos proporcionados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), esto con el objetivo de comparar los registros observados y los incendios reconstruidos.

También se obtuvieron los datos de precipitación, temperatura media, temperatura máxima y mínima extrema de la red de estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), de cuatro estaciones aledañas al área de estudio; Ejido San Miguel de Ocampo, Cabeceras Jiménez, Eutimias Ocampo y El macho Zaragoza.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Reconstrucción del régimen de incendios forestales

Se reconstruyó la historia del fuego para dos diferentes períodos en los Picos de Davis, Múzquiz, Coah., siendo estos 320 años (1693-2013) para el Cañón del Oso y 63 años (1950-2013) para el Cañón Ojo de Agua. Se logró fechar 211 cicatrices, las más viejas se registraron en el año 1693 y 1927 para el Cañón del Oso y Cañón Ojo de Agua, respectivamente; las más recientes se registraron en el año 2013 para ambos sitios (Figura 5).

La reconstrucción de la historia del fuego permite observar una baja frecuencia en general en la incidencia de incendios, siendo más marcado durante el periodo de 1693 a 1832 (Figura 5). Resultados similares se reconstruyeron en un estudio cercano al área de estudio entre la zona fronteriza de México y los Estados Unidos, específicamente en el Área de Conservación de Davis, el Parque Nacional Big Bend en el oeste de Texas y el Área Protegida de Maderas del Carmen, Coahuila, donde también se reporta una baja frecuencia de incendios (Poulos *et al.*, 2013).

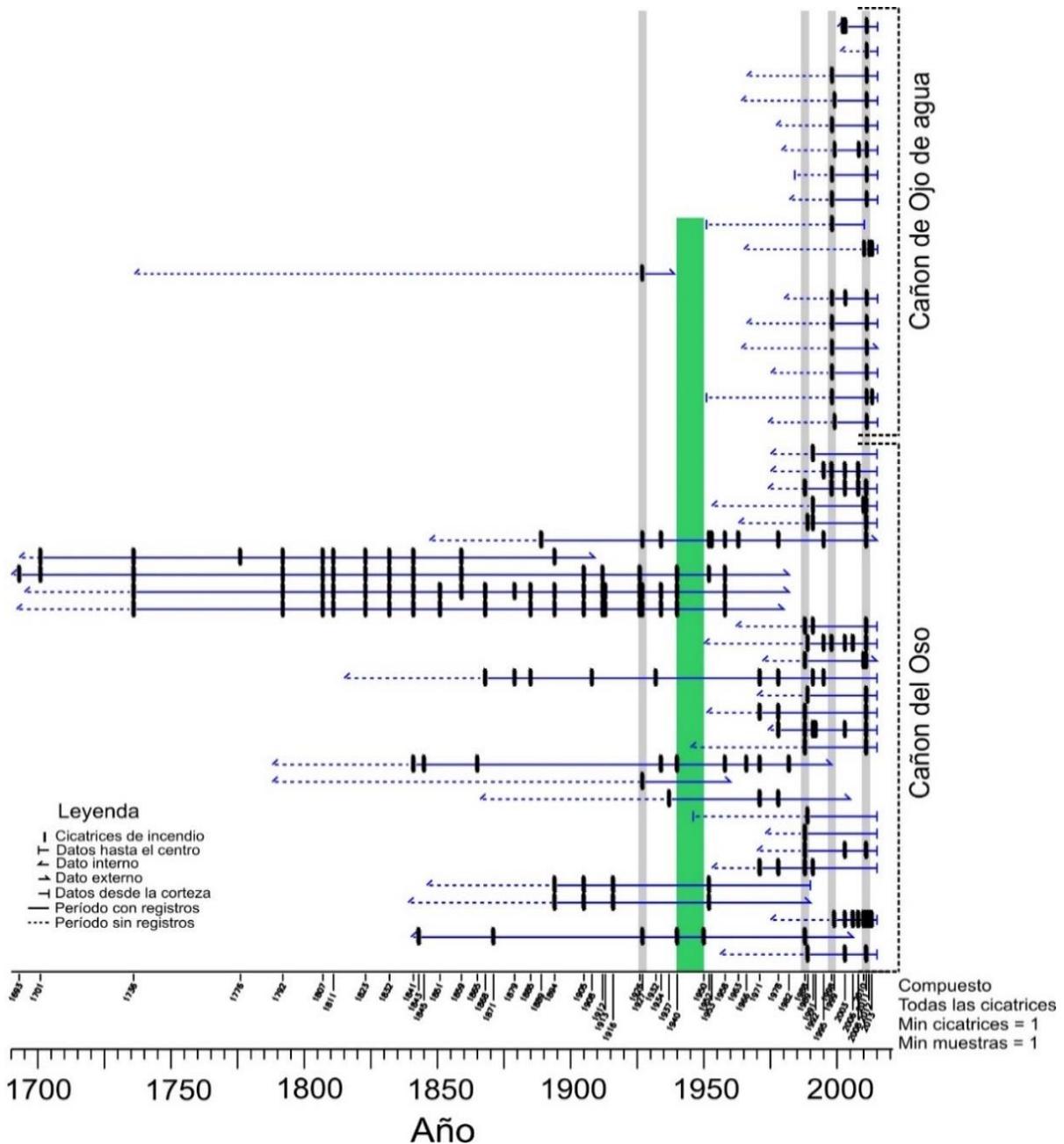


Figura 5. Historia de incendios en un bosque de *P. ponderosa* var. *arizonica* en el Cañón Ojo de Agua y Cañón del Oso en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. Las líneas horizontales de color azul representan la longitud de cada una de las muestras colectadas en campo, las líneas verticales de color negro representan los incendios, cuando más continua se torna una línea negra significa un incendio extenso, las líneas verticales continuas de color gris representan los incendios más extensos, la línea vertical de color verde significa un periodo libre de incendios, en el eje secundario de las abscisas se muestra el año específico de cada incendio.

Entre el año 1941 y 1949 no se registró ningún incendio, el evento del año 1940 pudo haber sido muy severo, se le puede atribuir que marcó una etapa sucesional en la dinámica del bosque, propició la muerte de una gran cantidad de individuos y una nueva etapa sucesional del bosque partir del año de 1950. Lo anterior se basa en las siguientes evidencias: (1) en 11 individuos se marca el inicio del crecimiento (centro del árbol) en que se fechó dicho año, (2) otros árboles presentan su centro y fue fechado muy próximo a esa edad y (3) muchos otros individuos vivos que pudieron iniciar su crecimiento a partir de esta misma fecha (1950) no fue posible obtener su edad desde el centro, dado que como el objetivo es dañar lo menos posible a cada individuo, se colectó una pequeña porción del tallo en varios árboles que no permitió alcanzar la médula, por lo tanto, no fue posible determinar su edad exacta (Figura 5).

Durante el periodo de 1950-2000, se reconstruyó mayor variabilidad en la frecuencia de incendios en el área del Cañón del Oso, principalmente al inicio de las décadas de 1950, 1970 y finales del siglo XX (1998) (Figura 5). Cada uno de estos periodos sincronizan con fuertes sequías reconstruidas para el estado de Coahuila (Cerano *et al.*, 2012), a lo cual se puede atribuir esta mayor frecuencia de incendios, similar a lo reportado por Yocom *et al.*, (2014) quienes reportan una relación significativa entre condiciones de sequía y la frecuencia de incendios en el estado de Coahuila.

Para la primera década del siglo XXI (2000-2010), se determinó un periodo de baja frecuencia de incendios (Figura 5), lo cual se atribuye a la apertura de nuevas políticas de control de incendios. Por ejemplo, para el año 2000 se crearon programas de empleo temporal rural con el objetivo de realizar actividades encaminadas al combate y prevención de incendios forestales, emitidos por la

CONAFOR. Así mismo para el año 2003 se creó la séptima Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, en la cual se incluyó a los comités municipales, estatales y federales para la planeación, prevención y combate de incendios forestales, todo lo anterior contribuyó a que la frecuencia de incendios disminuyera (Martínez, 2018).

Los incendios más extensos reconstruidos en los Picos de Davis, se registraron para los años de 1927, 1988, 1998 y 2011, representando estos dos últimos eventos (1998 y 2011) los incendios más extensos que cubrieron en ambos cañones del área de estudio (Figura 6).

En la reconstrucción de la frecuencia de incendios para los municipios de Canelas, Mezquital y Nazas, Dgo., se han reportado incendios extensos para el año de 1927, y se atribuye a una disminución significativa de la precipitación (Fulé y Covington, 1997; Molina *et al.*, 2017; Cerano *et al.*, 2019), lo cual coincide con lo encontrado en este trabajo, ya que se reporta el primer incendio extenso reconstruido en el área de estudio.

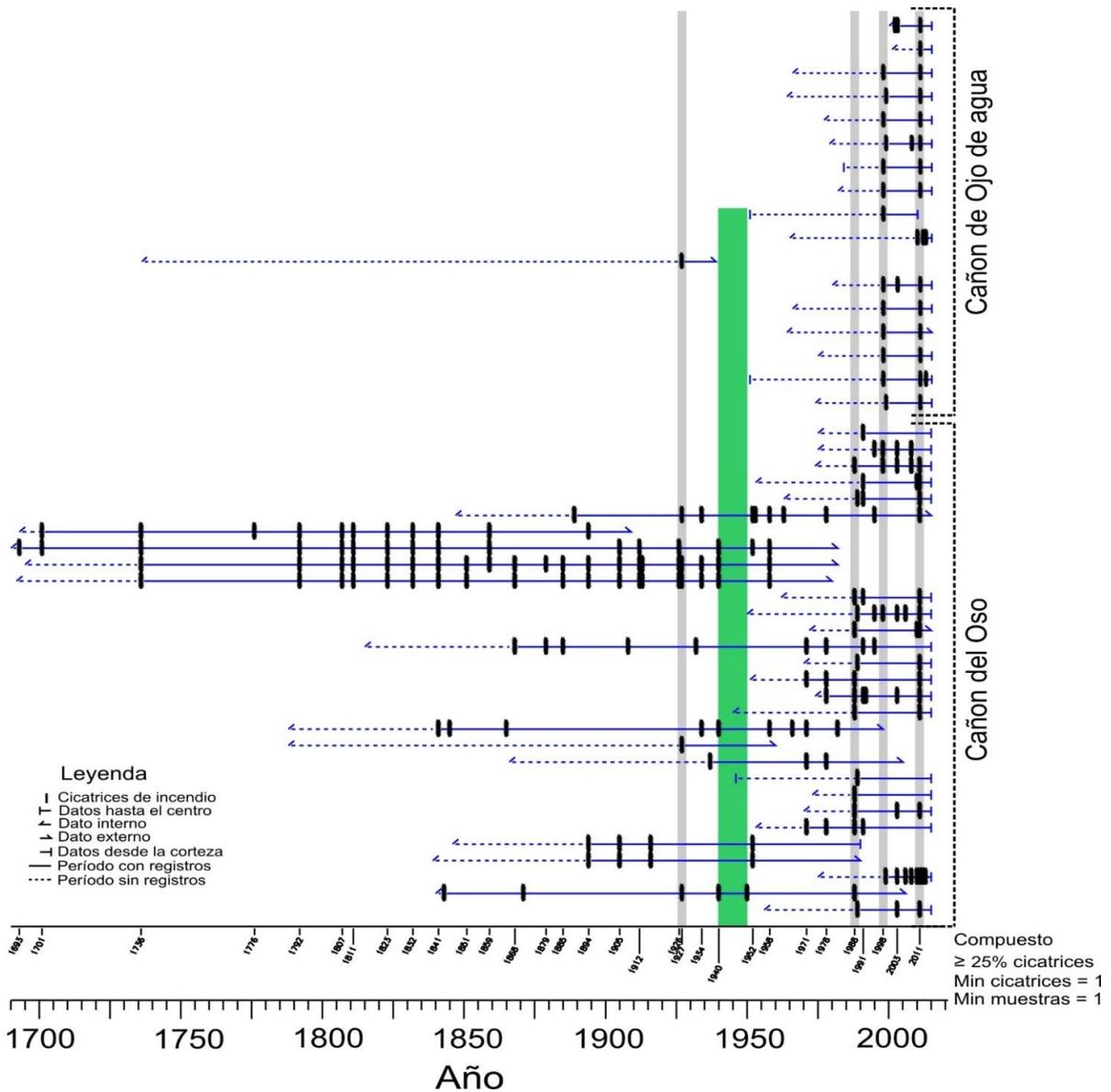


Figura 6. Reconstrucción de la historia de incendios para los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila contemplando el  $\geq 25\%$  o más de las cicatrices identificadas en el total de las muestras, filtro que revela los incendios más extensos que cubrieron mayor superficie dejando a su paso más árboles marcados. Las líneas verticales de color gris indican los incendios que se registraron en mayor cantidad de muestras.

Al considerar las condiciones de precipitación media anual, así como de las temperaturas extremas en los años previos a 1988, 1998 y 2011 se observó una relación relevante con la incidencia de los incendios forestales como por ejemplo para el año de 1987, se registró una precipitación de 73 mm, lo cual representa el 74% menos de la media de precipitación, lo que propició la pérdida de la humedad en la vegetación favoreciendo el estrés de la vegetación, además de temperaturas mínimas extrema de -4 °C dañando los tejidos vegetales (Tabla 1), lo anterior pudo influir que en el siguiente año 1988 ocurriera un incendio de gran magnitud y que se registrara en las muestras colectadas en este estudio.

Tabla 1. Valores medios de precipitación, temperatura media, máxima y mínima extrema, para el periodo de 1960 a 2013 de cuatro estaciones climatológicas: Ejido San Miguel de Ocampo, Cabeceras Jiménez, Eutimias Ocampo y el Macho Zaragoza, aledañas a los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

	Precipitación Media Anual † (mm)	Temperatura Media Anual (°C)	Temperatura Media Anual máxima (°C)	Temperatura Media Anual mínima (°C)
	283	21.3	35.6	5.6
Año				
1987	73.0	20.2	29.3	-4
1988	387.0	21.4	35.7	7.3
1997	526.3	19.8	35.1	4.5
1998	316.8	22.2	39.6	8.0
2010	371.9	19.5	34.7	5.8
2011	233.4	20.8	34.8	7.1

Fuente: CONAGUA (2018) † Periodo (años) 1960-2013

Para el año de 1988 los valores de precipitación para los meses de marzo, abril, mayo y junio fueron de 1.5, 9.0, 39.5, y 51.5 mm, respectivamente, dichos valores acumulados representan el 35.9 % de la precipitación media, aunado a esto se registraron temperaturas máximas extremas para dichos meses de 33.5, 37.0, 38.0 y

42.5 °C, respectivamente, en promedio; para primavera la temperatura máxima extrema fue de 35.7 °C, representando cerca de 67.6% por encima de la temperatura media; en consecuencia de lo anterior se hizo evidente una demanda atmosférica muy elevada, lo cual se traduce en una muy baja humedad relativa dejando los residuos orgánicos en condiciones favorables para su ignición (Tabla 1). En el año de 1988, que representa el segundo incendio más extenso en el área de estudio, Coahuila encabezó la lista con mayor superficie afectada, 107,692 ha, por incendios forestales a nivel nacional, atribuida a una sequía que afectó gran parte del país (Bitrán, 2001). Una reconstrucción de la precipitación para el estado de Coahuila reporta para este mismo año, como uno de los años más secos de los pasados 50 años (Cerano *et al.*, 2012). Estudios de reconstrucción de la historia de incendios forestales en Chihuahua (Cerano *et al.*, 2010) y Durango (Molina *et al.*, 2017) reportan incendios severos para este mismo año.

En el año de 1997 se registró una elevada precipitación de 526.3 mm, lo cual representa un 85.97% más de la media anual, lo que indudablemente favoreció el desarrollo de la vegetación, generando combustible para los grandes incendios de 1998. Además ocurrió una temperatura media mínima extrema de 4.5 °C para invierno y principios de primavera (Tabla 1) lo cual seguramente dañó los tejidos de la vegetación propiciando condiciones más favorables para los incendios forestales.

En 1998 se registraron temperaturas máximas extremas de 35.0, 36.5, 44.5 y 46.0 °C para los meses de marzo, abril, mayo y junio, respectivamente, en promedio representan cerca de 90% por arriba de la temperatura media (Tabla 1), también para dichos meses los valores de precipitación reportados fueron de 30, 0, 10 y 40.5

mm, representando para primavera el 14 % de la precipitación acumulada anual, lo que se tradujo, seguramente, en una baja humedad relativa por una gran demanda atmosférica del aire, consecuentemente, en una pérdida de humedad de la vegetación y de los residuos orgánicos de la superficie del suelo, siendo un combustible disponible para su ignición. Los grandes incendios forestales ocurridos en 1998 se atribuyen a los efectos de los cambios climatológicos influenciados por el fenómeno de El Niño, que pudieron notarse en todo el país (Bitrán, 2001). El paso del huracán Paulina, por Oaxaca, en octubre de 1997 trajo consigo una elevada precipitación para el norte del país (Tabla 1) que dejó grandes cantidades de combustible como árboles derrumbados y otra vegetación, además el exceso de lluvia prolongó la estación de crecimiento, aunado a esto, ocurrieron bajas temperaturas con un valor de 0.5 y -7 °C para el mes de noviembre y diciembre, respectivamente, en 1997 y que continuaron para enero y febrero de 1998 con 0 y -1 °C, respectivamente, que afectaron a la vegetación, así como el incremento de la temperatura (Tabla 1) y fuertes vientos para febrero de 1998, se crearon las condiciones ideales para un incendio reportado para este y otros estudios (Cerano *et al.*, 2010; Cerano *et al.*, 2015; Molina *et al.*, 2017).

En 2010 se registró una precipitación acumulada anual de 371.9 mm, 31.41% por encima de la media de precipitación, de ésta el 18 % se presentó para primavera, además de temperaturas mínimas de -10.0 y -4.0 °C para enero y diciembre, respectivamente, y temperaturas máximas extremas de 37 °C para primavera, contribuyendo con material vegetal disponible para los incendios de 2011 (Tabla 1).

Para el año 2011, la precipitación acumulada anual estuvo 17.5% por debajo de la media con un valor de 233.4 mm (Tabla 1). Específicamente en primavera no se registra precipitación alguna y temperaturas mínimas extremas de hasta -17 °C para el mes de febrero, además para dicha estación se registraron muy altas temperaturas, específicamente para mayo y junio, 41 y 40 °C, respectivamente, lo que contribuyó a la disponibilidad del combustible para su ignición. Además de que según datos de la CONAFOR (2011) los incendios de 2011 cubrieron una gran superficie de arbolado adulto para el estado de Coahuila, un total de 24,842 ha, tomando el primer lugar en superficie afectada en el país. Los datos anteriores coinciden con lo reportado en este estudio, ya que el 13.3 % del total de cicatrices reportadas se registraron para este año, representando uno de los incendios forestales reconstruidos de mayor extensión puesto que se registró en la mayor cantidad de muestras.

Todo lo anterior favoreció para crear las condiciones ideales para los incendios de 1927, 1988, 1998 y 2011. Estos incendios, específicamente 1988 y 1998, se registraron en varias partes del país; en Canelas, Dgo. (Fulé *et al.*, 1997), Guadalupe y Calvo Chih. (Cerano *et al.*, 2010), Peña Nevada, Zaragoza, N.L. (Yocom *et al.*, 2010), Cuautitlán de Garca Barragán, Jal. (Cerano *et al.*, 2015), Chignahuapan Pue., (Cerano *et al.*, 2016), Mezquital, Dgo., (Molina *et al.*, 2017) y en Nazas, Dgo. (Cerano *et al.*, 2019).

## 4.2 Estacionalidad de los incendios

De 172 cicatrices de incendios ocurridos en el Cañón del Oso, se determinó en 147 cicatrices (85.5%) la estación en que ocurrió el incendio; derivado de ello el 90.5 % de los incendios se presentaron al inicio de la madera temprana (EE), el 4.1 % en la mitad de la madera temprana (ME), el 5.4 % al final de la madera temprana (LE), Ninguno en Dormancia (D) y ninguno en madera tardía (L) (Tabla 2). De los incendios forestales registrados, 133 (90.5 %) ocurrieron en primavera y 14 (9.5 %) en verano (Tabla 2).

Tabla 2. Categorización de la estación de ocurrencia de los incendios en Los Picos Davis, Múzquiz, Coahuila.

Sitio	No / %	Estación determinada	Estación no determinada	D	EE	ME	LE	L	Incendios primavera	Incendios verano
Cañón del Oso	172	147	25	0	133	6	8	0	133	14
	100	85.5	14.5	0	90.5	4.1	5.4	0	90.5	9.5
Cañón Ojo de Agua	35	34	1	0	24	6	4	0	24	10
	100	97.1	2.9	0	70.6	17.6	11.8	0	70.6	29.4

D) Dormancia, EE) inicio de la madera temprana, ME) mitad de la madera temprana, LE) final de la madera temprana, L) madera tardía.

Incendios de Primavera = Dormancia, más inicio de la madera temprana (D + EE).

Incendios de Verano = Mitad de la madera temprana más final de madera temprana más madera tardía (ME+LE+L).

Para el Cañón Ojo de Agua, se logró determinar la estacionalidad en 34 cicatrices, de 35 identificadas, de las cuales el 70.6 % de los incendios ocurrieron al inicio de la madera temprana (EE), el 17.6 % en mitad de la madera temprana (ME), el 11.8 % en final de madera temprana (LE), ninguno en dormancia (D) y ninguno en madera tardía (L). De los 34 incendios ocurridos, 24 (70.6 %) se registraron en primavera y 10 (29.4 %) en verano (Tabla 2).

Para México la mayor incidencia de incendios forestales, históricamente, se registran en el periodo de primavera, por ser un periodo de baja humedad relativa y en el suelo, así como de elevada temperatura, provocando que los combustibles vegetales estén en las mejores condiciones para su ignición. Además también se reporta en algunos estudios sobre la fenología del cambium, que los incendios para el norte de México, se han presentado durante la primavera, favorecidos por la ocurrencia de rayos (Baisan y Swetnam, 1990; Swetnam, Baisan y Kaib, 2001).

Lo anterior coincide con lo reportado en algunos estudios, tal es el caso de que en cinco sitios, Arroyo San Pedro Norte, Arroyo San Pedro Sur, Arroyo Taray, Playa Grande y Cerro Almagre en Canelas, Dgo., se determinó que de 60 a 77 % de los incendios ocurrieron en la estación de primavera y de 23 a 40 % en la estación de verano (Fulé y Covington, 1997). Mientras que para La Michilía, Dgo., se determinó que de 73 a 87 % de los incendios ocurrieron en la estación de primavera y de 19 a 27 % en la estación de verano (Fulé y Covington, 1999) resultados parecidos a los encontrados para este estudio, donde la mayoría de cicatrices se concentraron en la estación de primavera.

Una reconstrucción del régimen de incendios en Tutuaca Área de Protección y Conservación de Flora y Fauna en Temosachic, Chih., reporta para la parte baja, media y alta del Arroyo Piceas que los incendios se suscitaron en la estación de primavera 69, 75 y 73 %, respectivamente (Fulé *et al.*, 2005) de la misma manera que se reporta para este estudio, en menor cantidad se encontraron cicatrices para la estación de verano.

Para Peña Nevada, Zaragoza, N. L. del total de cicatrices de incendios solo el 55 % pudo ser ubicada de acuerdo a la posición dentro del anillo de crecimiento, de las cuales el 92 % fueron ubicadas en letargo; es decir incendios de primavera y el 8% restante en verano (Yocom *et al.*, 2010) resultados similares a los encontrados para este estudio.

En otros estudios en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán en Jalisco (Cerano *et al.*, 2015), Sierra Norte de Puebla (Cerano *et al.*, 2016) y el estado de Durango (Molina *et al.*, 2017) se han reportado la ocurrencia de incendios en la estación de primavera 98.3, 91.7 y 92.2 %, respectivamente; y en menor frecuencia en la estación de verano. Esto se atribuye a que en la estación de primavera hay menos presencia de la precipitación (CONAGUA, 2018) comparada con la del verano, donde se presentan las lluvias y éstas a su vez fungen como controladores naturales de los incendios forestales.

#### **4.3 Intervalos de frecuencia de incendios**

En los últimos 320 años de reconstrucción de incendios forestales para Los Picos de Davis, Múzquiz, Coah., los incendios fueron frecuentes; los valores de MFI (frecuencia media de incendios) al considerar todos los incendios fueron de 5.33

años para el Cañón del Oso, 1.88 años para el Cañón Ojo de Agua y 5.23 años para el compuesto que representa los valores estadísticos en conjunto de ambos cañones. Con respecto al  $\geq 10\%$  de las cicatrices los valores de MFI fueron de 6.11, 3.75 y 6.25 años para el Cañón del Oso, Cañón Ojo de Agua y el compuesto, respectivamente. Cuando se consideró el  $\geq 25\%$  (cicatrices en todas las muestras) los valores de MFI fueron de 10.2 años para el Cañón del Oso y 9.82 años para el compuesto (Tabla 3). Para el caso del Cañón Ojo de Agua, no se determinó el estadístico para este filtro por la extensión tan corta de la historia del fuego.

Tabla 3. Intervalos de frecuencia de incendios en los Cañones del Oso y Ojo de Agua, Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

Sitio	Periodo de análisis	Categoría de análisis	MFI	Intervalo de frecuencia mínimo	Intervalo de frecuencia máximo	WMPI
Cañón del Oso	1736-2015	Todas las cicatrices	5.33	1	40	4.04
		$\geq 10\%$ cicatrices	6.11	1	40	4.86
		$\geq 25\%$ cicatrices	10.2	1	40	9.16
Cañón Ojo de agua	1998-2015	Todas las cicatrices	1.88	1	5	1.66
		$\geq 10\%$ cicatrices	3.75	1	8	3.23
Compuesto	1736-2015	Todas las cicatrices	5.23	1	40	3.93
		$\geq 10\%$ cicatrices	6.25	1	40	4.98
		$\geq 25\%$ cicatrices	9.82	1	40	8.8

Los valores de WMPI para todas las cicatrices fue de 4.04 años para el Cañón del Oso, 1.66 años para el Cañón Ojo de Agua y 3.93 años para compuesto. Al considerando el  $\geq 10\%$  de las cicatrices, se determinó 4.86, 3.23 y 4.98 años para el Cañón del Oso, el Cañón Ojo de Agua y el compuesto, respectivamente. Finalmente, considerando el  $\geq 25\%$  de las cicatrices registradas en todas las muestras, los valores determinados fueron de 9.16 años para el Cañón del Oso y 8.8 años para el compuesto (Tabla 3). Para el caso del Cañón Ojo de Agua, no se determinó el estadístico para este filtro por la extensión tan corta de la historia del fuego.

Para el período de 1693 a 1998, ambos cañones presentan un régimen de incendios diferente entre sí, ya que las muestras del Cañón del Oso son más longevas que las del Cañón Ojo de Agua, en contraste, para el periodo de 1998 a 2013, ocurre una mayor sincronía de los siniestros en ambos sitios (Tabla 3).

En un estudio en Canelas, Dgo. se trabajó con *P. lumholtzii*, *A. durangensis* y *P. menziesii*, en donde se determinó un MFI con todos los incendios entre 3.79 a 5.94 años y un WMPI de 3.58 a 5.15 años mientras que para el  $\geq 25\%$  (cicatrices en todas las muestras) los valores de MFI fueron entre el rango de 6.50 a 11.24 años y de WMPI de 6.41 a 9.63 años (Fulé y Covington, 1997); resultados muy semejantes a los valores obtenidos en el presente estudio.

En la reconstrucción del historial de incendios en un bosque de *P. durangensis*, *P. ayacahuite* y *P. menziesii*, en Tutuaca, Área de Protección y Conservación de Flora y Fauna en Chihuahua, México, se encontró que para todos los incendios se denota un MFI de 3.1 a 5.2 años y un WMPI de 3.0 a 4.6 y para el  $\geq 25\%$  cicatrices en todas las muestras un MFI de 6.9 a 7.8 años y un WPMI de 5.9 a 7.7 años (Fulé *et al.*,

2005); dichos valores coinciden con los encontrados para el presente trabajo con intervalos entre incendios de 5 años.

Las características del intervalo de incendio en tres sitios en Peña Nevada, N. L. reflejó un MFI de 5.4 años para incendios de baja intensidad y al aplicar el filtro de  $\geq 25\%$  se obtuvo un valor de 14.5 años para incendios de alta intensidad con base al compuesto de los tres sitios. Respecto al WMPI se encontró un intervalo de 4.6 años con los incendios de baja intensidad y para los incendios de alta intensidad de 13.6 años (Yocom *et al.*, 2010). Respecto a los resultados encontrados de MFI son muy semejantes a los reportados por este estudio. En un estudio se reporta para Mesa de las Guacamayas, Madera, Chihuahua, se encontró un MFI de 4 a 9.3 años con todas las cicatrices observadas y un WPMI 3.7 a 8 años; y para el  $\geq 25\%$  cicatrices en todas las muestras un MFI de 5.1 a 14.2 años y un WMPI de 4.8 a 13.1 años (Fulé *et al.*, 2012); resultados semejantes a los encontrados en este presente estudio.

Se indicó un MFI con todas las cicatrices observadas por incendios, de 7.8 a 15.8 años, así como un WMPI de 6.7 a 13.9 años para tres montañas, San Antonio, La Viga y Rancho Nuevo, Arteaga, Coah. (Yocom *et al.*, 2014). Los valores de los intervalos encontrados para esa área de investigación, son más amplios que los reportados para este estudio, es decir los incendios tardan más tiempo en presentarse, según datos de la red de estaciones climatológicas de la CONAGUA (2018) los niveles de precipitación son mayores para el municipio de Arteaga en comparación con Múzquiz, es por tanto que los intervalos de incendios son más amplios.

#### 4.4 Importancia de resultados e implicaciones para el manejo forestal

Los registros de incendios forestales reportados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para el estado de Coahuila (CONAFOR, 2017), comprende un periodo de 48 años (1970 a 2017); específicamente para el municipio de Múzquiz, los registros se extienden para los últimos ocho años (2010 a 2017) (Figura 7).

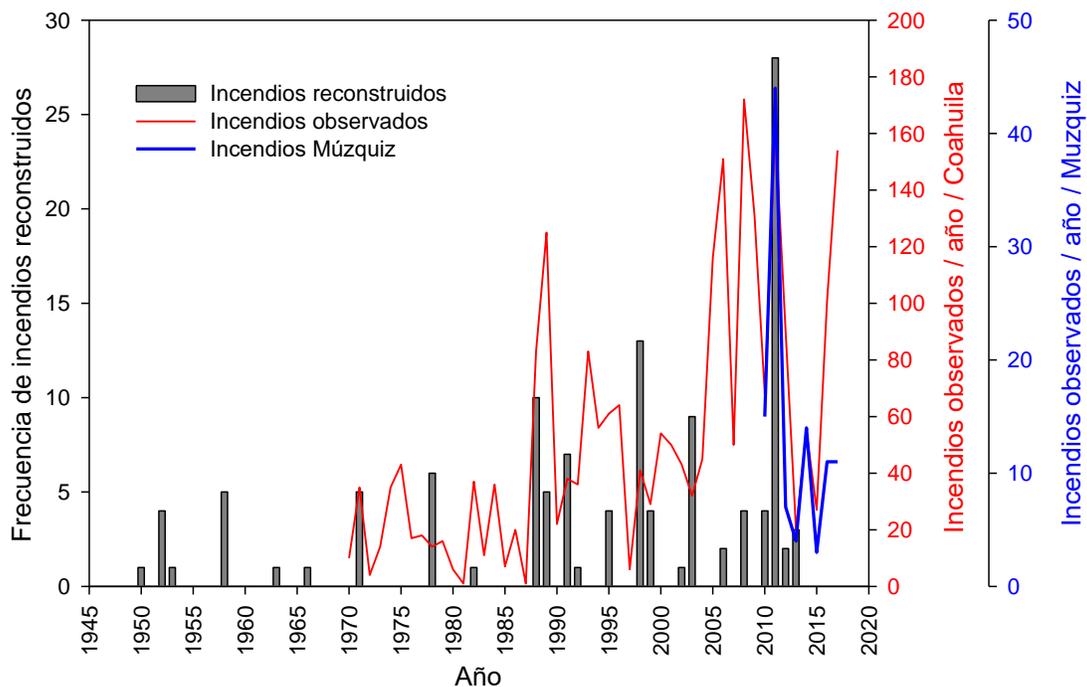


Figura 7. Incendios observados y reconstruidos; la línea roja representa los incendios observados por año en el estado de Coahuila, para el periodo de 1970-2017 (48 años), la línea azul representa los incendios observados en el municipio de Múzquiz para el periodo de 2010-2017 (8 años), registros obtenidos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2017). Las barras en color gris representan los incendios reconstruidos.

Los registros observados sincronizan con la frecuencia de incendios reconstruida, especialmente los años para los cuales se registró mayor cantidad de incendios. Los regímenes de incendios se reconstruyeron para el periodo (1693-2013) 320 años

(Figura 6), comparado con los registros observados de 48 años para el estado de Coahuila, y ocho años para el municipio de Múzquiz, esto representa información relevante que amplían el conocimiento sobre los regímenes del fuego más de 150 años en el pasado. Información que brinda los elementos para un análisis más completo sobre la historia de incendios, cambios o alteraciones de los regímenes, periodos de supresión, incendios de mayor o menor intensidad, intervalos de frecuencia y recurrencia; así mismo, determinar la influencia antropogénica sobre los regímenes en las últimas décadas.

La importancia de los estudios de reconstrucción de incendios fundamentados en técnicas dendrocronológicas, brindan una alternativa para conocer los regímenes de fuego varias décadas o siglos en el pasado, determinar el papel que ha jugado la variabilidad climática en la frecuencia histórica y la influencia antropogénica en las últimas décadas y que repercusiones conllevan en toma de decisiones para el manejo forestal.

## 5. Conclusiones

La reconstrucción de los regímenes incendios para los últimos 320 años (1693–2013) en un bosque de *P. ponderosa* en los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila se determinó que, no habido un cambio significativo, se mantiene una frecuencia de incendios con intervalos cortos libres de fuego (1941-1949).

Se determinó que los incendios en su mayoría se registraron en la estación de primavera, puesto que para esta época del año se registran altas temperaturas y disminución de la precipitación, en consecuencia, pérdida de la humedad en la vegetación, condiciones idóneas para la presencia de incendios.

Los encargados del manejo deben considerar la información histórica generada sobre los intervalos medios de frecuencia de incendios y los intervalos de recurrencia, tratar en la medida de lo posible dar continuidad a esta frecuencia histórica, esto con el objetivo de evitar intervalos amplios que, pueden propiciar la acumulación de combustible y por ende incendios más severos.

Al no observar un cambio importante en el régimen de incendios, no se rechaza hipótesis nula, la cual indica que no existe una alteración en el régimen del fuego en las últimas décadas para los Cañones Oso y Ojo de Agua.

## 6. Recomendaciones

Se recomienda continuar con el desarrollo de estudios de reconstrucción de incendios para la Sierra Madre Oriental, ya que la mayoría se ha concentrado para la Sierra Madre Occidental, ya que estos sitios poseen especies longevas para reconstruir periodos de incendios más largos.

Con la información sobre los regímenes de incendios en el área de estudio, se recomienda evaluar las cargas de combustibles presentes en el sitio que permitan determinar las áreas de mayor riesgo de incendios, además de profundizar el estudio de la relación de años muy lluviosos, nevadas y heladas en conexión con la incidencia de incendios severos años posteriores, todo esto es de suma relevancia para proponer acciones de prevención siendo proactivo y no reactivo, esto con el propósito de tomar decisiones de manejo del fuego para prevenir incendios de gran magnitud. Y finalmente se recomienda hacer más estudios sobre las relaciones flora, fauna y ambiente, por considerarse como un sitio condición de referencia, ya que al no encontrarse interrupción en la frecuencia de incendios, los factores bióticos y abióticos podrían estar en balance o equilibrio.

## 7. Referencias

- Arno S., F., y Sneck K., M. (1977). A method for determining fire history in coniferous forests in the mountain west. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-42. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 28 p., 42.  
[https://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_int/int\\_gtr042.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr042.pdf)
- Baisan C., H., y Swetnam T., W. (1990). Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 1559–1569. <https://doi.org/10.1139/x90-208>
- Bitrán D., B. (2001). *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-1999*. (V. R. Radilla, Ed.) (1a edición). México CENAPRED. p.110.  
<http://www.cenapred.gob.mx/es/publicaciones/archivos/29-no.2>  
[impactosocioeconomicodelosprincipalesdesastresocurridosenmxicoenelao2000.pdf](http://www.cenapred.gob.mx/es/publicaciones/archivos/29-no.2)
- Cerano P., J., Villanueva D., J., y Fulé P., Z. (2010). Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la Reserva Cerro El Mohinora, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 63-74.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n1/v1n1a8.pdf>

- Cerano P., J., Villanueva D., J., Vázquez S., L., Cervantes M., R., Magaña R., V., Constante G., V., y Valdez C., R. (2019). Influencia climática en el régimen de incendios (1700 a 2008) en la cuenca del río Nazas, Durango, México. *Ecología del fuego*, 15 (1), 4-10.
- Cerano P., J. (2004). *Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. p. 170.  
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/874/58436s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerano P., J., Villanueva D., J., Cervantes M., R., Fulé P., Yocom L., Esquivel A., G., y Jardel P., E. (2015). Historia de incendios en un bosque de pino de la Sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Bosque (Valdivia)*, 36(1), 41-52.  
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v36n1/art05.pdf>
- Cerano P., J., Villanueva D., J., Vázquez S., L., Cervantes M., R., Esquivel A., G., Guerra C., V., y Fulé P. (2016). Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de *Pinus hartwegii* al norte del estado de Puebla, México. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 389-399.  
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v37n2/art17.pdf>
- Cerano P., J., Villanueva D., J., Valdez C., R. D., Constante G., V., González B., J. L., y Estrada Á., J. (2012). Precipitación reconstruida para la parte alta de la Cuenca de Río Nazas, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(10), 07-23. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v3n10/v3n10a2.pdf>

Ciesla W., M. (1995). Sostenibilidad de los bosques mediante su protección contra incendios, insectos y enfermedades. En: Estudio FAO Montes 122. Roma. p. 143 - 163. <http://www.fao.org/3/ap430s/ap430s00.pdf>

CONAFOR, (2017). Reportes semanales de incendios forestales. <http://187.218.230.5/mapas-reportes-y-estadisticas/incendios-forestales>

CONAGUA, (2018). Red de Estaciones climatológicas. <https://smn.cna.gob.mx/tools/Resources/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz>.

Conedera M., Tinner W., Neff C., Meuer M., Dickens A., y Krebs P. (2009). Reconstructing past fire regimes: Methods, applications, and relevance to fire management and conservation. *Quaternary Science Reviews* 28: 435–456. [http://www.issw.ch/info/mitarbeitende/conedera/publications1/thema/download/Conedera\\_et\\_al.\\_2009\\_QSR.pdf](http://www.issw.ch/info/mitarbeitende/conedera/publications1/thema/download/Conedera_et_al._2009_QSR.pdf)

Douglass A., E. (1919). Ciclos climáticos y crecimiento de árboles. Washington, DC: Institute Carnegie de Washington. 127 pp. <https://archive.org/details/climaticcyclestr01dougsoft/page/10>

FAO, (2001). The Global Forest Resources Assessment 2000 - main report. Estudio FAO Montes N° 140. Roma.

Foronda S., L. (2015). Geología. Rocas sedimentarias y sus propiedades. Consultado en internet en [https://prezi.com/fpsrjophqxu\\_/rocas-sedimentarias-y-sus-propiedades/](https://prezi.com/fpsrjophqxu_/rocas-sedimentarias-y-sus-propiedades/)

- Fowells H., A. (1965). *Silvics of forest trees of the United States. Manual sobre agricultura 271*, Washington, D.C., Servicio Forestal del DAEU, 762 p.
- Fulé P., Z., y Covington W., W. (1997). Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Acta Botánica Mexicana*, (41), 43-79. <https://www.redalyc.org/pdf/574/57404107.pdf>
- Fulé P., Z., y Covington W., W. (1999). Fire regime changes in La Michilía Biosphere Reserve, Durango, México. *Conservation Biology*, 13(3), 640-652. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97512.x>
- Fulé P., Z., Villanueva D., J., y Ramos G., M. (2005). Fire regime in a Conservation reserve in Chihuahua, México. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(2), 320-330. <https://doi.org/10.1139/x04-173>
- Fulé P., Z., Yocom L., L., Montañó C., C., Falk D., A., Cerano J., y Villanueva D., J. (2012). Testing a pyroclimatic hypothesis on the México United States border. *Ecology*, 93(8), 1830-1840. <https://doi.org/10.1890/11-1991.1>
- García E. 1998. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. Serie de Libros N°.6. México. 98 p. [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_siglo\\_21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo_21/serie_lib/modific_al_sis.pdf)
- Grissino M., H. D. (2001). FHX2-software for analyzing temporal and spatial patterns in fire regimes from tree rings. *Tree-Ring Research*, 57, 115-124. Retrieved from. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/262559>

Grissino M., H. D., Baisan, C. H., y Swetnam, T. W. (1994). Fire history in the Pinaleño Mountains of southeastern Arizona: effects of human-related disturbances. United States Department of Agriculture Forest Service General Technical Report Rm, 399-407.

[https://www.researchgate.net/publication/228116880\\_Fire\\_History\\_in\\_the\\_Pinaleno\\_Mountains\\_of\\_Southeastern\\_Arizona\\_Effects\\_of\\_Human-Related\\_Disturbances](https://www.researchgate.net/publication/228116880_Fire_History_in_the_Pinaleno_Mountains_of_Southeastern_Arizona_Effects_of_Human-Related_Disturbances).

INEGI, (2001a). Diccionario de datos geológicos. (Vectorial). Esc. 1:50 000. Sistema Nacional de Información Geográfica Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México.

INEGI, (2001b). Diccionario de datos fisiográficos. (Vectorial). Esc. 1:1 000 000. Sistema Nacional de Información Geográfica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México.

INEGI, (2014). 'Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional)', escala: 1:250000. Edición: 2. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México.

INEGI, (2018). 'Áreas Geoestadísticas estatales 1:250000. 2018', escala: 1:250000. Edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.

- Martínez H., L. (2018). El papel del campesinado ante la regulación de los incendios forestales en México: Consecuencias inesperadas. [www.revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales/article/download/.../13604/](http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales/article/download/.../13604/)
- McKenzie D. (2004). La historia del fuego y su relación con el clima. In: Villers-Ruiz L; López-Blanco J., (eds.) Incendios forestales en México: métodos de evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. Pp 13-28
- Mexicano, S. G. 2008. Carta Geológico-Minera Monterrey G14-7 Nuevo León y Coahuila. Servicio Geológico Mexicano, 1(250), 000.
- Molina P., I. M., Cerano P., J., Rosales M., S., Villanueva D., J., Cervantes M., R., Esquivel A., G., y Cornejo O., E. (2017). Frecuencia histórica de incendios (1779-2013) en bosques de pino-encino de la comunidad de Charcos, Mezquital, Durango. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 23(1), 91-104. <http://www.redalyc.org/pdf/629/62949072007.pdf>
- Mutch W., R. (1970). Wildland Fires and Ecosystems A Hypothesis. *Ecology*. 51. 10.2307/1933631. <https://doi.org/10.2307/1933631>
- Pantoja C., V. (2008). Las dos caras del fuego:-Invitando a reflexionar sobre la “cara buena” y la “cara mala” del fuego. Informe Técnico del Equipo Global para el Manejo del Fuego 2008-1. *The Nature Conservancy*. Arlington, VA. [https://www.researchgate.net/publication/299608438\\_Las\\_dos\\_caras\\_del\\_fuego\\_invitando\\_a\\_reflexionar\\_sobre\\_la\\_cara\\_buena\\_y\\_la\\_cara\\_mala\\_del\\_fuego](https://www.researchgate.net/publication/299608438_Las_dos_caras_del_fuego_invitando_a_reflexionar_sobre_la_cara_buena_y_la_cara_mala_del_fuego)

- Poulos H., M., Villanueva D., J., Cerano P., J., Camp A., E., y Gatewood R., G. (2013). Human influences on fire regimes and forest structure in the Chihuahua Desert Borderlands. *Forest Ecology and Management*, 298, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.02.014>
- Rzedowski J., y Huerta L. (1978). Vegetación de México editorial limusa. México, DF. <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7369.pdf>
- Stokes M., A., y Smiley T., L. (1968). An introduction to tree-ring dating. University of Chicago, Chicago, Reprinted 1996. <https://uapress.arizona.edu/book/an-introduction-to-tree-ring-dating>
- Swetnam T., Allen C., y Betancourt J. (1999). Applied historical ecology using the past to manage for the future. *Ecological Applications*, 9(4), 1189-1206 <http://faculty.washington.edu/stevehar/Swetnam%20using%20the%20past.pdf>
- Swetnam T., W., Baisan C., H., y Kaib J., M. (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.
- Yocom L., L., Fulé P., Z., Brown P., M., Cerano J., Villanueva D., J., Falk D., A., y Cornejo O., E. (2010). El Niño–Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern México has changed over time. *Ecology*, 91(6), 1660-1671. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20583708>

Yocom L., L., Fulé P., Z., Falk D., A., Garcia D., C., Cornejo O., E., Brown P., M., y Montaña C., C. (2014). Fine-scale factors influence fire regimes in mixed-conifer forests on three high mountains in México. *International journal of wildland fire*, 23(7), 959-968. <https://doi.org/10.1071/WF13214>