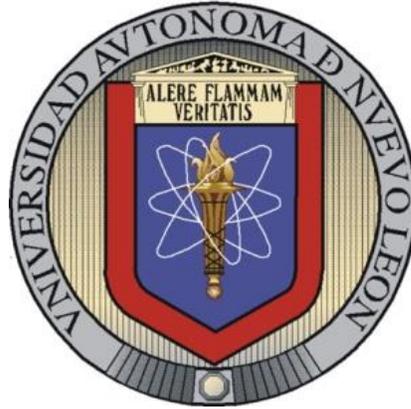


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE INCENDIOS
FORESTALES MEDIANTE TÉCNICAS
DENDROCRONOLÓGICAS EN EL CERRO EL POTOSÍ,
NUEVO LEÓN**

POR:

ING. BEATRIZ CALLEJA PELÁEZ

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de

Maestría en Ciencias Forestales

Agosto, 2019

**RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE INCENDIOS FORESTALES
MEDIANTE TÉCNICAS DENDROCRONOLÓGICAS EN EL CERRO
EL POTOSÍ, NUEVO LEÓN**

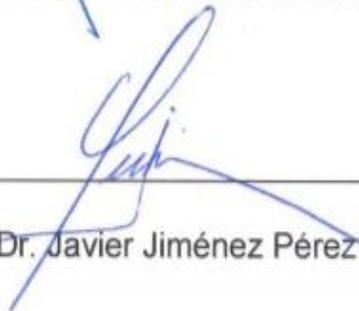
Aprobación de Tesis



Director: Dr. Marco Aurelio González Tagle



Codirector: Dr. José Israel Yerena Yamallel



Asesor: Dr. Javier Jiménez Pérez



Asesora externa: Dra. Wibke Himmelsbach

Agosto, 2019

DECLARATORIA

Declaro que la presente investigación es original y se desarrolló para obtener el título de Maestría en Ciencias Forestales, donde se utilizó información de otros autores, a los cuales se les otorga los créditos correspondientes.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Beatriz', enclosed within a blue oval scribble.

Ing. Beatriz Calleja Peláez

DEDICATORIA

A Dios

Quien me ha dado fortaleza en los momentos difíciles

A mis queridos padres:

Pudenciana Peláez Cantú (†) y Silvio Calleja Aburto por darme la vida y por brindarme todo su apoyo para lograr esta meta tan importante en mi vida, luchando sin cansancio a pesar de las adversidades, gracias por dejarme el mejor de las herencias. Este logro también es de ustedes.

“En especial a la memoria de mi madre, persona que creyó infinitamente en mí, fue y seguirá siendo un ejemplo de fortaleza, decisión y sacrificio para salir adelante; que además de madre fue una amiga, quien siempre se preocupó por mi bienestar, mostrándome su amor en todo momento. Pero lamentablemente no le alcanzo el tiempo para ver mi meta cumplida”.

A mi hermano y hermanas:

Gregorio (†), Librada, Hilda y Socorro; a cada uno de ellos que tiene un ejemplo de vida que me motiva a seguir adelante y a no rendirme jamás.

A mis sobrinos:

Lizzeth, Luis, Lucely, Monserrat y Meztli, quienes han llenado de alegría a mi vida, en cada risa y juego, esperando que yo pueda ser un gran ejemplo para ellos.

Con mucho cariño y afecto...

Beatriz Calleja Peláez

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias Forestales. Así mismo al apoyo del Programa de Incorporación de Mujeres Indígenas a Posgrados para el Fortalecimiento Regional en el estado de Guerrero y por los apoyos complementarios asignados.

A la Universidad Autónoma de León a través de la Facultad de Ciencias Forestales por aceptarme en el programa de maestría y académicos que contribuyeron de manera directa o indirectamente en mi formación profesional, gracias por todo el apoyo.

Al Dr. Marco Aurelio González Tagle, director de tesis, por su confianza, apoyo y disponibilidad en el desarrollo y culminación de esta investigación.

A la Dra. Wibke Himmelsbach por sus valiosas aportaciones para la mejora del escrito de este trabajo, asimismo por su gran apoyo y disponibilidad en las salidas a campo.

Al Dr. José Israel Yerena Yamallel y al Dr. Javier Jiménez Pérez por formar parte de mi comité de tesis.

A mi tutor Dr. Eduardo J. Treviño Garza por motivarme para la realización de mi estancia académica.

A si mismo agradezco a la Dra. Emilia Gutiérrez Merino, por recibirme y las facilidades proporcionadas durante mi estancia como investigadora visitante en el Departament BEECA sección de Ecología de la Facultat de Barcelona.

A Julián, Ana María y Claudia, por su apoyo en la realización del trabajo de campo, así mismo a la M. C. Fátima Acevedo.

Agradezco también Claudia, Pablo, Richi quienes, con su compañía, hicieron de esta travesía más agradable.

Al M. C. Bernardo López López, por su grata amistad y sabios consejos que me animan a seguir preparándome profesionalmente.

Y todas aquellas personas, familiares y amigos que de alguna otra forma depositaron su confianza en mí y que se me escapan de esta lista, de corazón les digo;

“Muchas Gracias”

“Los humanos recuerdan acontecimientos pasados a través de la memoria, los árboles nos los explican a través de sus Anillos” (E. Gutiérrez).

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
1. INTRODUCCIÓN -----	1
2. OBJETIVOS-----	3
3. HIPÓTESIS-----	3
4. JUSTIFICACIÓN -----	4
5. ANTECEDENTES -----	5
5.1 Incendios forestales-----	5
5.2 Régimen de incendios-----	5
5.3 Dendrocronología-----	5
5.4 Anillos de crecimiento -----	6
5.5 Aplicaciones de la dendrocronología-----	7
5.6 Principios de la dendrocronología -----	8
5.7 Cronología maestra -----	11
5.8 Estudios dendrocronológicos en México -----	12
6. MATERIALES Y MÉTODOS -----	15
6.1 Localización y descripción del área de estudio -----	15
6.2 Muestreo-----	16
6.2.1 Selección del área -----	16
6.2.2 Selección de árboles y obtención de muestras -----	17
6.3 Trabajo de laboratorio -----	19
6.3.1 Procesamiento de muestras -----	19
6.3.2 Conteo y fechado de anillos -----	19
6.3.3 Medición de los anillos -----	20
6.3.4 Determinación del periodo de ocurrencia de incendio-----	20

6.4	Análisis de datos-----	22
6.4.1	Relación clima – incendios-----	22
7.	RESULTADOS -----	24
7.1	Estación de ocurrencia de incendios-----	24
7.2	Historial de incendios -----	26
7.3	Frecuencia de incendios -----	30
7.4	Relación Niño 3 - Incendios -----	30
7.5	Variables climáticos – incendios -----	32
8.	DISCUSIÓN -----	34
9.	CONCLUSIÓN-----	37
10.	BIBLIOGRAFÍA -----	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de especies de acuerdo con su rango altitudinal (Izquierdo) y la selección de árboles en condiciones extremas (derecho). Tomado de Klesse et al., (2018). -----	10
Figura 2. Representación de dos árboles, donde el árbol de lado izquierdo es el indicado para la extracción de datos, debido que presenta anillos sensibles (Fuente: Gutiérrez, 2009).-----	10
Figura 3. Aplicación del crossdating a través de diferentes muestras para la elaboración de una serie dendrocronológica o cronología maestra (Fuente: Grissino-Mayer, 2017).-----	12
Figura 4. Ubicación del área de estudio para la reconstrucción del régimen de incendios en la Sierra Madre Oriental, México. -----	15
Figura 5. Ubicación y distribución de los puntos muestreados. Los triángulos indica la localización de cada árbol muestreado). -----	16
Figura 6. Obtención de muestras en campo con evidencia de incendios: A) tocón, B) árbol vivo, C) árbol muerto en pie y D) árbol muerto caído. -----	18
Figura 7. Aplicación del cofechado o crossdating entre la cronología maestría y el skeleton generado de las muestras. La sección superior de la imagen corresponde a la cronología maestra obtenida por Villanueva et al. (2012) para el Cerro El Potosí y en la parte inferior se muestra el Skeleton para una muestra del área de estudio.-----	20
Figura 8. Cicatriz de incendio ubicada en la mitad de la madera temprana, para una de las muestras de <i>Pinus hartwegii</i> colectadas en el Cerro el Potosí. -----	21
Figura 9. Representación gráfica del número de muestras y cicatrices por especie.-----	24
Figura 10. Registro de la ubicación de las cicatrices en el anillo de crecimiento de 1850 a 1999 en periodos de 50 años. -----	26
Figura 11. Reconstrucción de la frecuencia de incendios reconstruida en el Cerro El Potosí. Considerando todas las cicatrices. Las líneas horizontales representan las muestras obtenidas, verticales en color de negro las cicatrices de incendios y	

por ultimo las líneas de color rojo remarcan los incendios con mayor intensidad.

-----28

Figura 12. Registro de incendios a partir del año 1840 - 2019 en periodos de 10 años.-----29

Figura 13. Análisis de sobreposición de época; se muestra la relación del Niño 3 con todas las muestras y la última gráfica (lado derecho-inferior) con el filtro de 25% de los incendios para el periodo de 1904-2000. El año del incendio está representado con el 0, los cinco valores negativos indican los años previos al incendio y los valores positivos indican los dos años posteriores al incendio. --31

Figura 14. Relación de precipitación con incendios del cerro El Potosí; donde la línea azul representa valores de precipitación, línea punteada media de la precipitación y las barras corresponde a la frecuencia de incendios ocurridos para cada año.-----32

Figura 15. Correlaciones entre la frecuencia de las señales de incendios (Cerro Potosí) y el clima (precipitaciones – anuales y estacionales-, las temperaturas medias de las máximas y las mínimas -Tx y Tn anuales y estacionales, el índice de sequía –PSDI anual y estacional y el índice del Niño. Datos bajados de <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>), con un periodo de 1901 a 2017. + = $p < 0.08$, * = $p < 0.05$.-----33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estacionalidad en número y porcentaje de las cicatrices de los incendios del Cerro El Potosí encontrados en el anillo anual de crecimiento del árbol. Donde: D: Dormancia, E: Inicio de la madera temprana, M: mitad de la madera Temprana, L: Última porción de la madera temprana, A: Cicatriz en la madera tardía. Para determinar la estación de primavera se consideró las cicatrices que ocurrieron en D+E; para la estación de verano se consideró las cicatrices que comprenden M+L+A.....	25
Cuadro 2. Prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$), entre periodos de 50 años con el número de incendios ocurridos. Letras distintas indican diferencias significativas.	29
Cuadro 3. Intervalos de frecuencia de incendios, para el periodo de 1691-2017 del Cerro El Potosí. MFI= Intervalo Medio de Frecuencia de Incendios; WMPI= Intervalo Medio de Probabilidad de Weibull.....	30

RESÚMEN

El presente estudio se realizó en el Cerro el Potosí, área natural protegida, en la cual albergan especies con un alto interés biológico y ecológico, donde los incendios forestales han estado presentes modificando la dinámica y composición del bosque. El objetivo del trabajo fue reconstruir el historial de régimen de incendios y conocer si las variables del clima han influido en su incidencia, mediante la aplicación de métodos dendrocronológicos. Se colectaron 30 muestras de secciones transversales con cicatrices para las especies de *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite* y *Pseudotsuga menziesii* en 25 hectáreas. De las muestras obtenidas 63 % corresponden a árboles muertos y el 37 % restante a árboles vivos. Se logró datar 119 cicatrices de incendios, mediante la técnica de Crossdating y con la ayuda de la cronología maestra se reconstruyó la historia de fuego para el periodo 1691-2017. El primer incendio correspondió al año de 1731 y el más reciente a 2011. Los incendios de mayor extensión fueron 1909, 1920, 1944 y 1998. El Intervalo Medio de Frecuencia de Incendios (MFI) y el Intervalo Medio de Probabilidad de Weibull (WMPI) para todas las muestras fue de 4.75 y 4.76 años, respectivamente. Además, el MFI y WMPI para el filtro del 25 % de las muestras fue de 24.27 y 24.26 años, respectivamente. El 77.40 % de los incendios ocurrió en primavera y solo el 22.60 % en verano, esto es posiblemente a las primaveras precedidas por inviernos muy secos y otoños con temperaturas altas. Para el Análisis de Sobreposición de Época (SEA) los valores del NIÑO3 y los años con incendios registrados indicaron que los años previos a un incendio fueron significativamente húmedos ($p < 0.05$) y los años posteriores secos. La relación entre la cronología de incendios y precipitación fue negativa y significativa. En cambio, se encontró una relación significativamente ($p < 0.05$) positiva con las temperaturas máximas y mínimas medias anuales y con el índice de sequía (PSDI). De esta manera se confirmó que el clima influyó en la incidencia de los incendios forestales.

Palabras clave: Dendropirocronología, Régimen de incendios, clima, El Potosí.

ABSTRACT

The present study was carried out in Cerro El Potosí, a protected natural area, in which species with a high biological and ecological interest are housed, where fires have adapted to the dynamics and composition of the forest. The objective of the work was to reconstruct the history of fires and to know the variables of the climate that have influenced its incidence through the application of dendrochronological methods. Thirty samples of cross sections with scars were collected for the *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite* and *Pseudotsuga menziesii* species on 25 hectares. Of the published samples, 63% correspond to dead trees and the remaining 37% to live trees. 119 fire scars were included in the yearbook, using the Crossdating technique and with the help of the master chronology the history of fire was rebuilt for the period 1691-2017. The first fire corresponded to the year 1731 and the most recent one to 2011. The largest fires lasted from 1909, 1920, 1944 and 1998. The Mean Fire Interval (IMF) and the Weibull Median Probability Interval (WMPI) for all samples was 4.75 and 4.76 years, respectively. In addition, the MFI and WMPI for the 25% filter of the samples were 24.27 and 24.26 years, respectively. 77.40% of fires in the spring and only 22.60% in the summer, this is possible in the previous springs. The Superposed Epoch Analysis (SEA), the values of NIÑO 3 and the years with fires indicated that the previous years have been affected by the effect of the attacks ($p < 0.05$) and the subsequent dry years. The relationship between the chronology of the fires and the results was negative and significant. In contrast, a positive ($p < 0.05$) positive relationship with temperatures has been found maximum and minimum annual average and with the drought index (PSDI). In this way it was confirmed that the climate influenced the incidence of forest fires.

Keywords: Dendrochronology, Fire regime, climate, El Potosí

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales desempeñan funciones y servicios fundamentales en el ecosistema a nivel mundial, donde son grandes sumideros de carbono, estabilizan el clima, así como también albergan una gran riqueza de especies de flora y fauna. Sin embargo, las actividades antropogénicas y el cambio climático están alterando la dinámica de los bosques y uno de los peligros más grandes que presentan son los incendios forestales.

En México los incendios forestales cada vez son más frecuentes y miles de hectáreas de bosques, zonas naturales protegidas se ven afectadas y en especial en el noreste de México (Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003; Alanís-Rodríguez et al. 2011), alterando de manera significativa el funcionamiento de los ecosistemas y mermando drásticamente los recursos de un alto valor ecológico y económico (Díaz-García, 2015).

Actualmente los incendios pueden ser descritos por la frecuencia, intensidad y tamaño (área afectada), en conjunto, estos elementos constituye como el régimen de incendios (González-Tagle et al., 2007; Cerrillo-Navarro et al., 2008). El régimen de incendios puede caracterizarse con la aplicación de las técnicas dendrocronológicas basadas en los anillos de crecimiento de los árboles y en las cicatrices causadas por el fuego en el tronco de los árboles.

Reportes estadísticos oficiales emitidos por la CONAFOR del año 2018, se reportan un total de 7,706 incendios, afectando 440,905 hectáreas a nivel nacional. Mientras en lo que va del año 2019 (23 de mayo de 2019), se han registrado 2,622 incendios en todo el país, con una superficie afectada de 288,541 hectáreas. Para el estado de Nuevo León se tienen registrados 28 incendios que han afectado a 492 hectáreas afectadas (CONAFOR - SEMARNAT, 2019). De acuerdo con estas cifras los bosques forestales se han enfrentado grandes disturbios y afectaciones año con año, donde la diversidad de las especies arbóreas ha sido modificada en cuanto a su estructura y funcionamiento. Sin embargo, algunas especies han evolucionado con la presencia de los incendios y han desarrollado mecanismos de autodefensa como

corteza gruesa y algunas otras especies han modificado su forma de propagación adaptándose a la presencia del fuego al presentar conos serótinicos (Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003).

La caracterización de los regímenes de incendios generan información esencial para evaluar el comportamiento del fuego en un área específica, lo cual permite definir técnicas y estrategias para el manejo del fuego (Fulé & Covington, 1997). Estudios enfocados para determinar el régimen de incendios, se han desarrollado actualmente en los bosques de coníferas de México y Estados Unidos (Fulé et al., 2012; Poulos, Villanueva-Díaz et al., 2013); sin embargo en la Sierra Madre Oriental estos estudios son escasos ya que los pocos estudios realizados se concentran en la Sierra Madre Occidental (Cerano-Paredes, Villanueva-Díaz, & Fulé, 2010).

Esta investigación está enfocada principalmente en reconstruir el historial de ocurrencia de incendios en el Cerro El Potosí, Nuevo León, estudio que permitirá conocer la dinámica del bosque e implementar acciones sobre el manejo y control del fuego. Además, permite planear y realizar acciones para la restauración y conservación de los ecosistemas.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue reconstruir el régimen histórico de los incendios forestales y determinar su relación con el clima en un bosque de coníferas del Cerro El Potosí.

Para poder cumplir con el objetivo principal se plantearon cuatro objetivos específicos, que son los siguientes:

- 1) Analizar las evidencias de incendios en árboles vivos y muerto
- 2) Determinar el periodo o estación de ocurrencia de incendios
- 3) Determinar el intervalo de retorno de los incendios para el periodo de tiempo analizado
- 4) Determinar la posible relación que existe entre las variables del clima (temperaturas máximas y mínimas medias anuales, precipitación y PDSI) e incendios, así como también con el fenómeno del NIÑO3.

3. HIPÓTESIS

Así mismo, en este trabajo se plantean las siguientes hipótesis:

1. Existen alteraciones en el régimen histórico de incendios en el área.
2. La mayoría de los incendios ocurridos se presentó en la estación de verano.
3. Los incendios más severos se relacionan con eventos climáticos.

4. JUSTIFICACIÓN

Los incendios son presentes en la mayoría de los bosques forestales de México, ocasionando grandes disturbios y pérdida de especies de flora y fauna. El conocimiento detallado del régimen de fuego y su relación con factores climáticos permitirá prevenir incendios de grandes magnitudes, implementar acciones de conservación y manejo sustentable de los bosques en el área de estudio.

Los estudios enfocados a determinar la frecuencia o el régimen de los incendios en México y en especial en la Sierra Madre Oriental, con énfasis en el estado de Nuevo León son pocos y limitados debido a la falta de recursos y al desconocimiento de las técnicas a emplear.

De esta manera el presente estudio contribuirá a la ampliación del conocimiento sobre la ecología del fuego en los bosques templados del noreste de México.

5. ANTECEDENTES

5.1 Incendios forestales

Uno de los disturbios más comunes y frecuentes en los ecosistemas forestales son los incendios forestales, estos son provocados de manera natural o por actividades antropogénicas y en especial en el noreste de México (Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003; Alanís-Rodríguez et al., 2011), generando alteraciones en la biodiversidad, estructura y composición de los bosques, en algunos bosques de pino o pino encino, el fuego cumple un papel esencial en la regeneración de las especies (Ressler & Cruz, 2012; Ávila-Flores et al., 2014).

Rodríguez (1996), define un incendio forestal como la propagación libre del fuego no controlado sobre ecosistemas. Existen tres tipos de incendios; el superficial, subterráneo y de copas, donde este último son pocos frecuentes pero son los más peligrosos debido a que el arbolado es consumido completamente ya que el fuego se propaga entre las copas haciendo su extinción difícil, las clasificaciones antes mencionadas causan diferentes daños en los ecosistemas (Trabaud, 1992; Villers-Ruiz, 2006).

5.2 Régimen de incendios

El régimen de incendios describe los patrones de ocurrencia de incendios con relación al ecosistema, los cuales pueden ser ocasionados por diferentes causas en diferentes periodos y estaciones de tiempo, estas variables se obtienen a través de la frecuencia, intensidad, extensión y estacionalidad en que los incendios se presentaron (Rodríguez, 1996; Fulé & Covington, 1999; González-tagle et al., 2007; Cerano et al., 2009). Es decir que el régimen indica cada cuantos años en promedio ocurren los incendios en un área determinada.

5.3 Dendrocronología

La ciencia que se ocupa de la datación correcta y anual de anillos de crecimiento de las especies de árboles y arbustivas es la dendrocronología. Dicha ciencia se encarga de analizar los patrones temporales y espaciales que presentan los anillos de crecimiento de muchas especies (Fritts, 1976; Amoroso & Suarez, 2015). El término proviene de griego *dendron* que significa árbol; *chronos*

significa tiempo y *logos* proviene de conocimiento. Por lo tanto, se puede definir como la ciencia que data y utiliza los anillos de los árboles para llevar a cabo estudios ecológicos y ambientales. Ejemplos de estos estudios son el poder analizar la relación del crecimiento con el clima u otros eventos como incendios, avalanchas y sequías, ya que los árboles tienen la capacidad de registrar toda la información del medio que haya afectado a su crecimiento (Fritts, 1976; Grissino-Mayer, 1997; Villanueva-Díaz et al. 2004; Gutiérrez et al. 2012;).

El norteamericano, Andrew E. Douglass (1867-1962) fue reconocido como el padre de la dendrocronología quien acuñó el término dendrocronología en 1901, cuando laboraba en el Observatorio Lowell, Flagstaff, Arizona, donde observó la variación de la anchura de los anillos presentes en un tronco de pino cortado, por lo que se auto-cuestionó sobre qué factores influenciaban en la variación de la anchura, por ello comenzó a recolectar especímenes de árboles creyendo que tendrían alguna conexión entre la manchas solares, el clima y la vegetación (Douglass, 1914; Fritts, 1976).

5.4 Anillos de crecimiento

El crecimiento de los árboles se produce a través de los meristemos (primario-altura y secundario-diámetro); sin embargo, este acontecimiento no es continuo, debido a las condiciones ambientales que afectan a este proceso. Así, a lo largo del año, los árboles experimentan periodos de crecimiento y reposo influenciados por la estacionalidad del clima. El crecimiento se reinicia cuando las condiciones vuelven a ser favorables, la consecuencia de cada detención sobre la madera es que se genera una marca visible en forma de bandas, llamados anillos de crecimiento (Gutiérrez et al., 2012).

Los anillos de crecimiento son bandas de células producidas por el cámbium vascular en un periodo (año), que registran las condiciones ambientales como la humedad, precipitación (Brienen & Zuidema, 2003; Giraldo-Jiménez, 2011). Dichos anillos son observados en los árboles de las zonas templadas y frías, como también en aquellas zonas tropicales donde haya una estacionalidad marcada de algún factor ambiental. En las coníferas las células de mayor

diámetro se producen en la primera etapa del crecimiento y forman la madera temprana mientras que en la madera tardía las células son de menor tamaño (López-Ayala, Hernández, Lazalde, & Terrazas, 2006). Los anillos son datados y analizados a través de la dendrocronología que estudia los anillos de los árboles y sus características, por medio de virutas (testigos) sacadas con el taladro de pressler del tronco de los árboles o en secciones transversales obtenidas con motosierra.

5.5 Aplicaciones de la dendrocronología

A través de la información registrada en los anillos, estos se pueden datar de manera absoluta, actualmente la dendrocronología se ha extendido en diferentes países y con aplicaciones en campos muy diversos de la investigación (Grissino-Mayer, 2017), por lo que la dendrocronología se clasifica de acuerdo con el objetivo del estudio:

La Dendrocronopirología estudia y data los anillos de crecimiento de los árboles para conocer el régimen de incendios (Cerano-Paredes et al., 2009; Ávila-Flores et al., 2014; Grissino-Mayer, 2018)

La dendroclimatología utiliza los anillos anuales de los árboles para estudiar el comportamiento del clima actual y reconstruir el clima pasado, es decir que determina las condiciones climáticas para periodos anteriores cuando no se disponía de los registros meteorológicos, para ello se utilizan los anillos de los árboles como registros indirectos del clima (*Proxy*) (Giraldo-Jiménez, 2014; Grissino-Mayer, 2018).

La Dendroarqueología tiene como objetivo la datación de maderas antiguas de las construcciones, los años de derribo, transporte, proceso o el uso de la madera en las construcciones o artefactos (Grissino-Mayer, 2017). Por ejemplo se pueden datar maderas o vigas encontrados en ruinas, templos u algún otra construcción y para poder analizarla se necesita tener una cronología maestra que servirá de referencia local y por especies para hacer una comparación entre ellas (Gutiérrez et al., 2012).

La Dendroecología se basa en estudiar los factores que afectan al crecimiento de los árboles y al ecosistema, como puede ser el clima, las plagas, la contaminación del aire o algún otro tipo de perturbaciones, los efectos pueden ser visibles en los anillos de crecimiento (Amoroso & Suarez, 2015; Grissino-Mayer, 2017; Mendivelso, Camarero, & Gutiérrez, 2016).

Cada una de las subdivisiones de la dendrocronología establece sus propios criterios, métodos y procedimiento en base a su metodología (Bernabei & Macchioni, 2015).

5.6 Principios de la dendrocronología

La dendrocronología se basa en una serie de principios básicos (Grissino-Mayer, 2017), que a continuación se menciona y se describen cada uno:

El primer principio es el de la uniformidad que establece que los procesos físicos y biológicos están relacionados por los factores ambientales actuales del crecimiento de las especies arbóreas y que han sido los mismos en el pasado. Por ello en 1785 James Hutton dijo que “el presente es la clave del pasado”. Pero la dendrocronología modifica este principio estableciendo que “el pasado es la clave del futuro”. Es decir que a través del dendrocronología podemos conocer y predecir las condiciones ambientales que había anteriormente y relacionarlas con las condiciones actuales (Grissino-Mayer, 2017).

El principio de factores limitantes indica qué factores ambientales intervienen durante el crecimiento de los árboles (Grissino-Mayer, 2017). Para este principio es recomendable ubicar y localizar los árboles más representativos que muestren sensibilidad a los cambios climáticos. Un claro ejemplo son las regiones áridas y semiáridas, donde el factor limitante es la precipitación, responsable de la amplitud de los anillos.

El tercer principio es del crecimiento agregado de los árboles establece que las series de crecimiento de los árboles pueden ser descompuestas por el conjunto de factores ambientales que afectan a los árboles (Grissino-Mayer, 2017). Estos factores se agrupan de la siguiente manera en un modelo aditivo (Fritts, 1976):

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

Donde:

R_t : es la serie del grosor de los anillos anuales

A_t : tendencia debida por la edad (aumento de tamaño)

C_t : efectos del clima

$D1$: son las alteraciones que ocurren en un bosque de manera endógena del árbol las cuales llegan afectar el crecimiento (la genética).

$D2$: perturbaciones que vienen fuera de un bosque de manera exogenea, como son las plagas, huracanes, estas tienen una influencia en el desarrollo de vida del árbol.

E_t : factores adicionales no contabilizados, pero que al igual que los factores antes mencionados influyen en el crecimiento del árbol.

El principio de la amplitud ecológica consiste que cada especie tiene la capacidad de crecer y establecer sus poblaciones en un cierto hábitat y rango altitudinal. En este principio los árboles que se encuentran en los márgenes de su rango altitudinal, latitudinal, longitudinal son útiles para los estudios dendrocronológicos (Grissino-Mayer, 2017), ya que estos tienen la capacidad de registrar el factor climático que es un limitante en su desarrollo (Figura 1).

El principio de selección de sitio indica que los sitios aptos para la extracción de muestras son aquellos donde se encuentren árboles que presenten anillos sensibles a las condiciones ambientales (Figura 2), como en laderas, zonas rocosas, entre otras (Grissino-Mayer, 2017).

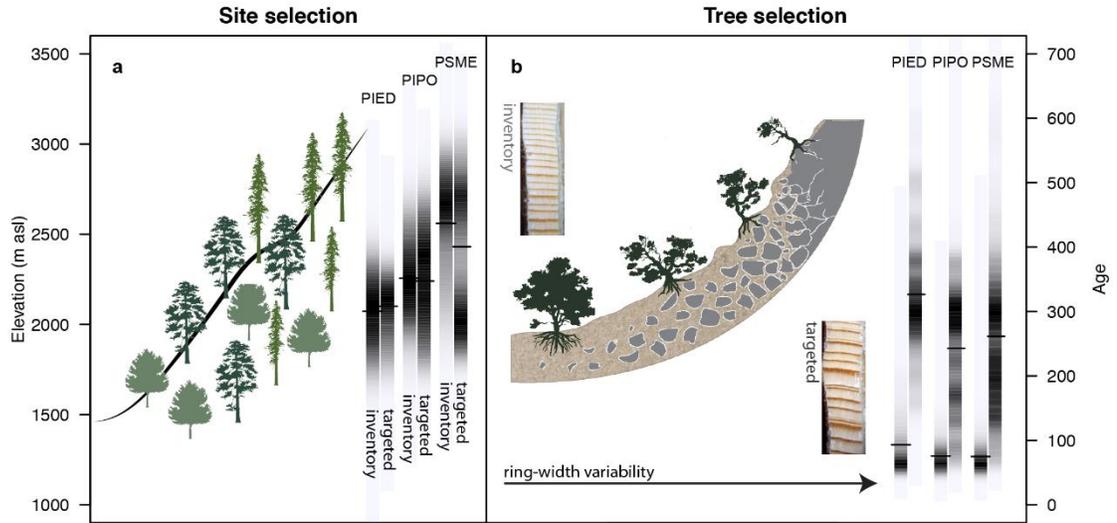


Figura 1. Distribución de especies de acuerdo con su rango altitudinal (Izquierdo) y la selección de árboles en condiciones extremas (derecho). Tomado de Klesse et al., (2018).



Figura 2. Representación de dos árboles, donde el árbol de lado izquierdo es el indicado para la extracción de datos, debido que presenta anillos sensibles (Fuente: Gutiérrez, 2009).

El principio de replicación establece que la señal ambiental que se está estudiando se puede maximizar, como también minimizar variables locales o el ruido generado, a través de la obtención de virutas de árboles en un rodal (mínimo 30 árboles) por sitio (Grissino-Mayer, 2017). Ya que a mayor número de muestras se reduce la variabilidad del ruido (factores locales que no son el objetivo del estudio).

Por último, el principio más importante dentro de la dendrocronología es el cofechado (*cross-dating* en inglés), el cual se basa en identificar los patrones del crecimiento del ancho de los anillos, estos tienden a coincidir entre las series de anillos de árboles de una zona, facilitando el datado exacto (año calendario) en que se formó cada anillo de un árbol (Figura 3). El cofechado es el principio fundamental de la dendrocronología, ya que, sin la precisión adecuada en la fecha de los anillos no sería posible llevar a cabo las dataciones de los estudios ecológicos y ambientales (Fritts, 1976; Grissino-Mayer, 2017).

5.7 Cronología maestra

La cronología maestra o cronología estandarizada es el resultado de la medición de la amplitud del ancho de los anillos con el programa COFECHA (Fritts, 1976), así como la estandarización de las series de cada árbol con el programa ARSTAN (Cook & Holmes, 1984). Los datos ejecutados son provenientes de árboles vivos de una misma especie y de un determinado lugar o región, esta cronología puede ir retrocediendo en el tiempo a través de la superposición de secuencia de series obtenidas de maderas encontradas en zonas arqueológicas, árboles muertos entre otros, generando una gran línea de tiempo (Figura 3). En estudios destinados a la evaluación climatológica temporal de una región es muy útil ya que en los anillos se archiva las estaciones y en especial en los anillos más estrechos de un árbol (Gutiérrez, 2009; Gutiérrez et al., 2012).

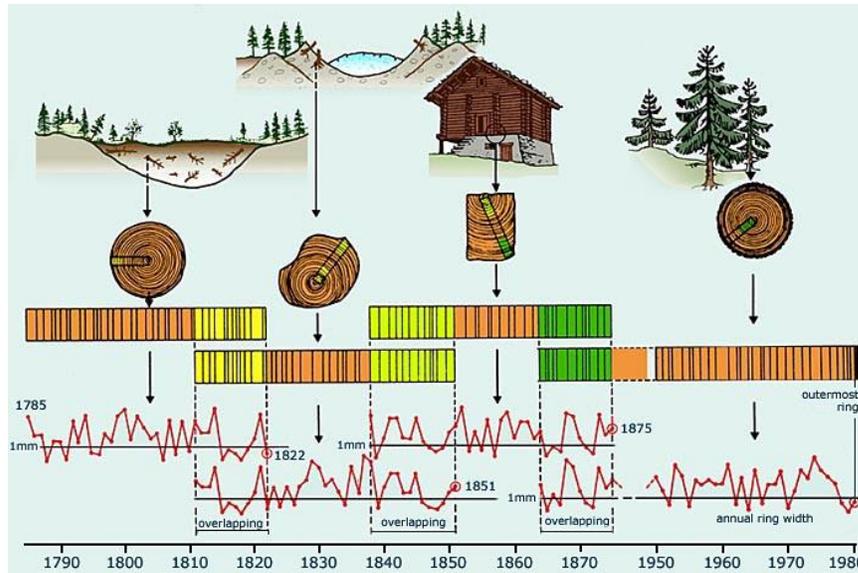


Figura 3. Aplicación del crossdating a través de diferentes muestras para la elaboración de una serie dendrocronológica o cronología maestra (Fuente: Grissino-Mayer, 2017).

5.8 Estudios dendrocronológicos en México

En México, actualmente, los estudios enfocados a la reconstrucción del régimen de incendios se concentran en su mayoría en los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental (SMO) (Cerano-Paredes et al., 2010; Fule & Covington, 1997; Fulé et al., 2012), sin embargo en la Sierra Madre Oriental (SMO) estos estudios no son muy numerosos (González-Tagle et al. 2007; Yocom et al. 2010). Situación similar se presenta en el centro y sur de México debido a que los estudios aún no son tan comunes, en parte por el desconocimiento del proceso de la toma de datos (Cerano-Paredes et al., 2009).

Uno de los estudios realizados para el noreste de México es de González-Tagle et al. (2007), donde desarrollaron el historial de incendios en el Parque Ecológico Chipinque, del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, para el periodo 1860-2002 (134 años), donde el primer incendio registrado fue del año de 1868 seguido de 1940 con un intervalo de 72 años libre de fuego. Los incendios posteriores corresponden a 1972, 1984 y 1998, con intervalos de 32, 14 y 12 años, respectivamente.

Cerano et al. (2010), determinaron el historial del régimen de incendios en *Pinus durangensis*, *P. arizonica* y *P. ayacahuite* en la Reserva Cerro El Mohinora, sur del estado de Chihuahua, datando un total de 277 cicatrices de incendios en 73 secciones. La mayor incidencia de eventos es para 1945, 1971, 1988 y 1995. Los intervalos medios de frecuencia de incendio (MFI) variaron de 5.1 a 8.8 años y el intervalo de probabilidad de ocurrencia de incidencia (WMPI) es 3.8 a 6.0 años. Y más de 80% de los eventos se registraron en primavera.

Rosales-Mata, (2016), colectó 55 muestras de especies de *Pinus* (*P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. ayacahuite*, *P. teocote* y *P. leiophylla*) con cicatrices de incendios en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Dgo. Con técnicas dendrocronológicas, dató 47 muestras con 131 cicatrices, reconstruyó un periodo de incendios para 198 años (1816-2014), con incendios de severidad en 1967, 1972, 1978 y 1995. Con intervalos medio de frecuencia de 6.27 años. La mayoría de los incendios ocurrieron en la estación de primavera con 78.6 % y 21.4% en verano.

Yocom et al. (2010) establecieron tres sitios de 25 hectáreas cada uno, con una separación de 1 km en San Onofre (SO), El Diferencial (DI) Y Mesa Acuña(MA), en ellas recolectaron 112 muestras de árboles de cicatrices, de las cuales solo 100 se pudieron fechar con un total de 408 cicatrices, la primera cicatriz para los tres sitios se registró en 1521 y la última corresponde el año de 1998, los resultados indicaron que para 1920 los registros disminuyeron relativamente hasta el último evento. Entre los años 1774 y 1929 indica que hay un periodo de 38 años con incendios, solo siete años (18%) registraron incendios en los tres sitios; 1786, 1819, 1831, 1838, 1899, 1909 y 1920. El intervalo promedio de fuego de incendios varía de 11.9 años en Mesa Acuña a 18.6 años en San Onofre, la probabilidad mediana de Weibull fue de 17 años en los tres sitios.

Así mismo, Ávila-Flores, (2013), realizó un estudio en el Cerro el Potosí, Nuevo León, sobre el historial de incendios con especies de *P. strobiformis* y *P. hartwegii*, colectando 22 muestras de las cuales sólo pudo fechar 16, con un periodo de 1888-2011, el incendio más antiguo corresponde del año 1807 y la

más reciente en 1998, con un intervalo medio de frecuencia (MFI) de 11 años y para el filtro de 25 % mostró 15.7 años.

En la comunidad de Charco, Mezquital Dgo. Molina-Pérez et al., (2017), reconstruyeron la frecuencia histórica del fuego utilizando 78 muestras con cicatrices de incendios para especies de *P. durangensis*, *P. arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. teocote* y *Pseudotsuga menziessi* en tres pendientes (ME, P1 Y P2). Las muestras procedieron de árboles vivos (73%) y muertos (27%), de las cuales sólo se fecharon 75 muestras que registraron 535 cicatrices. El historial comprende un periodo de 1746 a 2013 (267 años), el primer incendio corresponde el año 1779 mientras que el incendio más reciente corresponde al de 2012. En P2 se reconstruyó un periodo de 1779 a 2013 (235 años), en el rango de 1850 – 1976 los incendios fueron muy frecuentes, posterior a 1976 la frecuencia disminuyó. El 92.2 de los incendios ocurrieron durante la primavera mientras que en verano solo se produjeron el 7.8 %.

En un bosque de *Pinus hartwegii*, norte del estado de Puebla, México, Cerano-Paredes et al., (2016), colectaron 43 muestras y dataron 40 muestras con 235 cicatrices de incendios, reconstruyendo un periodo de 136 años (1876-2011); durante este periodo, el 91.7% de los incendios ocurrieron en primavera y sólo el 8.3 en verano. En el año 1970 se observa el mayor número de cicatrices, que representa a uno de los incendios más extensos en el área de estudio. Mientras el intervalo medio de incendios (MFI) es 5.6 y la mediana de probabilidad de Weibull es 5.0 años. Para el filtro de 25% (incendios grandes y extensos) el valor de MFI es 9.2 y WMPI 8.5, en la década del siglo XXI los incendios fueron continuos hasta 1988, la frecuencia es de 11 a 15 años debido que para el año de 1985 posiblemente hubo mayor control sobre los incendios.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Localización y descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el Cerro El Potosí, el cual se encuentra a 15 km del municipio de Galeana, al sur del estado de Nuevo León, en las coordenadas $24^{\circ} 50' 35''$ a $24^{\circ} 53' 16''$ latitud norte y para la longitud oeste es $100^{\circ} 13' 12''$ a $100^{\circ} 15' 12''$ (Figura 4).

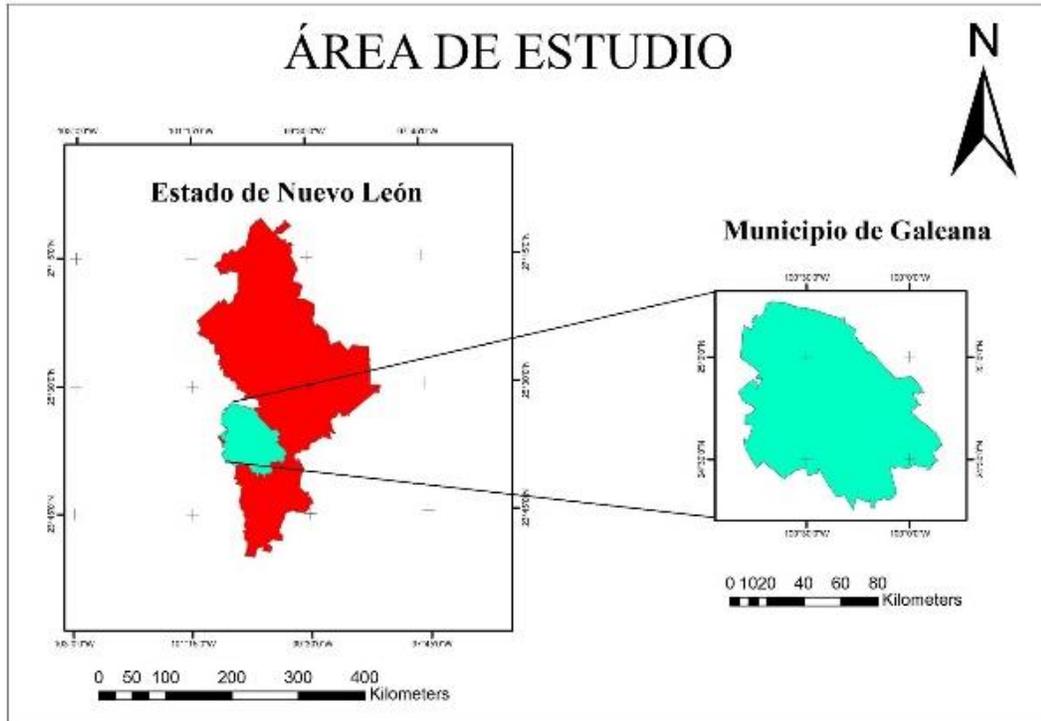


Figura 4. Ubicación del área de estudio para la reconstrucción del régimen de incendios en la Sierra Madre Oriental, México.

El área pertenece a la Sierra Madre Oriental (SMO) al noreste de México, cuenta con una altitud mínima de 2000 m y la máxima de 3770 m, generando condiciones ecológicas aptas para el desarrollo de una gran variedad de diferentes tipos de vegetación y especies endémicas, de los que destacan bosques de coníferas, bosque de encino y los bosques mixtos que se encuentran localizados en el rango de 2000 metros (García, Treviño-Garza, Cantú-Ayala, & González-Saldívar, 1999).

El clima de la zona de estudio es semifrío subhúmedo del tipo C(E)(W1)x', mientras que las precipitaciones en el área son escasas, oscilan de los 400 a 600 mm, el rango de temperatura media anual fluctúa entre 12° y 18° °C (Arreola-Ortiz, Gonzalez-Elizondo, & Navar-Chaidez, 2010). La vegetación predominante corresponde a *Pinus arizonica*, *P. cembroides*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite*, *P. culminicola* (especie catalogada en peligro de extinción), *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii* (García & González, 1991; Villanueva et al., 2018). Estas especies han sufrido un deterioro en el número de individuos debido a los diferentes disturbios, sobre todo por los incendios ocurridos.

6.2 Muestreo

6.2.1 Selección del área

Se seleccionó un área de 25 hectáreas de la parte alta del Cerro el Potosí (Figura 5) donde se realizaron recorridos exploratorios, con el fin de ubicar árboles con evidencias o cicatrices de incendios anteriores.

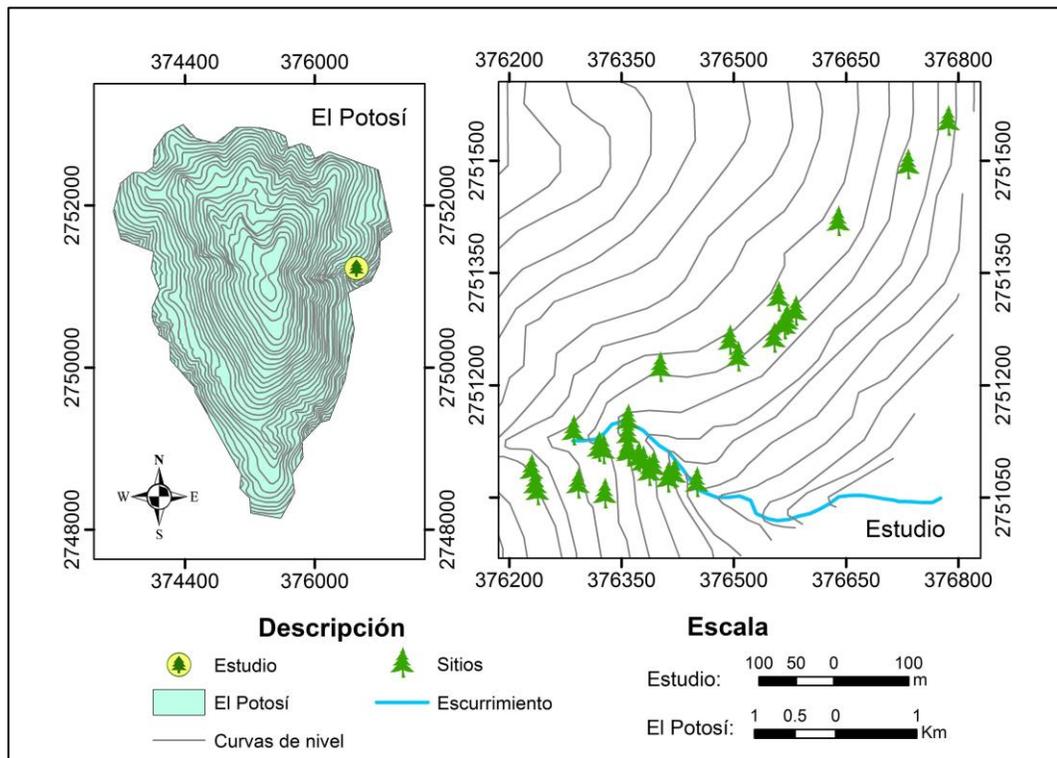


Figura 5. Ubicación y distribución de los puntos muestreados. Los triángulos indica la localización de cada árbol muestreado).

6.2.2 Selección de árboles y obtención de muestras

Durante las visitas al área de estudio se realizaron recorridos de forma dirigida a árboles de género de *Pinus* con cicatrices de incendios, cortando secciones parciales de árboles vivos, muertos en pie, caídos y tocones bien preservados y los más longevos utilizando una motosierra (Fulé et al., 2012) (Figura 6). Se considera el mayor número de cicatrices, registradas en la base del árbol ya que los incendios forman una característica particular conocido como cara de gato “catface” o en forma de “V” invertida, es decir que en la base es más ancha y angosta en la parte de arriba (Arno & Sneck, 1977; Cerano et al., 2009; Fulé et al., 2012).

Las extracciones fueron muestras pequeñas con el fin de evitar daños significativos al arbolado (10 % del total del árbol). Una vez obtenidas las muestras, estas se rotulan y se envuelven con plástico, para evitar daños durante el traslado al laboratorio. Aparte, se registraron datos de cada una de las muestras obtenidas en campo como el: nombre de la especie, sitio, fecha de colecta, colectores, número de cicatrices, coordenadas, altitud y fotografías (Arno & Sneck, 1977; Cerano-Paredes et al., 2009). Las muestras obtenidas fueron georreferenciadas para su posterior mapeo y distribución en el área de estudios.



Figura 6. Obtención de muestras en campo con evidencia de incendios: A) tocón, B) árbol vivo, C) árbol muerto en pie y D) árbol muerto caído.

6.3 Trabajo de laboratorio

6.3.1 Procesamiento de muestras

Las muestras obtenidas en campo se llevaron al laboratorio de dendrocronología de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, para proceder el secado a la intemperie y bajo sombra.

Posterior al secado estas fueron montadas en madera y pulidas con una lijadora mecánica, con lijas de grano que varían de 40 a 1600 granos (Fulé & Covington, 1997). Finalmente se procedió a realizar un pulido manual con lijas de granos más fino (> 1600 granos), que ayudo a eliminar marcas generadas por la lijadora de banda logrando así una superficie uniforme y más clara, para apreciar los anillos de crecimiento bajo el microscopio (Arno & Sneek, 1977; Stokes y Smile, 1968; Cerano et al., 2009; Yocom et al., 2015)

6.3.2 Conteo y fechado de anillos

Todas las muestras se fecharon (conteo) con el apoyo de lupas y con el microscopio estereoscópico 10x20 de aumento. Y para el fechado exacto de la formación de cada anillo de crecimiento se aplicó la técnica de datación cruzada (cross-dating) (Stokes y Smiley, 1968). El proceso de cofechado se realizó para todas las muestras colectadas, donde se generaron gráficos de anillos característicos (anillos muy estrechos) conocidos como *Skeleton Plots* en hojas milimétricas. Cada skeleton representa los patrones de los anillos más angostos, los cuales corresponden a los años más secos dentro de la secuencia de anillos de crecimiento. Los anillos de crecimiento se representan con una línea vertical cuya altura relativa es proporcional al grosor de los anillos, así una barra más alta representa un anillo más estrecho (Figura 7).

Como referencia para nuestro estudio se utilizó la cronología maestra de la especie de *Pinus hartwegii* que corresponde un periodo de 1420-2009 años, en el Cerro el Potosí, obtenida de la Base Internacional de Anillos de Crecimiento (ITRDB) generada por Villanueva et al. (2013) y aplicada por Sthale et al. (2016). Una vez realizados los skeletons de las muestras obtenidas, éstos se empataron con los patrones de crecimiento de la cronología maestra; de esta manera se

obtiene el fechado correcto a cada anillo y por lo tanto el fechado correcto de los incendios (Phipps, 1985).

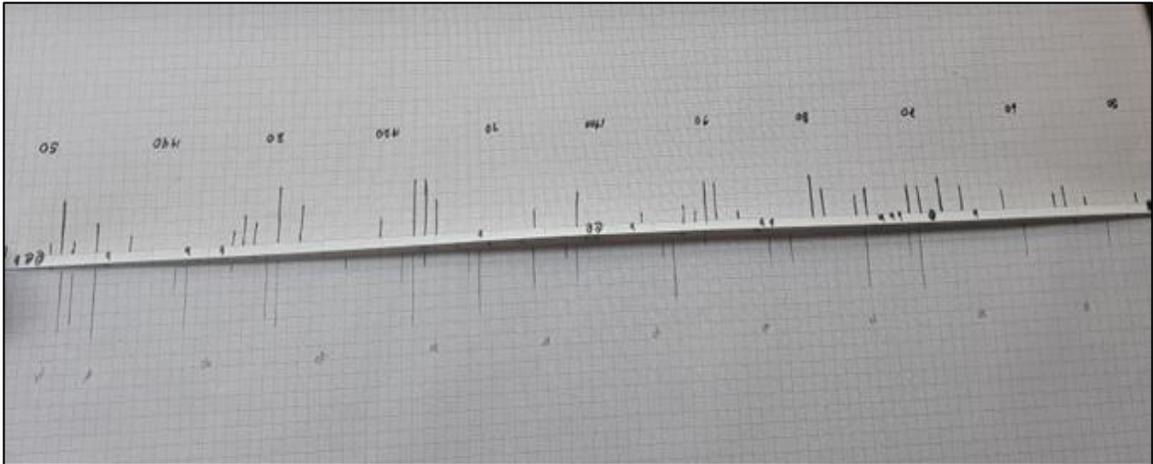


Figura 7. Aplicación del cofechado o crossdating entre la cronología maestría y el skeleton generado de las muestras. La sección superior de la imagen corresponde a la cronología maestría obtenida por Villanueva et al. (2012) para el Cerro El Potosí y en la parte inferior se muestra el Skeleton para una muestra del área de estudio.

Cabe recalcar que durante la datación, las muestras obtenidas en árboles vivos, el conteo fue del exterior (corteza) al interior (medula), mientras que para las muestras obtenidas en árboles muertos se contabilizo del centro (anillo más cercano a la medula) hacia el anillo más cercano a la corteza, marcando un punto cada diez años, dos puntos cincuenta años y tres puntos cada siglo (Gutiérrez, 2009).

6.3.3 Medición de los anillos

Posterior de la datación de las muestras, se procedió a medir el ancho de los anillos con un micrómetro de medición Velmex con precisión de 0.001 mm solo el 20 % del total de las muestras (Yocom et al. 2010). Esto con el objetivo de asegurar que la calidad del datado haya sido correcto, estas medidas fueron ejecutadas en el programa COFECHA de Grissino-Mayer (2001).

6.3.4 Determinación del periodo de ocurrencia de incendio

Después del datado y fechado de cada una de las muestras, el siguiente paso es la identificación de la estacionalidad en que ocurrieron cada uno de los eventos. Esto se estimó a través de la observación relativa de la posición de cada una de

las cicatrices en los anillos de crecimiento (Baisan and swetnam, 1990; Heyerdahl et al., 2011) y a partir de la metodología propuesta por Grissino-Mayer (2001), con sus respectivas siglas en inglés:

D: Cicatriz ubicada en dormancia o madera tardía (se localiza entre la madera tardía del año anterior y al inicio de madera temprana del año siguiente).

E: Cicatriz localizada en la madera temprana (primera tercer parte de la madera temprana).

M: Cicatriz encontrada en la mitad de la madera temprana (Figura 8).

L: Cicatriz ubicada en la última porción de la madera temprana

A: Cicatriz en la madera tardía

U: Indica un incendio o lesión, en la que la estación no puede ser determinada.

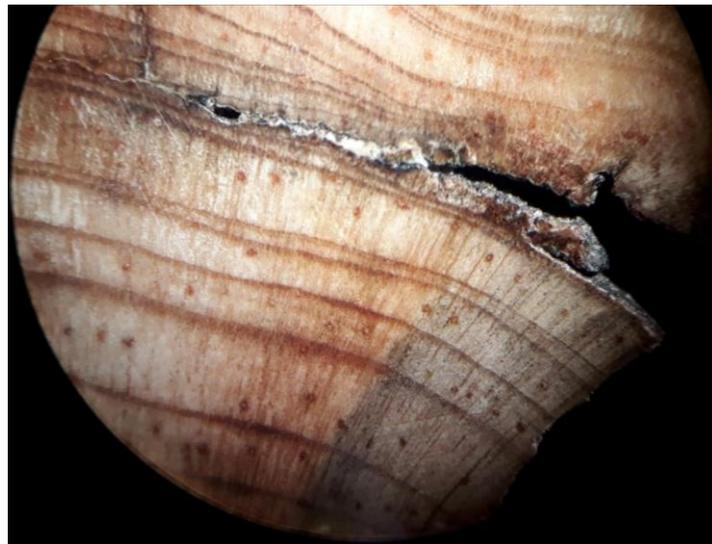


Figura 8. Cicatriz de incendio ubicada en la mitad de la madera temprana, para una de las muestras de *Pinus hartwegii* colectadas en el Cerro el Potosí.

6.4 Análisis de datos

Para la realización de análisis estadístico y gráfica de la reconstrucción (frecuencia) del régimen de incendio, se utilizó el programa FHAES versión 2.0.2 (Fire History Analysis and Exploration System) por sus siglas en inglés. FHAES es un programa, que es una reimplementación de diversas funciones del programa FHX2 anteriormente utilizada para obtener el análisis estadísticos de las muestras.

A través del análisis estadístico se obtuvieron: el intervalo medio de frecuencia de incendios (MFI), intervalo máximo y mínimos entre incendios, el intervalo medio de probabilidad de Weibull (WMPI), desviación estándar (SD) y coeficiente de variación (CV). Para el análisis estadístico se generaron dos filtros, los cuales son relevantes en toda reconstrucción del régimen de incendios; a) un análisis para todas las cicatrices y b) solamente cuando el 25% o más de las cicatrices son registradas en todas las muestras. Este último filtro permite conocer los incendios más extensos y de gran intensidad. Los datos ingresados al programa fueron: código de muestra, año inicial y final del árbol, años de registro de incendio y ubicación o posición de cicatrices dentro de cada anillo (Grissino-Mayer, 2001; Sutherland et al., 2015).

6.4.1 Relación clima – incendios

Para conocer si existe una estrecha relación entre las condiciones climáticas y los incendios, se procedió a emplear el análisis de sobreposición de época (SEA, por sus siglas en inglés), contenido en el programa FHAES (Grissino-Mayer, 2001; Sutherland, et al., 2015). Como *proxy* se emplearon los datos de ENSO-NIÑO3 con un periodo de 1856 – 2018, datos obtenidos desde IRI/LDEO de la librería de datos climático <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Indices/.nino/>, estos fueron relacionados con todos los datos de los incendios y con el filtro de 25 % de los incendios. Estas fueron comparadas con los años de incendios para cinco años antes del evento y dos años posterior a ello. Para conocer la significancia estadística de los datos SEA, se empleó un intervalo de confianza de 95 y 99 %.

Adicionalmente se empleó la distribución bootstrapped de los datos con 1000 repeticiones (Cerano-Paredes et al. 2016).

Así mismo, los años de incendio se correlacionaron con variables climáticas como la temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) media anual, índice de sequía (PSDI), bajados del <https://climexp.knmi.nl/start.cgi> con un periodo de 1901 a 2017, mientras que los datos de precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica de CONAGUA, estación que lleva por nombre *Potosí* con periodo de 1956 a 2016.

7. RESULTADOS

Se colectó un total de 30 secciones parciales con cicatrices de incendios; de las cuales 19 muestras (63%) corresponden a árboles muertos y 11 muestras (37%) de a árboles vivos. Las secciones obtenidas fueron de tres especies: *Pinus hartwegii* (16 muestras), *Pinus ayacahuite* (13 muestras) y *Pseudotsuga menziesii* (una muestra) (Figura 9).

Se identificaron y fecharon un total de 119 cicatrices, las cuales se distribuyeron de la siguiente manera: 63 cicatrices en *P. hartwegii*, 53 cicatrices en *P. ayacahuite* y *Pseudotsuga* con apenas tres registros de incendio (Figura 9).

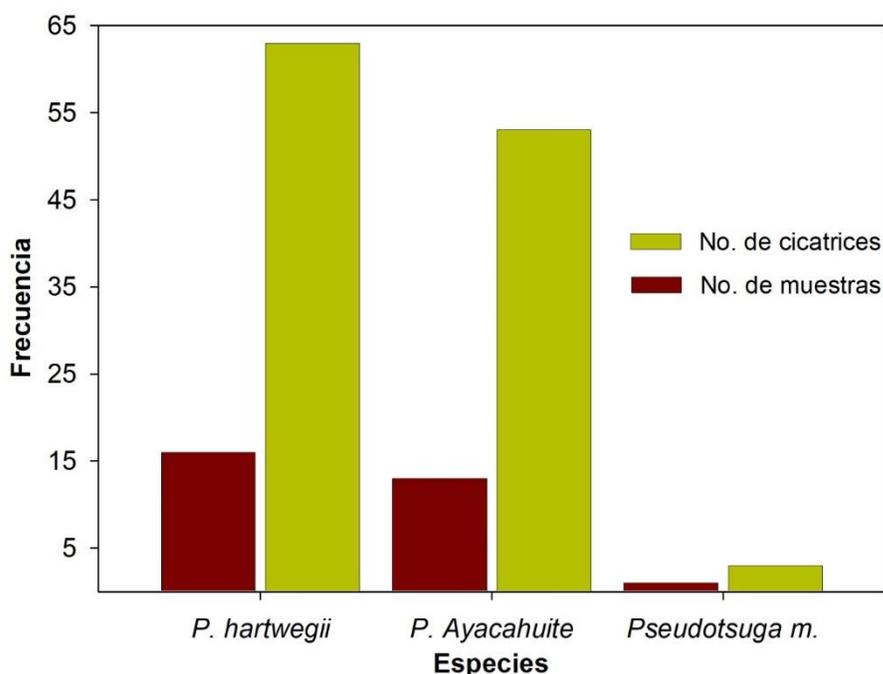


Figura 9. Representación gráfica del número de muestras y cicatrices por especie.

7.1 Estación de ocurrencia de incendios

Para el 96.6 % de las muestras se pudo identificar la ubicación exacta de las cicatrices en las muestras, mientras que 3.4 % no se pudo determinar debido al deterioro de la madera de las muestras por el fuego o por el paso del tiempo. El mayor número de cicatrices se registró a inicios de la madera temprana (E) con 39.1%, seguido del periodo de dormancia (D) con 38.3 %, 14.8 % se presentaron

en la mitad de la madera temprana (M), 6.1 % en la última porción de la madera temprana (L) y en la madera tardía (A) solo se obtuvo el 1.7 % (Cuadro 1).

La mayoría de los incendios ocurrieron en primavera con el 77.4 % con un total de 89 cicatrices y el 22.60 % ocurrieron en verano con apenas 26 cicatrices (Cuadro1).

Cuadro 1. Estacionalidad en número y porcentaje de las cicatrices de los incendios del Cerro El Potosí encontrados en el anillo anual de crecimiento del árbol. Donde: D: Dormancia, E: Inicio de la madera temprana, M: mitad de la madera Temprana, L: Última porción de la madera temprana, A: Cicatriz en la madera tardía. Para determinar la estación de primavera se consideró las cicatrices que ocurrieron en D+E; para la estación de verano se consideró las cicatrices que comprenden M+L+A.

Cicatriz	Total	Estación determinada	Estación no determinada	D	E	M	L	A	Incendio primavera	Incendio verano
Número	119	115	4	44	45	17	7	2	89	26
Porcentaje (%)	100	96.6	3.4	38.3	39.1	14.8	6.1	1.7	77.40	22.60

En la figura 10 se muestra el comportamiento del número de cicatrices, esto con el fin de conocer cuál es la proporción acumulada de las cicatrices en las muestras obtenidas en periodos de 50 años (1850 a 1999). El primer periodo corresponde a los años de 1850-1899, el segundo de 1900-1949 y el tercer periodo de 1950-1999. De acuerdo con esta clasificación el número de cicatrices obtenidas en dormancia (D) fueron muy similares con 41.38, 36.84 y 38.71%, respectivamente. Mientras que a principios de la madera temprana (EE) el periodo de 1950-1999 se encontró un mayor porcentaje con 41.94 %. En 1900-1949 la ubicación de las cicatrices en la mitad de la madera temprana (ME) se estimó la mayor proporción con 21.05 %y mientras que en 1959-1999 solo el 9.68 %. Con respecto a la madera tardía se encontró una proporción baja con respecto a las demás y en el periodo 1850-1899 no se obtuvo valores.

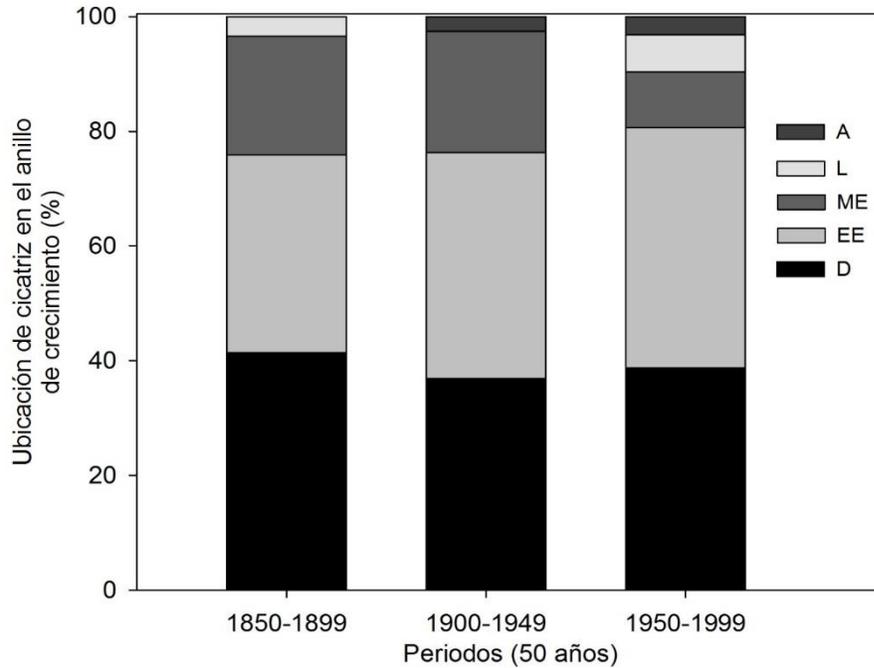


Figura 10. Registro de la ubicación de las cicatrices en el anillo de crecimiento de 1850 a 1999 en periodos de 50 años.

7.2 Historial de incendios

El periodo de crecimiento para árboles vivos abarca desde 1765 a 2017 (252 años), mientras que el periodo cubierto por las muestras obtenidas de árboles muertos corresponde de 1691 a 2012 (321 años). Entre todas las muestras obtenidas (vivas y muertas) se logró reconstruir un periodo de 327 años que corresponde del año 1691 a 2017. En total se registraron 119 cicatrices, con el primer incendio en el año 1731 y la cicatriz más reciente fue en el año 2011 (Figura 11).

El mayor número de cicatrices se observaron en el año 1920, en el cual probablemente el incendio fue más extenso y de mayor intensidad en la zona, seguido por los ocurridos en 1909, 1944 y 1998 (Figura 11).

A partir de año 1998 se observó una disminución de los incendios hasta la actualidad, esto es quizás a que las comunidades aledañas han tenido control en el combate de los incendios y que las condiciones ambientales han sido favorables, haciendo que la frecuencia de los incendios haya disminuido. Los

registros más antiguos provienen en especial de árboles encontrados en estado muerto y tocones con signos de descomposición, los cuales fueron derribados por las actividades humanas de la región o se cayeron por los mismos incendios ocurridos en el área de estudio.

Según datos encontrados, el periodo más largo sin incendios fue entre 1731 a 1779 abarcando un lapso de 48 años (Figura 11). Este largo periodo con ausencia de fuego pudo provocar una mayor acumulación de combustibles en el lugar. El segundo periodo más amplio sin incendio fue de 21 años, que abarca los años 1821 a 1842. Sin embargo, de 1857 a 1896 y de 1858 a 1984, los periodos entre incendios fueron más cortos, lo que indica que los eventos fueron más frecuentes en el área de estudio (Figura 11).

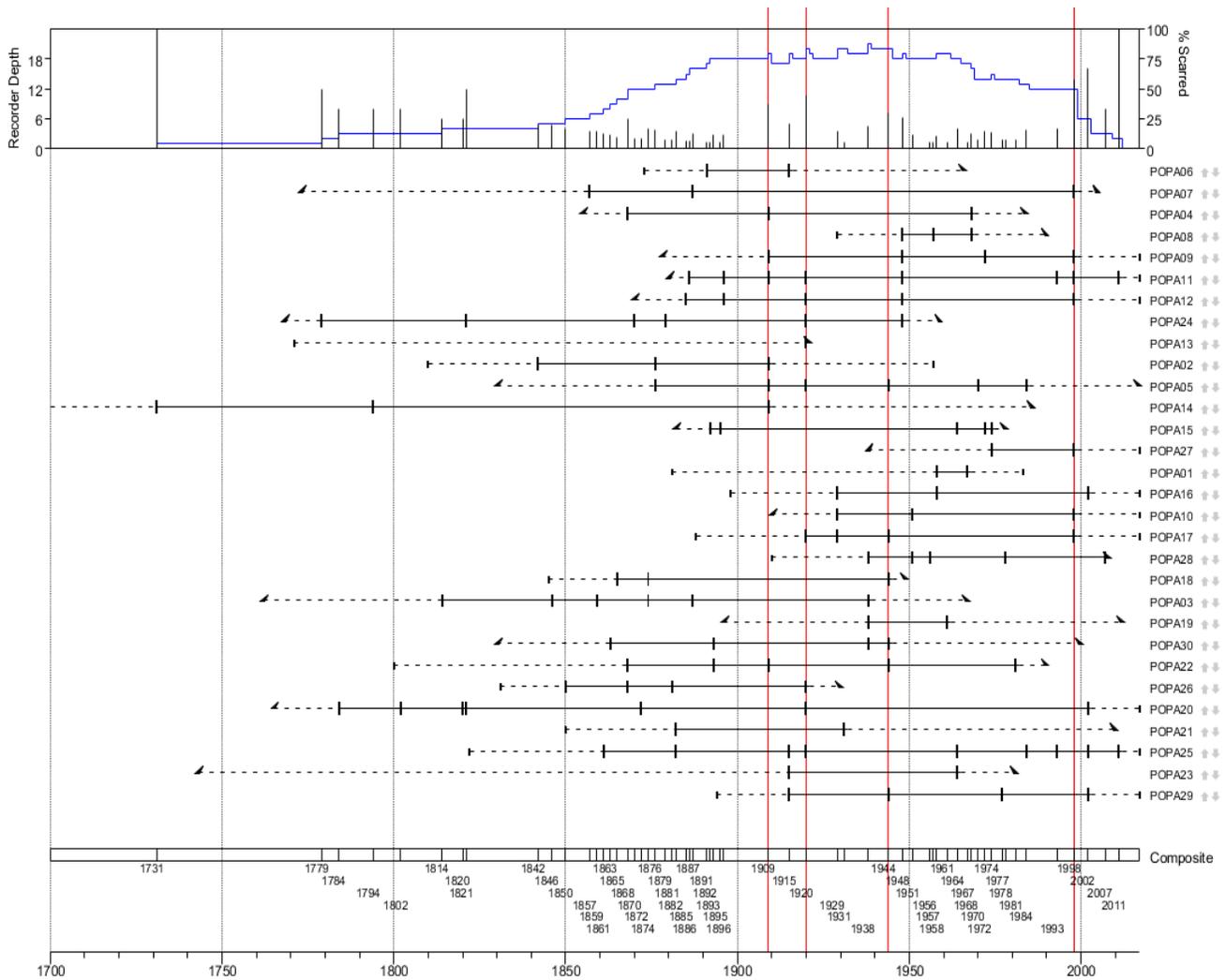


Figura 11. Reconstrucción de la frecuencia de incendios reconstruida en el Cerro El Potosí. Considerando todas las cicatrices. Las líneas horizontales representan las muestras obtenidas, verticales en color de negro las cicatrices de incendios y por ultimo las líneas de color rojo remarcam los incendios con mayor intensidad.

De acuerdo a la comparación de media de Tukey para periodos de 50 años de incendio se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los periodos de 1800-1849 y 1850-1899 (Cuadro 2). Indicando que el comportamiento del régimen de los incendios ha variado en el tiempo.

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$), entre periodos de 50 años con el número de incendios ocurridos. Letras distintas indican diferencias significativas.

Periodos	N	N° de incendios
1800-1849	5	1.2 a
2000-2019	2	1.5 ab
1900-1949	5	1.6 ab
1950-1999	5	3.4 bc
1850-1899	5	4.4 c

En la Figura 12 se muestra el comportamiento del número de incendios en periodos de 10 años, indicando que posterior de la década de 2000-2009 hay una tendencia baja en el número de incendios, donde en la última década (2010-2019) y hasta la actualidad solo se registrado un incendio en el Cerro El Potosí. Por ello, los incendios se han interrumpido posiblemente a las actividades de ganadería u otros en dicho área.

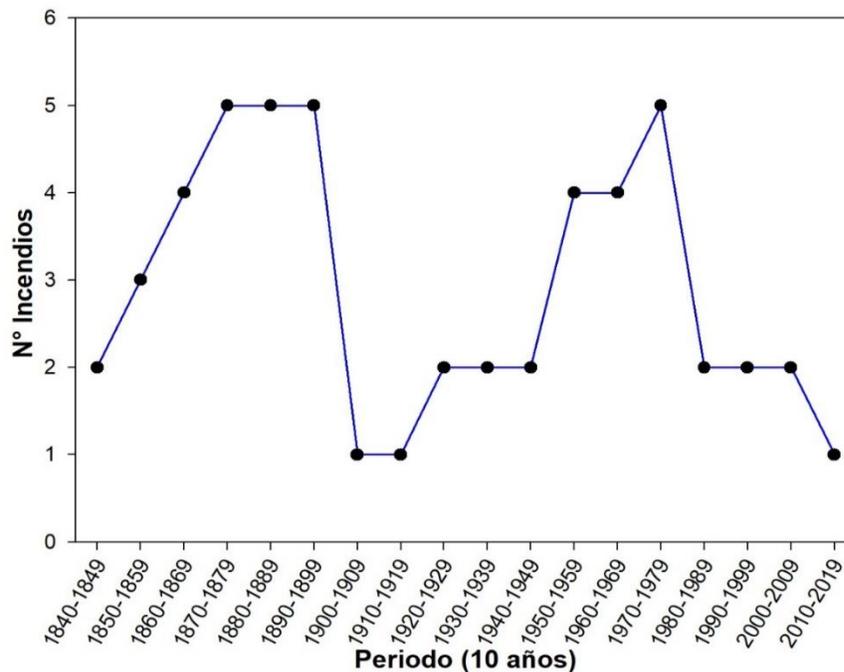


Figura 12. Registro de incendios a partir del año 1840 - 2019 en periodos de 10 años.

7.3 Frecuencia de incendios

Para todas las muestras obtenidas en el área de estudio, el Intervalo Medio de Frecuencia de Incendios (MFI, por sus siglas en inglés) es de 4.75 años y el Intervalo Medio de Probabilidad de Weibull (WMPI, por sus siglas en inglés) corresponde a 4.76 años, con un intervalo mínimo de un año y máximo de 48 años. Asimismo, se aplicó un filtro de 25 % para las muestras, mostrando 24.27 años para MFI y 24.26 años para WMPI. El intervalo mínimo corresponde a un año mientras que el intervalo máximo a 78 años (Cuadro 2).

Cuadro 3. Intervalos de frecuencia de incendios, para el periodo de 1691-2017 del Cerro El Potosí. MFI= Intervalo Medio de Frecuencia de Incendios; WMPI= Intervalo Medio de Probabilidad de Weibull.

Sitio	Periodo de análisis	Categoría de análisis	Nº. de intervalos	MFI	Min .	Max.	WMP I
El Potosí	1691-2017	Todas las cicatrices	59	4.75	1	48	4.76
		25% de las cicatrices	11	24.27	1	78	24.26

7.4 Relación Niño 3 - Incendios

El Análisis de Sobreposición de Épocas (SEA), indica que los incendios reconstruidos en el Cerro El Potosí no presentaron una relación con valores del *NIÑO* 3 para todas las muestras, ni por periodos de años. Sin embargo, al realizar un análisis con el 25 % de las cicatrices (1904-2000), se encontró significancia de un año previo (húmedo) al incendio con relación positiva y un año posterior (seco) del incendio con relación negativa ($p < 0.05$) (Figura 13).

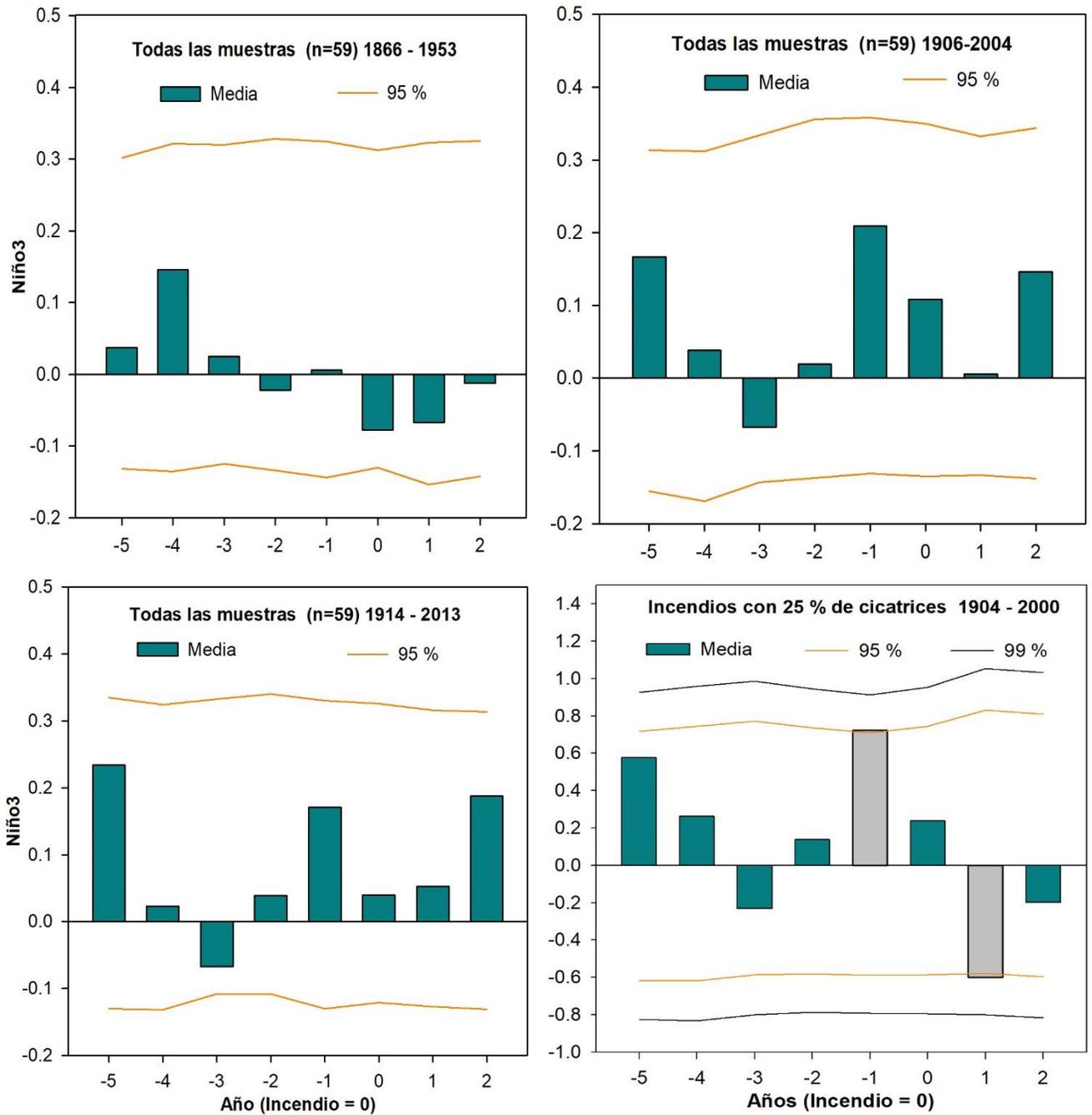


Figura 13. Análisis de sobreposición de época; se muestra la relación del Niño 3 con todas las muestras y la última gráfica (lado derecho-inferior) con el filtro de 25% de los incendios para el periodo de 1904-2000. El año del incendio está representado con el 0, los cinco valores negativos indican los años previos al incendio y los valores positivos indican los dos años posteriores al incendio.

7.5 Variables climáticas – incendios

La Figura 14 muestra el comportamiento de los datos de precipitación con el número de cicatrices de incendios por año: La correlación entre ambas variables fue negativa y significativa ($r = -0.255$, $p = 0.0477$), indicando que cuanto menor fue la precipitación mayor fue la ocurrencia de incendios para el área de estudio. Los años con registro de incendios que mostraron una mayor correlación con la variable de precipitación fueron 1961, 1974, 1998 y 2011.

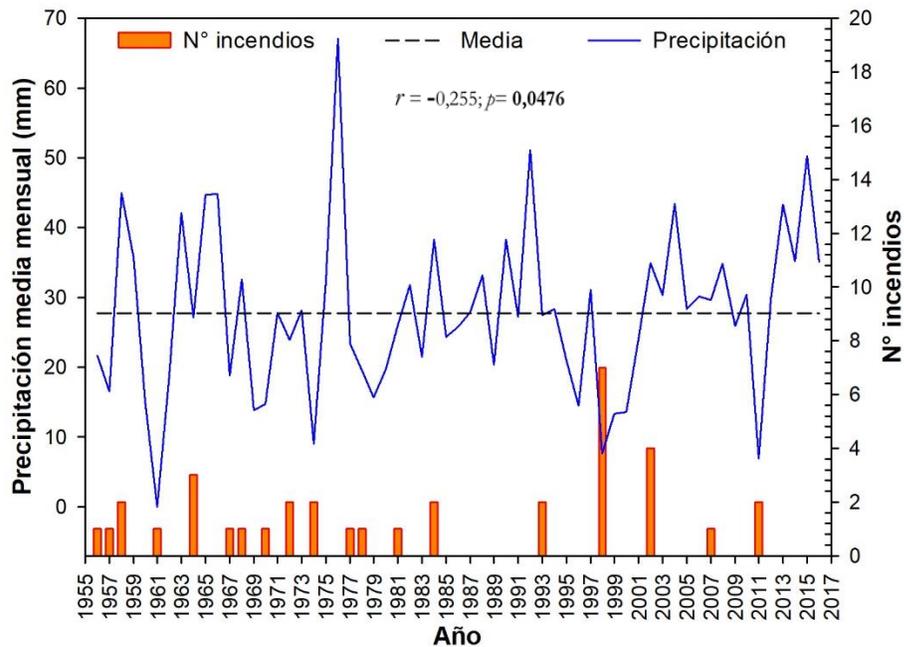


Figura 14. Relación de precipitación con incendios del cerro El Potosí; donde la línea azul representa valores de precipitación, línea punteada media de la precipitación y las barras corresponde a la frecuencia de incendios ocurridos para cada año.

La temperatura mínima anual con respecto a las variables de precipitación anual y las temperaturas máximas mostró una correlación positiva ($p = 0.089$) pero no significativa con los años de incendio, indicando que a mayor temperatura hay mayor indicios de incendios. Asimismo, las variables climáticas se analizaron por estaciones de año, donde las temperaturas máximas (Tx) de otoño y el índice de sequía (PSDI) de invierno mostraron una correlación positiva y altamente significativa ($p < 0.05$) con los incendios ocurridos en el Cerro El Potosí (Figura 15). En general, los incendios ocurridos en primavera fueron precedidos por inviernos muy secos y por temperaturas altas en otoño.

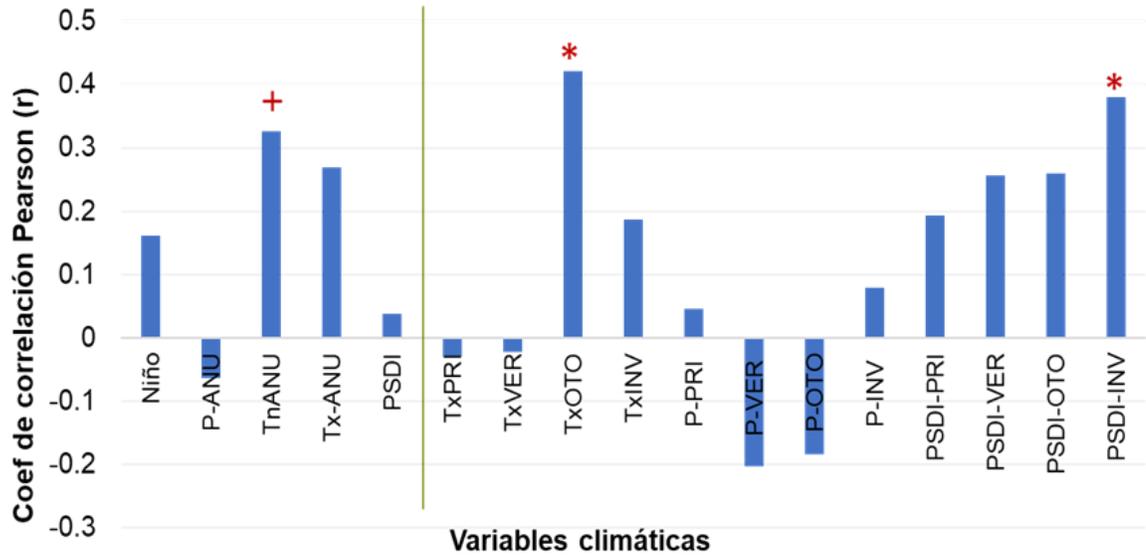


Figura 15. Correlaciones entre la frecuencia de las señales de incendios (Cerro Potosí) y el clima (precipitaciones – anuales y estacionales-, las temperaturas medias de las máximas y las mínimas -Tx y Tn anuales y estacionales, el índice de sequía –PSDI anual y estacional y el índice del Niño. Datos bajados de <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>), con un periodo de 1901 a 2017. + = $p < 0.08$, * = $p < 0.05$.

8. DISCUSIÓN

Informes oficiales de la Comisión Nacional Forestal (1999), indican que, en el año 1998, fue un año especialmente seco. La temporada de sequía fue larga y extrema, en la mayor parte del territorio nacional. En muchas partes del país se produjeron incendios de gran severidad que consumieron miles de hectáreas de los ecosistemas forestales. Siendo así que el área del estudio, el Cerro El Potosí no fue la excepción ya que la cronología desarrollada con muestras de incendios obtenidas en 25 hectáreas indica el incendio ocurrido en 1998.

Los incendios de los años 1886, 1909, 1920, 1929 y 1998 concuerdan con la cronología de incendios más cercana en la Sierra Peña Nevada realizada por Yocom et al. (2010). En cambio, la cronología hecha por Ávila-Flores, (2013) solo coinciden con tres eventos, 1920, 1948 y 1998. González-Tagle et al. (2007) encontraron en el Parque Ecológico Chipinque incendios en 1868, 1972, 1984 y 1998, los cuales son los mismos encontrados en el Cerro El Potosí. Esta sincronía de los años de incendios entre regiones se atribuye a las condiciones generales del clima en la región (Top-down influences) de acuerdo a Yocom et al. (2017)

Al respecto del incendio del año 1909, también Fule & Covington (1997) y Cerano-Paredes et al. (2015) encontraron signos de incendios en bosques del estado de Durango de la Sierra Madre Occidental y la Sierra de Manantlán, Jalisco. Para la Sierra de Mohinora, Chihuahua, Cerano et al. (2010) registraron un incendio del año 1971, coincidiendo con los incendios reportados en el Cerro El Potosí. Igualmente, en 1920, se reportó un incendio en un bosque de *Pinus rudis* en el estado de Oaxaca (Ortega-Jiménez, 2012). Además, Guerra-de la Cruz et al. (2016) dataron un incendio en 1921 en un bosque de *Pinus hartwegii* en el norte de Puebla, en este estudio se registró un incendio un año previo en 1920.

Estas comparaciones y coincidencias en la ocurrencia de incendios en diferentes regiones del país pero al mismo tiempo, indica que la mayor parte de México presentó fuertes sequías conllevando a múltiples problemas sociales que

culminaron en la Independencia y la Revolución de México (Cerano-Paredes et al. 2011).

Estación de ocurrencia de incendios

El mayor porcentaje de los incendios ocurrió en la estación de primavera con 39 % mientras que en el periodo de verano se encontraron el 23 %. En comparación a Yocom et al. (2010) encontraron que el mayor porcentaje de incendios (92 %) se produjo en la estación de primavera con 92 %. Este valor es muy diferente a lo encontrado en el área de estudio. Skinner et al. (2008) confirman que los incendios en el noreste de México ocurren mayormente en primavera. Igualmente en otros estudios realizados en el norte de México, Jalisco y el estado de Puebla se encontró mayor evidencia de incendios en la madera temprana de primavera, estación similar a lo encontrado en el área de estudio de este trabajo (Cerano-Paredes et al., 2010, 2015, 2016; Fulé et al., 2005; Molina-Pérez et al., 2017).

Así mismo, en este estudio se encontró que la mayor proporción de cicatrices se ubicaron en inicios de la madera temprana (EE) (Figura 10), en contraste a Skinner et al. (2008), que encontraron la mayor proporción de cicatrices de incendios en la madera tardía correspondiendo a la fase de dormancia en un estudio en el noreste de México

Frecuencia de incendios

Para el área de estudio el MFI (Intervalo Medio de Frecuencia de Incendios) es de 4.75 años y el WMPI (Intervalo Medio de Probabilidad de Weibull) es de 4.76 años con 59 intervalos. Al aplicar el filtro de 25% el MFI presentó periodos más extensos de 24.27 años y 24.26 años para el WMPI. Ávila-Flores (2013), en contrario, identificó en un área cercano al sitio de estudio en el Cerro El Potosí 11 años y 10.1 años de MFI y WMPI, respectivamente. Utilizando el filtro de 25% de las cicatrices obtuvo valores de MFI y WMPI de 15.7 años y 14.5 años, respectivamente.

En un estudio en el estado de Durango, Molina-Pérez et al., (2017) calcularon un MFI y WMPI de 2.0 años y 1.8 años, respectivamente, valores inferiores a los

encontrados en el área de estudio. Estas diferencias pueden deberse a que en ambas áreas las condiciones ambientales son diferentes. Entonces los resultados del presente estudio son más parecidos a los de Cerano-Paredes et al. (2015) que obtuvieron un MFI de 5.5 años y un WMPI de 3.6 años, en un bosque de pino, en el estado de Jalisco, México.

Clima – incendios

El análisis de SEA (Análisis de Sobreposición de Épocas) para valores del NIÑO3-incendios para todas las muestras no mostró significancia. Sin embargo, usando el filtro del 25% mostró resultados significativos ($P < 0.05$) a un año previo del incendio (año húmedo) y un año posterior (año seco) por debajo de la media. Estos resultados son similares a los de Yocom et al. (2010), que identificaron con el filtro de 25 % que el año previo del incendio fue significativamente húmedo ($P < 0.05$) con valores por arriba de la media, mientras que el año de incendio y el año posterior del dicho evento fueron más secos, por debajo de la media, sin embargo, no significativo ($p < 0.05$).

En contraparte a los resultados encontrados en el presente estudio, Cerano-Paredes et al. (2015), observaron para los incendios más extensos (25 % de las cicatrices) que el año previo presentó significancia con valores del índice del NIÑO ($p < 0.01$) por debajo del promedio y un año posterior mostró significancia ($p < 0.05$) con valores húmedos superiores a la media.

Las temperaturas mínimas (T_m) y el PDSI mostraron una correlación significativamente positiva ($p < 0.05$) con los años de incendios en el Cerro El Potosí, mientras que la precipitación mostró una correlación significativamente negativa ($p < 0.05$), valores que indican que la ocurrencia de los incendios está influenciado a las condiciones climáticas. Igualmente, Yocom et al., (2010, 2017), concluyeron que los incendios en Peña Nevada y en el norte de México son influenciados por el clima.

9. CONCLUSIÓN

Se logró reconstruir el historial de incendios para un periodo de 326 años (1691 a 2017) en un área del Cerro El Potosí, Nuevo León, los incendios con mayor extensión se presentaron en los años 1909, 1920, 1944 y 1998. El primer incendio se registró en el año 1731 y el último en 2011.

Se ratifica la primera hipótesis planteada, afirmando que el régimen de incendios se ha alterado en los diferentes años, encontrando diferencias significativas entre periodos de incendios ($p < 0.05$).

De acuerdo con los resultados, el 77.40 % de los incendios se presentó en la estación de primavera, esto es debido a los inviernos muy secos y las temperaturas altas de otoño, mientras que sólo el 22.60 % de los incendios ocurren en verano, se rechaza la segunda hipótesis planteada.

Los incendios están ligados a las condiciones climáticas principalmente los patrones precipitación y las variaciones de temperatura, en el caso de los incendios más severos están influenciados a los valores del *NIÑO* 3, en años previos y posteriores a los incendio lo que ratifica la tercera hipótesis.

La importancia de conocer la frecuencia de incendios es poder proporcionar conocimientos para el manejo y control en los bosques forestales, ya que, cuanto mayor sea el intervalo entre incendios, hay mayor acumulación de combustibles, y se generaría un incendio de gran magnitud.

Los árboles (genero pináceas) son fuente importante de información ya que a través de sus anillos podremos encontrar un sinfín de información que nos ayudaría a conocer el pasado y predecir acciones que conlleven a la conservación de los bosques ante ciertos acontecimientos naturales.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O., & Treviño-Garza, E. J. (2011). Caracterización De Regeneración Leñosa Post-Incendio De Un Ecosistema Templado Del Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII(1), 31–39. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.032>
- Amoroso, M., & Suarez, M. L. (2015). La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. *Ecosistemas*, 24(2), 1–6. <https://doi.org/10.7818/ecos.2015.24-2.01>
- Arno, S. F., & Sneek, K. M. (1977). A Method for Determining Fire History in Coniferous Forests Fire History in Coniferous Forests of The Mountain West. *Agriculture*, 28.
- Arreola-Ortiz, M. R., Gonzalez-Elizondo, M., & Navar-Chaidez, J. D. (2010). Dendrochronology of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco from Sierra Madre Oriental in Nuevo Leon, Mexico. *Madera Y Bosques*, 16(1), 67–80.
- Ávila-Flores, D. Y. (2013). *Régimen de fuego y sus efectos ecologicos en un bosque de coníferas en la Sierra Madre Oriental, México*. Tesis. Universidad Autonoma de Nuevo León, Mexico. 104 pp.
- Ávila-Flores, D. Y., González Tagle, M. A., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderon, O., Treviño Garza, E. J., & Vargas Larreta, B. (2014). Dendrocronopirología: análisis de la evidencia morfológica de incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(21), 136–147. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000100010
- Baisan C. H. and Swetnam T. M. (1990). Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, U.S.A. *Canadian journal of Forest Research* 20. 1559.1565.

- Bernabei, M., & Macchioni, N. (2015). La datación dendrocronológica en el estudio de los edificios históricos. *Loggia, Arquitectura & Restauración*, 24–25, 104. <https://doi.org/10.4995/loggia.2012.3003>
- Brienen, R. J. W., & Zuidema, P. A. (2003). *Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica* (informe tecnico No.7), PROMAB/IGEMA. Riberalta, Bolivia. Retrieved from (18 de julio de 2019): <https://www.researchgate.net/publication/46644577>.
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Fulé, P., Yocom, L., Esquivel-Arriaga, G., & Jardel-Peláez, E. (2015). Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Bosque (Valdivia)*, 36(1), 41–52. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002015000100005>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Váldez-Cepeda, R. D., Mendez-González, J., & Constante.García, V. (2011). Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 235–249.
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Guerra-de la Cruz, V., & Fulé, P. Z. (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://doi.org/10.4067/s0717-92002016000200017>
- Cerano-Paredes, J, Villanueva-Díaz, J., Lorenzo, V.-S., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Guerra-de la Cruz, V., & Fulé, P. Z. (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://doi.org/10.4067/s0717-92002016000200017>

- Cerano- Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., & Fulé, P. Z. (2010). Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la reserva cerro el Mohinora , Chihuahua. Fire reconstruction and its relation to weather in the cerro el Mohinora reserve , Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 63–74.
- Cerano Paredes, J., Villanueva Díaz, J., Fulé, P. Z., Brown, P. M., Yocom, L. L., Constante García, V., & Estrada Ávalos, J. (2009). *Interpretación del historial de incendios en bosques mixtos de coníferas. Inifap* (Vol. Folleto Té).
- Cerrillo-Navarro, R. M., Hayas, A., García-Ferrer, A., Clemente-Hernández, R., Duhalde, P., & González, L. (2008). Caracterización de la situación posincendio en el área afectada por el incendio de 2005 en el Parque Nacional de Torres del Paine (Chile) a partir de imágenes multiespectrales. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81(1), 95–110.
- CONAFOR - SEMARNAT. (2019). *Reporte semanal de incendios forestales del 01 de enero al 28 de marzo de 2019*. Retrieved from <http://www.conafor.gob.mx/portal/>
- Díaz-García, E. E. R. (2015). Construcción de Mapas de Combustible Forestal para Detectar el peligro de incendio en un Bosque de Pino-Encino. Tesis de Maestría. Universidad Autonoma de Nuevo León. 76 pp.
- Douglass, A. E. (1914). *A method of estimating rainfall*. Universidad de Arizona.
- Fritts, H. C. (1976). *Tree-rings and Climate*. Academic press, London. 567 p.
- Fule, P. Z., & Covington, W. W. (1997). Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, (41), 43–79. <https://doi.org/10.21829/abm41.1997.791>
- Fulé, P. Z & Covington, W. W. (1999). fire regime changes in la Michilia Biosphere Reserve, Durango, México. *Conservation Biology* 13(3): 640-652.
- Fulé, P. Z., Villanueva-Díaz, J., & Ramos-Gómez, M. (2005). Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, Mexico. *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., & Villanueva-Díaz, J. (2012). Testing a pyroclimatic hypothesis on the Mexico-United States border. *Ecology*, 93(8), 1830–1840. <https://doi.org/10.1890/11-1991.1>
- García-Arevalo, A & González-Elizondo, S. (1991). flora y vegetacion de la cima del Cerro El potosí, nuevo leon, mexico. *Acta Botanica Mexicana*, 13, 53–74.
- García, M. A., Treviño-Garza, E. J., Cantú Ayala, C. M., & González-Saldívar, F. N. (1999). Zonificación ecológica del cerro “El Potosí”, Galeana, Nuevo León, México. *Investigaciones Geográficas*, 38(1987), 10.
- Giraldo-Jiménez, J. A. (2011). Dendrocronología En El Trópico: Aplicaciones Actuales Y Potenciales. *Colombia Forestal*, 14(1), 97–111. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2011.1.a08>
- González-Tagle, M. A., Schwendenmann, L., Jiménez-Pérez, J., & Himmelsbach, W. (2007). Reconstruction of fire history and forest structure in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques*, 13(2), 51–63. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/617/61713205.pdf>.
- Grissino-Mayer, H. D. (1996). Dendrochronology. [online] Disponible en: <http://www.sonic.net/bristlecone/principles.html>. (visitada el 12 de abril de 2019).
- Grissino-Mayer, H. D. (2001). Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57(2), 205–221. <https://doi.org/S>
- Grissino-Mayer, H. D. (2017). *Principles of dendrochronology*. [Online] <Http://Tree.Ltrr.Arizona.Edu/~Grissino/Princip.Htm>.
- Gutiérrez, E. (2009). La dendrocronología: métodos y aplicaciones. En “Arqueología nautica mediterranea” X., 6(October), 309–322.

- Gutiérrez, E., Andreu, L., Muntan, E., Dorado, I., Camarero, J. J., Batllori E., y P. O. (2012). La historia que nos explican los árboles Dendrocronología: Reconstruyendo la historia. *Biol. on-Line*, 1, 1–22. Retrieved from http://revistes.ub.edu/index.php/b_on/article/download/5850/7606
- Heyerdahl, E. K., Brown, P., Kitchen, S. G., & Weber, M. H. (2011). *Multicentury Fire and Forest Histories at 19 Sites in Utah and Eastern Nevada. Sites The Journal Of 20Th Century Contemporary French Studies*.
- Klesse, S., DeRose, R. J., Guiterman, C. H., Lynch, A. M., O'Connor, C. D., Shaw, J. D., & Evans, M. E. K. (2018). Sampling bias overestimates climate change impacts on forest growth in the southwestern United States. *Nature Communications*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07800-y>
- López-Ayala, J., Hernández, J. I. V., Lazalde, J. R. V., & Terrazas, T. (2006). Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de Colima, México. *Agrociencia*, 40(4), 533–544.
- Mendivelso H, A., Camarero, J. J., & Gutiérrez, E. (2016). Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. *Ecosistemas*, 25(2), 66–75. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>
- Molina-Pérez, I. M., Cerano-Paredes, J., Rosales-Mata, S., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., & Cornejo-Oviedo, E. (2017). Historical fire frequency (1779-2013) in pine-oak forests in the community of Charcos, Mezquital, Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 23(1), 91–104. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.03.017>
- Ortega-Jiménez S. (2012). Reconstrucción histórica de incendios mediante anillos de crecimiento en los bosques de San Miguel Canojos, Oaxaca, México. Tesis de maestría. Universidad Austral de Chile. 61 p.
- Poulos, H. M., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Camp, A. E., & Gatewood, R. G. (2013). Human influences on fire regimes and forest structure in the Chihuahuan Desert Borderlands. *Forest Ecology and Management*, 298, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.02.014>

- Ressl, R., & Cruz, C. (2012). *Detección y monitoreo de Incendios Forestales mediante imágenes de satélite. CONABIO. Biodiversitas.*
- Rodríguez-Trejo, D. A. (1996). Incendios forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi-Prensa. México, D.F. México. 617 p.
- Rodríguez-Trejo, D. A., & Fulé, P. Z. (2003). Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 23–37.
- Rosales-Mata S. (2016). *Reconstrucción de precipitación e incendios en bosques de coníferas en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango.* Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. 63 p.
- Skinner, C. N., Burk, J. H., Barbour, M. G., Franco-Vizcaíno, E., & Stephens, S. L. (2008). Influences of climate on fire regimes in montane forests of north-western Mexico. *Journal of Biogeography*, 35(8), 1436–1451. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01893.x>
- Stokes, M. A. And Smiley T. L. (1968). An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press, Chicago. USA. 73 p.
- Sutherland, E. K., Brewer, P. W., Falk, Donald A., & Vel, M. E. (2015). FHAES Fire History Analysis and Exploration System user manual. (compiled on 21/12/2017). In <http://www.fhaes.org>.
- Trabaud, L. (1996). Les feus de forest. Mecanismos, comportement et environnement. Editions France-Selection, Aubervilliers, Cadex.
- Villanueva-Díaz, José, Cerano-Paredes J., Vazquez S. L., Stahle W. D., Fulé P. Z., Yocom L.L., Franco- Ramos O., R.-C. J. A. (2013). Red Dendrocronológica del Pino de Altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 0(86). <https://doi.org/10.14350/rig.42003>

- Villanueva Díaz, J., Vazquez Selem L., Estrada Avalos J., Martinez Sifuentes A. R., Cerano Paredes J. Canizales Velázquez Pamela A., F. R. O. y R. C. F. R. (2018). comportamiento hidroclicmatico de coniferas del cerro el potosi. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 23.
- Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Stahle, D. W., Therrel, M. D., Cleaveland, M. K., & Sanchez Cohen, I. (2004). *Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México*.
- Villers-Ruíz, M. L. (2006). Incendios forestales. *Biodiversitas*, 21, 8–15.
- Yocom, L. Larissa .Fulé, Peter Z. Brown, P. M., Cerano, Julián. Villanueva-Díaz, José, D. A., Cornejo-Oviedo, E., & Falk. (2010). El Niño–Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology*, 91(6), 1660–1671. <https://doi.org/10.1890/09-0845.1>
- Yocom L., Fulé, P. Z., Brown, P. M., Cerano-Paredes, J., Cornejo-Oviedo, E., Montañó-Cortés C., ... Villanueva-Díaz, J. (2017). Climate drives fire synchrony but local factors control fire regime change in northern Mexico. *Ecosphere*, 8(3). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1709>.