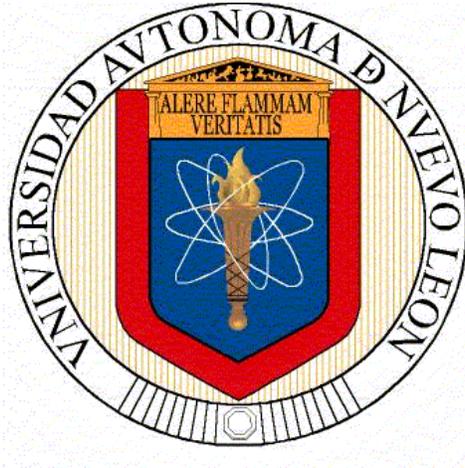


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**RECONSTRUCCIÓN DE PRECIPITACIÓN E INCENDIOS EN  
BOSQUES DE CONÍFERAS EN EL EJIDO ADOLFO RUIZ  
CORTINES, PUEBLO NUEVO, DURANGO.**

**POR**

**SERGIO ROSALES MATA**

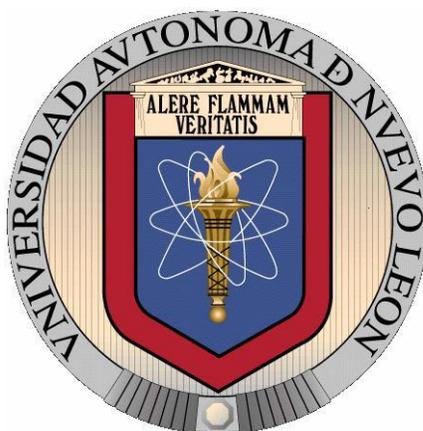
**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**Julio, 2016**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**RECONSTRUCCIÓN DE PRECIPITACIÓN E INCENDIOS EN BOSQUES DE  
CONÍFERAS EN EL EJIDO ADOLFO RUIZ CORTINES, PUEBLO NUEVO,  
DURANGO.**

**POR**

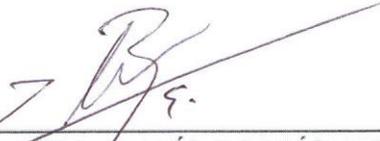
**SERGIO ROSALES MATA**

**Como requisito parcial para obtener el grado de  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**Julio, 2016**

RECONSTRUCCIÓN DE PRECIPITACIÓN E INCENDIOS EN  
BOSQUES DE CONÍFERAS EN EL EJIDO ADOLFO RUIZ  
CORTINES, PUEBLO NUEVO, DURANGO.

Aprobación de tesis



DR. EDUARDO ALANÍS RODRÍGUEZ  
DIRECTOR



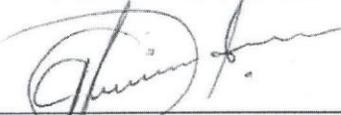
DR. JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ  
ASESOR



DR. OSCAR ALBERTO AGUIRRE CALDERÓN  
ASESOR



DR. JOSÉ VILLANUEVA DÍAZ  
ASESOR EXTERNO



M.C. JULIÁN CERANO PAREDES  
ASESOR EXTERNO

Julio, 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación profesional. Además de haber financiado la presente investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Forestales por brindarme la oportunidad de formar parte de su programa de posgrado, proporcionándome crecimiento académico, profesional y personal.

Al Laboratorio de Dendrocronología INIFAP-CENID-RASPA por su apoyo para la realización de los análisis dendrocronológico, en especial al Dr. José Villanueva Díaz y al M.C. Julián Cerano Paredes.

Al Dr. Eduardo Alanís Rodríguez, por su confianza e incondicional apoyo para el desarrollo de este trabajo

A los integrantes de mi comité de tesis, Dr. Javier Jiménez Pérez y Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón, por apoyar por sus valiosas contribuciones en esta etapa de formación académica.

A las personas que se involucraron en sacar este trabajo adelante, ya sea en la toma de datos, preparación y fechado de muestras, traducción, realizar mapas, fue un apoyo muy valioso.

A mis compañeros de maestría, quienes con su amistad y compañía hicieron muy agradable el camino de este posgrado.

*Dedico esta tesis a:*

*En primer lugar a Dios, por darme la vida, por la familia que me diste y brindarme esta enorme oportunidad de seguir preparándome, por las lecciones que me has puesto durante este proceso, de las cuales he aprendido bastante, pero sobre todo gracias por esta fortaleza que recibí en los momentos más difíciles.*

*Jamás hubiese podido alcanzar mis metas sin el apoyo incondicional de mi familia. Gracias a ustedes, supe desde niño lo que es el amor y sobre todo lo que significa ser parte de una familia que se quiere, compartiendo un hogar. Agradezco a cada uno de ustedes, por su hermosa forma de ser, la cual se ha impregnado en mí. Dedico este trabajo a mi madre Ofelia Mata Ramírez y a mi Padre Silvestre Rosales Montelongo quienes forjaron en mi humildad, honestidad y trabajo diario. A mis hermanos Eriberto y Dora Elia, por todos esos recuerdos de alegría y felicidad que hemos compartido desde que éramos niños, por esos consejos que me han enseñado a ser mejor persona, bien saben que cada día me esmero en ser el hermano del que ustedes se sientan orgullosos.*

*También dedico este trabajo a mis sobrinos Haitana, José Leonardo y Marco Abdiel, los cuales han sido una gran motivación desde que llegaron a mi vida, cada risa, cada muestra de afecto me dan ánimos cada día para continuar adelante y ser un ejemplo para ellos.*

*Y también a todos mis familiares, a mis cuñados y a las personas que me han brindado su amistad y apoyo incondicional en todo momento.*

*Sergio Rosales Mata.*

## 5. ÍNDICE

5. ÍNDICE.....	I
6. ÍNDICE DE CUADROS.....	III
7. ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
8. RESUMEN.....	VI
Abstract.....	VII
9. Introducción.....	1
9.1 Incendios forestales.....	3
9.2 Régimen de incendios.....	5
9.3 Precipitación.....	6
9.4 Dendrocronología.....	6
9.4.1 Principios de la dendrocronología.....	7
9.4.2 Potencial Dendrocronológico.....	11
9.4.3 Dendrocronología en México.....	11
10. Justificación.....	13
11. Hipótesis.....	14
12. Objetivo del trabajo.....	14
12.1 Objetivo General.....	14
12.2 objetivos Específicos.....	14
13. Bibliografía.....	15
14. CAPÍTULO II.....	21
Reconstrucción del historial de incendios en bosques de coníferas en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango.....	21
14.1 Resumen.....	21
Abstract.....	21

14.2	Introducción .....	22
14.3	Materiales y métodos.....	25
14.4	Resultados y discusión .....	31
14.5	Conclusiones .....	38
14.6	Bibliografía.....	39
15.	CAPÍTULO III .....	43
	Reconstrucción de precipitación primavera-verano con anillos de crecimiento en bosques de coníferas en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango.....	43
15.1	Resumen .....	43
	Abstract .....	43
15.2	Introducción .....	44
15.3	Materiales y métodos.....	45
15.4	Resultados y discusión .....	50
15.5	Conclusiones .....	58
15.6	Bibliografía.....	59

## 6. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Intervalos de distribución de los incendios en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines .....	33
Cuadro 2. Distribución de la estacionalidad de las cicatrices de incendios .....	33
Cuadro 3. Estaciones consideradas para la reconstrucción de la precipitación en el periodo febrero-septiembre (1954-1990). .....	52
Cuadro 4. Modelo lineal generado para la reconstrucción estacional de precipitación invierno–primavera-principio de verano (febrero-septiembre) .....	54
Cuadro 5. Análisis de varianza del modelo de reconstrucción.....	54
Cuadro 6. Pruebas estadísticas del modelo de la reconstrucción de precipitación .....	55
Cuadro 7. Relación entre la cronología de madera temprana del Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango y diferentes fenómenos climáticos.....	58

## 7. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fechado cruzado para la elaboración de una serie dendrocronológica (tomado de Fritts, 1976).....	10
Figura 2. Red dendrocronológica desarrollada por el INIFAP CENID-RASPA en México. Fuente. José Villanueva Díaz (datos sin publicar).....	12
Figura 3. Red de sitios con estudios de frecuencia histórica de incendios realizada en el CENID-RASPA. Fuente Julián Cerano Paredes (datos sin publicar). .....	13
Figura 4. Ubicación del área de estudio.....	26
Figura 5. Ejemplo de la evidencia dejada por incendios forestales en el tronco de coníferas (Modificado de Morrison y Swanson, 1990). .....	27
Figura 6. Extracción de sección transversal de muestra con cicatrices de incendios en un tocón y registro de datos en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines. ....	29
Figura 7. Gráfico de la frecuencia histórica de incendios en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, P.N., Durango.....	32
Figura 8. Gráfico de la relación frecuencia histórica de incendios (a) y su relación con el clima (b), en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, P.N., Durango.....	35
Figura 9. Gráfico de la relación frecuencia histórica de incendios (a) y su relación con el fenómeno El Niño (b), en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, P.N., Durango. ....	37
Figura 10. Localización del área de estudio.....	46
Figura 11. Medición individual de muestras con un sistema de medición VELMEX .....	49

Figura 12. Serie dendrocronológica estándar de anillo total y tamaño de muestra empleado para generar cada uno de los valores de los índices anuales. La serie de tiempo se extiende de 1927 a 2014 (88 años)..... 51

Figura 13. Relación entre el índice ancho de anillo (RWI), versión residual y la precipitación acumulada promedio febrero-septiembre con registros de tres estaciones climáticas..... 53

Figura 14. Precipitación reconstruida febrero-septiembre para el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, P. N. Durango. La reconstrucción se extiende de 1927 a 2014. La línea oscura representa una línea flexible para resaltar eventos de baja frecuencia cada cinco años..... 57

## 8. RESUMEN

Los anillos de crecimiento de *Pinus sp.* se emplearon como *proxy* para reconstruir la variabilidad histórica de precipitación y de incendios en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango. Se pudo reconstruir los últimos 198 años (1816-2014) de la frecuencia de incendios, para ello se colectaron 55 muestras de árboles de *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus teocote* y *Pinus leiophylla* con cicatrices de incendios. Con técnicas dendrocronológicas se analizaron 47 árboles y fecharon 131 cicatrices presentes en las muestras. Los incendios de mayor intensidad registrados ocurrieron en 1967, 1972, 1978 y 1995. el Intervalo Medio de Frecuencia (MFI, por sus siglas en inglés) fue de 6.27 años. Además, se determinó que el 78.6% de los incendios se presentaron en la estación de primavera y 21.4% al inicio del verano. También se reconstruyeron 88 años (1927-2014) de precipitación estacional. Se procesaron con técnicas dendrocronológicas convencionales 77 núcleos de crecimiento, presentando una inter-correlación entre series de 0.615, lo que indica potencial de las especies para estudios dendrocronológicos. Se generaron series de tiempo de madera temprana, tardía y de anillo total. El índice de ancho de anillo respondió a la precipitación acumulada promedio del período febrero-septiembre procedente de tres estaciones climáticas circunvecinas al sitio, por lo que se generó un modelo lineal para una reconstrucción de lluvia primavera-verano.

## Abstract

*Pinus sp.* growth rings were employed as *proxy* to reconstruct the historical variability of precipitation and fire in the Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango. The last 198 years (1816-2014) were rebuilt of fire frequency, for that 55 samples of *Pinus durangensis* trees, *Pinus engelmannii*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus teocote* and *Pinus leiophylla* with fire scars were collected. 47 trees were analyzed and 131 scars present in the samples were dated with dendrochronological techniques. Higher intensity fires occurred in 1967, 1972, 1978 and 1995, medium frequency interval (MFI) was 6.27 years. Further, it was determined that 78.6% of fires occurred in the spring season and 21.4% at the beginning of summer. 88 years (1927-2014) of seasonal precipitation were built. 77 growth cores were processed with conventional dendrochronological techniques, an inter-correlation occurred between sets 0.615, it is indicating potential species for dendrochronology studies. Earlywood time series were generated, late wood and total ring. The index ring width responded to the accumulated rainfall average for the period from February to September from three weather stations surrounding the site, therefore, a linear model was generated for a reconstruction of spring-summer rain.

## 9. Introducción

Las zonas forestales son imprescindibles para la vida en el planeta. Son fundamentales en los ciclos de producción y distribución del agua, limpian el aire, regulan la temperatura y la humedad, con lo que el clima se equilibra; proporcionan alimento, medicina y refugio para seres vivos además de proporcionar materia prima en infinidad de actividades humanas (CONAFOR, 2010).

A pesar de esto, los procesos vitales que los bosques proporcionan, se ven amenazados por distintos factores asociados a las actividades forestales: cambio climático, degradación de suelos, deforestación, tala inmoderada, agricultura, ganadería y los incendios forestales que llevan una relación estrecha con el desarrollo humano (Flores *et al.*, 2006).

El fuego, se encuentra presente de manera natural en muchos ecosistemas del mundo y para muchos de ellos su presencia es vital (Agee, 1993; Pyne *et al.*, 1996); sin embargo, los incendios forestales también generan impactos negativos ecológicos y económicos, además de constituir una amenaza para los habitantes del bosque (Espinoza *et al.*, 2008). Si bien, los incendios son percibidos como una grave amenaza para los bosques, constituyen un factor que ha formado parte de la dinámica de muchos ecosistemas forestales (Agee, 1993; Whelan, 1995; Rodríguez, 1996). Desde esta perspectiva, podemos encontrar que el fuego no solo es un elemento destructivo, sino un componente que forma parte del proceso ecológico de los ecosistemas (Rodríguez, 1996; Flores *et al.*, 2006; Sugihara *et al.*, 2006).

Algunos de los ecosistemas han evolucionado con características que hacen a las especies adaptarse a un régimen de incendios específico; es decir, a cierta frecuencia, severidad y extensión (Heinselman, 1981; Agee, 1993). Sin embargo, en muchos de los bosques este régimen natural ha sido alterado con el paso de

los años o modificado por acciones antropogénicas, con la finalidad de dar otro uso al suelo (WWF, 2004).

Con la modificación de la estructura del ecosistema mediante prácticas inadecuadas de extracción, tala inmoderada, ganadería extensiva y cambio de uso del suelo, se puede alterar la variación del régimen natural histórico de incendios (Jardel *et al.*, 2009).

Actualmente en México, los régimen de incendios han sido poco estudiados, se enfocan a estudios sobre reconstrucción de frecuencia histórica de incendios de origen natural, los cuales describen la variabilidad espacial y temporal de los regímenes ecológicos del fuego en los bosques mixtos de coníferas, esto a la vez, se relaciona con la presencia de eventos climáticos en el pasado. Estos estudios proporcionan una mejor comprensión del comportamiento de los incendios en el tiempo.

Los bosques mexicanos constituyen una fuente de importancia para determinar relaciones clima-incendio, con estas relaciones, se pueden realizar predicciones de respuestas futuras del bosque al cambio climático, y así contribuir en el desarrollo de estrategias para adoptar medidas apropiadas enfocadas a minimizar la pérdida de los beneficios derivados de estos ecosistemas.

El presente estudio se realizó en un bosque de pino-encino en la sierra madre occidental, específicamente en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango, en el sitio se realizan acciones de extracción maderable y manejo para reducir la presencia de incendios forestales; por tal motivo, se asume que estas prácticas han alterado la estructura de estos ecosistemas y por ende, se ha modificado su régimen natural de fuego. Por tanto, surge la necesidad de realizar un estudio de la frecuencia histórica de incendios y su relación con fenómenos climáticos y conocer que tanta modificación se ha realizado en estos estudios a través del tiempo.

## 9.1 Incendios forestales

Los incendios forestales son un factor importante de transformación en la mayoría de ecosistemas y se cree que su presencia ha sido común desde los tiempos del Devoniano tardío, hace unos 416 millones de años (Ma) (Schmidt y Noack, 2000; Glasspool *et al.*, 2006). Aunque existen escasas pruebas de la existencia de fuego desde el Silúrico (443 Ma), de lo que si hay evidencia es que durante los últimos 350 Ma se han venido produciendo incendios en nuestro planeta de forma reiterada (Scott y Glasspool, 2006).

Si bien el fuego ha sido utilizado por los seres humanos desde hace unos 400,000 años, hace tan sólo unos 10,000 años que el ser humano aprendió a iniciarlo, sin necesidad de depender de agentes naturales como los rayos (Jordán y Cerdá, 2010). Durante el Paleolítico y en Mesolítico el hombre utilizó el fuego como defensa, herramienta de caza e incluso para generar nuevas zonas de cultivo (Bird *et al.*, 2008). Durante la revolución agrícola en el Neolítico requirió utilizar el fuego para convertir los paisajes de vegetación perenne a otros con vegetación anual (Pyne, 1995).

Se entiende por incendio forestal a la propagación libre y no controlada del fuego sobre la vegetación en los ecosistemas, con efectos no deseados para la misma. Además, de ser un proceso de combustión u oxidación de la materia orgánica y de los organismos presentes en una comunidad (DeBano *et al.*, 1998). Los incendios se clasifican en tres tipos de acuerdo a su propagación: subterráneos, superficiales y de copa (Villers y López, 2004; Flores *et al.*, 2006; Días, 2011).

Los incendios subterráneos, consumen principalmente raíces y materia orgánica en descomposición, estos incendios no cuentan con gran presencia de oxígeno, por lo que su combustión es lenta y en la mayoría de los casos no producen llama (Flores *et al.*, 2006).

En México, el 90% de los incendios forestales son superficiales, consumen toda la vegetación existente en el suelo (hojas, ramas, arbustos, regeneración, troncos tirados y tocones) hasta una altura aproximada de 1.5 m, causando severos daños a la regeneración. Mientras que en el arbolado adulto, el daño es únicamente en la base del fuste (Villers y López, 2004).

Los Incendios de copas o corona, los cuales son pocos frecuentes en México, se caracterizan por que el fuego se desplaza por el follaje del arbolado con gran rapidez. Se origina con un incendio superficial el cual, se convierte en incendio de copa con ayuda de tres factores: continuidad de copas, vientos fuertes y pendientes pronunciadas. En la mayoría de los casos, el fuego quema todo el follaje y el árbol muere por la intensidad del calor (Villers y López, 2004).

Muchos investigadores coinciden en que los incendios forestales son una parte relevante de la historia de la vida (Pausas y Keeley, 2009), de las rocas (Scott, 2009) y de la humanidad (Pyne, 1995); y por lo tanto de los ecosistemas terrestres en el pasado y el presente. En muchos ecosistemas el fuego es una fuerza natural, esencial y ecológicamente significativa, que puede cambiar los atributos físicos, químicos y biológicos de la superficie de la tierra, de ahí que se le considere como un factor en la sucesión de los ecosistemas (Pausas y Keeley, 2009).

Algunos estudios indican que los incendios forestales juegan un papel importante en los ciclos de nutrientes de los bosques. Además, los incendios incrementan la temperatura del suelo y la actividad microbiana que resultan en una liberación de nutrientes a través de la descomposición durante varios años después de estos eventos. (Bourgeau-Chavez *et al.*, 2000).

También se ha encontrado que los incendios generan cambios negativos, modifican las propiedades físicas e hídricas del suelo, reducen la porosidad del suelo, forman sustancias hidrófobas, disminuyen la infiltración, la

disponibilidad de agua y causan erosión (DeBano *et al.*, 1998; Rhoades *et al.*, 2004; Mayor *et al.*, 2007).

## 9.2 Régimen de incendios

El concepto de régimen de incendios se refiere a la caracterización de las perturbaciones que afectan a un espacio determinado a lo largo del tiempo. La caracterización de regímenes de incendios es fundamental para comprender la ecología del lugar, una vez definido este, se pueden desarrollar prácticas de manejo del fuego (Valladares, 2004). La importancia del fuego en algunos ecosistemas es evidente, ya que ciertas especies evolucionaron con este fenómeno; al requerir del calor del fuego para abrir sus conos, liberando y dispersando sus semillas en el suelo asegurando su regeneración. Algunas especies cuentan con una testa dura que pueden durar años, esperando un incendio para ablandarse y germinar (Valladares, 2004; Pausas, 2010).

La importancia de la reconstrucción del régimen de incendios en los bosques es proporcionar información sobre la interacción que existe entre el clima, material combustible, vegetación y topografía. Además, de conocer la distribución temporal de incendios en un área determinada (Baisan y Swetnam, 1990; Medina, 2007; Matthew y Taylor, 2008).

Lloret, 2004; Matthew y Taylor, 2008, mencionan que los parámetros que se miden durante los incendios son:

- La intensidad: mide la magnitud física de la perturbación, las temperaturas alcanzadas en el incendio.
- Severidad: mide el grado de afectación de la perturbación en los organismos o en las propiedades del sistema, por ejemplo, porcentaje de árboles muertos por el fuego.
- Extensión: superficie afectada por el fuego.
- Frecuencia: medida como número de perturbaciones que se producen en un área concreta a lo largo de un período de tiempo determinado.

- El periodo de recurrencia: el tiempo necesario para que un área vuelva a ser afectada por la misma perturbación.
- La estacionalidad: época del año en que se producen las perturbaciones.

Se debe de entender como un componente del sistema a los régimen de incendios; ya que, se encuentran incluidos en la dinámica de los bosques, esto se debe a que el fuego es un fenómeno natural que ha estado presente en los ecosistemas por miles de años, considerándolo un factor de selección natural, que ayuda a la conservación de la biodiversidad (Lloret, 2004). La importancia de conocer los régimen de incendios sería, para no crear condiciones antropogénicas fuera del ecosistema, de lo contrario, se alteraría su dinámica y funcionamiento (Bergeron *et al.*, 2002; Jardel *et al.*, 2010).

### 9.3 Precipitación

Esta variable tiene gran influencia en la presencia de incendios, ya que en los periodos de sequía los combustibles se deshidratan y crean condiciones adecuadas para los incendios forestales. En años con altas precipitaciones, los árboles se desarrollan adecuadamente produciendo hojas y ramas; estos a su vez al perder humedad se convierten en material combustibles y al presentarse altas temperaturas, con humedad relativa baja, tienen el potencial para entrar en combustión (Denham, 2007).

### 9.4 Dendrocronología

La palabra *dendrocronología* proviene del griego: “*dendros*” que significa árbol, “*cronos*” tiempo y “*logos*” conocimiento. Entonces la dendrocronología sería el estudio de la edad de los árboles. Estos tiene la capacidad de registrar los fenómenos naturales y la dendrocronología nos ayuda a interpretar dicha información (Fritts, 1976).

Un rama de la dendrocronología es la *dendropirocronología*, ciencia que utiliza la datación de los anillos de crecimiento de los árboles para estudiar el pasado y presente de los régimen de incendios forestales (Grissino-Mayer, 2016).

En el año 1901, Andrew E. Douglass, conocido como “El Padre de la Dendrocronología”, observó que los anillos expuestos en un tronco cortado de un pino en Flagstaff, Arizona, mostraban variaciones en su anchura. Con lo cual surgió la interrogante si los árboles de Arizona eran influenciados más por la humedad disponible que por la competencia dentro del rodal, y si la humedad disponible tenía un efecto de correspondencia sobre el ancho de los anillos. Con esto, él se planteó que los años secos deberían registrarse como anillos delgados y podría usar el grosor de los crecimientos como una prueba para un registro del tiempo y del clima a largo plazo (Fritts, 1976).

#### 9.4.1 Principios de la dendrocronología

La dendrocronología se base en una serie de principios básicos o reglas bien establecidas, Principio de uniformidad, desde el año de 1785 y Principio de la agregación de los factores ambientales, en el año 1987, estos principios son: a) uniformidad, b) factores limitantes, c) crecimiento agregado, d) amplitud de ecológica, e) selección de sitio, f) fechado y g) replicación (Grissino-Mayer, 2016).

El principio de la uniformidad establece que los procesos físicos y biológicos que vinculan el desarrollo del árbol son los mismos que actuaron en el pasado. Esto es, los arboles responden igual a nivel fisiológico a lo largo del tiempo, esto quiere decir que el efecto del clima se registra de la misma manera a través del tiempo (Fritts, 1976).

En otras palabras, "el presente es la clave del pasado", ha sido indicado originalmente por James Hutton en 1785. Sin embargo, la dendrocronología añade un nuevo giro a este principio: "el pasado es la clave para el futuro." En otras palabras, conociendo las condiciones ambientales que operaban en el pasado (mediante el análisis de tales condiciones en los anillos de los árboles),

podemos predecir mejor y gestionar dichas condiciones en el futuro (Grissino-Mayer, 2016). Es decir sabiendo cómo reaccionan los árboles en la actualidad a los fenómenos ambientales, mediante la comparación de ancho de anillo y las estaciones meteorológicas cercanas, podemos hacer la reconstrucción hasta donde la extensión de la serie de crecimiento nos permita (miles de años) (Villanueva *et al.*, 2011)

Principio de los factores limitantes, este principio establece que los tipos de procesos de la planta se ven limitados por la variable ambiental primario que es más limitante; por ejemplo, sitios semiáridos donde el factor que limita el crecimiento es la precipitación; mientras que en lugares fríos con adecuada precipitación, el factor limitante es la temperatura (Grissino-Mayer, 2016).

Principio de crecimiento agregado, establece que cualquier serie de crecimiento del árbol puede ser dividido en un conjunto de factores ambientales, tanto humanos como naturales, que afectaron los patrones de crecimiento de los árboles con el tiempo, se expresa en la siguiente función (Fritts, 1976):

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

R: Crecimiento anual de un anillo para un año determinado.

T: Año en que ocurre el crecimiento

A: la edad.

C: condiciones climáticas.

D1: las perturbaciones internas del bosque que puedan afectar el crecimiento como los factores intrínsecos de la especie (ejemplo: variabilidad genética).

D2: las perturbaciones externas del bosque que puedan afectar el crecimiento (ejemplo: plagas forestales).

E: es el error, engloba a la acción de cualquier otro factor aleatorio que no sea tomado en consideración por los anteriores, considerado normalmente como ruido (pendiente, exposición, altitud, edafología)

Principio de amplitud ecológica, este principio establece que una especie de árbol pueden crecer y reproducirse durante ciertos rangos en un gradiente ecológico, este principio es de gran importancia para la dendrocronología, ya que los especímenes de interés, se encuentran cerca del margen o límite de distribución natural, en latitud, longitud y altitud, donde registran de mejor manera el factor climático que limita su desarrollo (Grissino-Mayer, 1996; Grissino-Mayer, 2016).

Principio de selección de sitio, establece que los sitios de muestreo deben de estar ubicados en donde la especie tenga mayor sensibilidad al factor de nuestro interés, si se va a realizar un estudio de precipitación, el sitio deberá ubicarse donde llueva poco y la especie sea sensible a cambios en la precipitación, por ejemplo afloramientos rocosos, o en las crestas de las montañas (Campos, 2009).

Principio de fechado, se considera el principio fundamental de la dendrocronología, el cual consiste en identificar un patrón de crecimiento similar, en las muestras de árboles para un área determinada. Estos patrones se originan debido al efecto de los diferentes factores que influyen en el crecimiento de los arboles como son precipitación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, incendios forestales, etc. Para este principio se realizan gráficos en una tira de papel milimétrico para cada incremento radial. En este gráfico, se resaltan los años con menor crecimiento y se sobreponen con un gráfico promedio del sitio (máster) (Stokes y Smiley, 1968) (Figura 1)

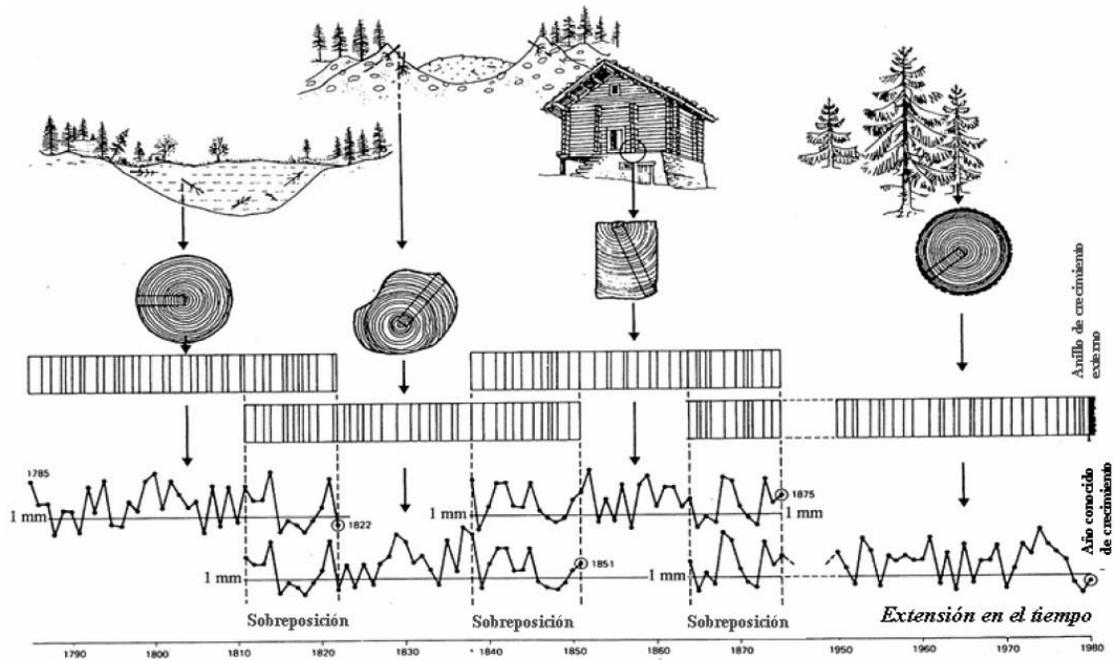


Figura 1. Fechado cruzado para la elaboración de una serie dendrocronológica (tomado de Fritts, 1976).

Por último el principio de replicación, el cual se utiliza para maximizar la variabilidad climática y minimizar otras variables locales como pendiente, presencia de plagas, daño por incendios, etc., Para este principio, se toma más de una muestra por árbol y un número adecuado de árboles por sitio, que supere los 30 árboles por lo menos, ampliamente distribuidos en el área de estudio, con la finalidad de realizar comparaciones dentro del mismo árbol y entre árboles (Grissino-Mayer, 1996). La influencia de la edad se minimiza al muestrear varias categorías diamétricas, analizando de manera separada. Las variaciones externas se minimizan realizando más estudios en la región, de esta forma, podemos comparar entre sitios y determinar si algún fenómeno climático afecto a una zona mayor (Campos, 2009).

#### 9.4.2 Potencial Dendrocronológico

Los anillos de los árboles como archivos útiles para determinar el clima del pasado se han utilizado ampliamente por un sinnúmero de autores, desde inicios del siglo XX (Douglass, 1941; Fritts, 1976) hasta la actualidad (Villanueva *et al.*, 2015; Cerano *et al.*, 2015). El potencial dendrocronológico de una especie se refiere a su capacidad para desarrollar anillos de crecimiento anual, con una fuerte señal climática; esta variabilidad climática, se refleja a través de las fluctuaciones en el grosor de sus crecimientos anuales (Fritts, 1976).

En México y en los ecosistemas de bosques templados existen coníferas con excelente potencial dendrocronológico, cuyo desarrollo tanto de madera temprana como de madera tardía está influenciado por las condiciones dominantes de precipitación. Asimismo, estas especies permiten analizar la influencia de fenómenos climáticos de circulación general que determinan la variabilidad de la precipitación en ciertas regiones del país (Stahle *et al.*, 1998).

#### 9.4.3 Dendrocronología en México

En los últimos años ha aumentado el interés de la dendrocronología en nuestro país, un factor importante ha sido el apoyo técnico y económico otorgado por organismos internacionales y nacionales. Uno de los primeros trabajos fue el desarrollado por Nylor (1971), quien analizó el potencial dendrocronológico de cuatro pinos Oaxaqueños sin éxito. Tiempo después Suzan y Franco (1982) trabajaron con *Pinus hartwegii* en los volcanes del centro de México; ellos desarrollaron una cronología que se extendió 200 años (1780-1980) y la consideraron poco sensible a variables climáticas. Uno de los lugares donde se ha potenciado al máximo estos trabajos es el laboratorio de dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA ubicado en Gómez Palacio, Durango, donde se han desarrollado cerca de 200 cronologías en México y desarrollado reconstrucciones históricas de precipitación, caudales, niveles de lago y de frecuencia de incendios. (Figura 2).

Como ejemplo se tiene que la mayoría de los estudios dendroclimáticos en México se han desarrollado con base en *Pseudotsuga menziesii*, esta especie ha permitido reconstruir la variabilidad climática para los últimos 600 años en el norte del país (Villanueva *et al.*, 2008; Cerano *et al.*, 2011c)

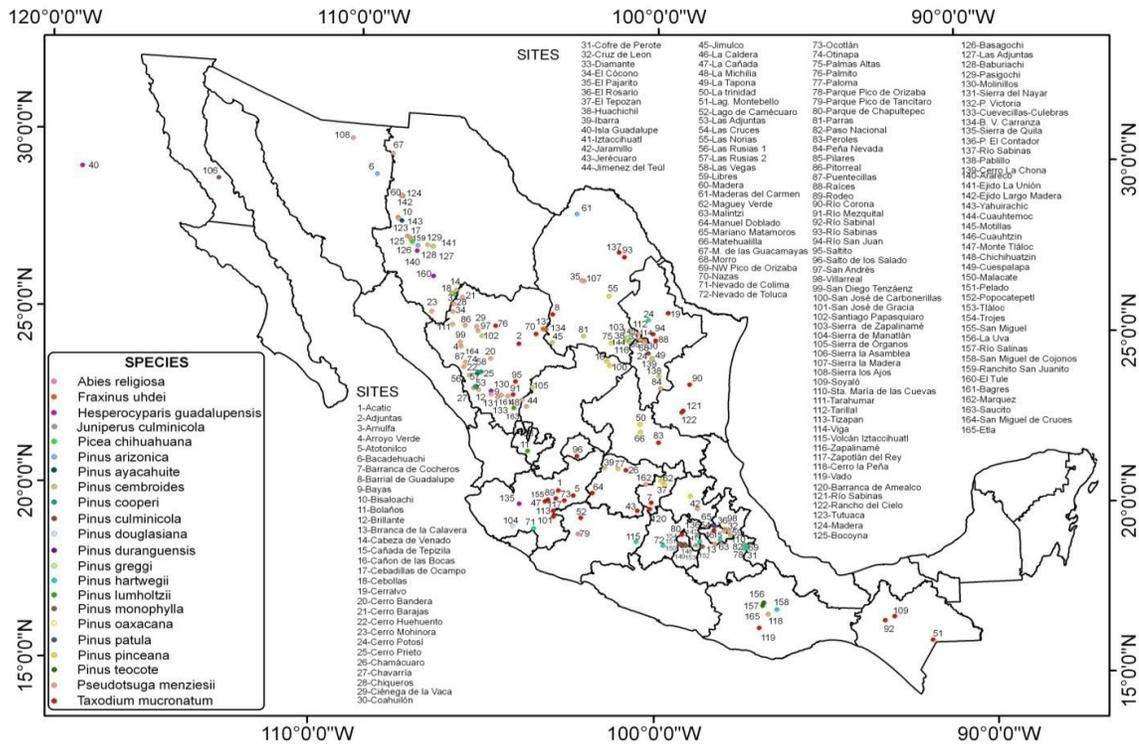


Figura 2. Red dendrocronológica desarrollada por el INIFAP CENID-RASPA en México. Fuente. José Villanueva Díaz (datos sin publicar).

Los estudios realizados para la reconstrucción de incendios es menor, esta situación se atribuye a que existen pocos sitios potenciales para realizar este tipo de estudios, debido a que la mayoría de las áreas se encuentran bajo un plan de manejo silvícola y en este sentido los árboles dañados por incendio son los primeros que se marcan para su aprovechamiento, Sólo se pueden localizar en parajes aislados o de difícil acceso, en ese sentido la red existente de reconstrucciones de incendios es comparativamente menor a la red de reconstrucción climática (Figura 3).

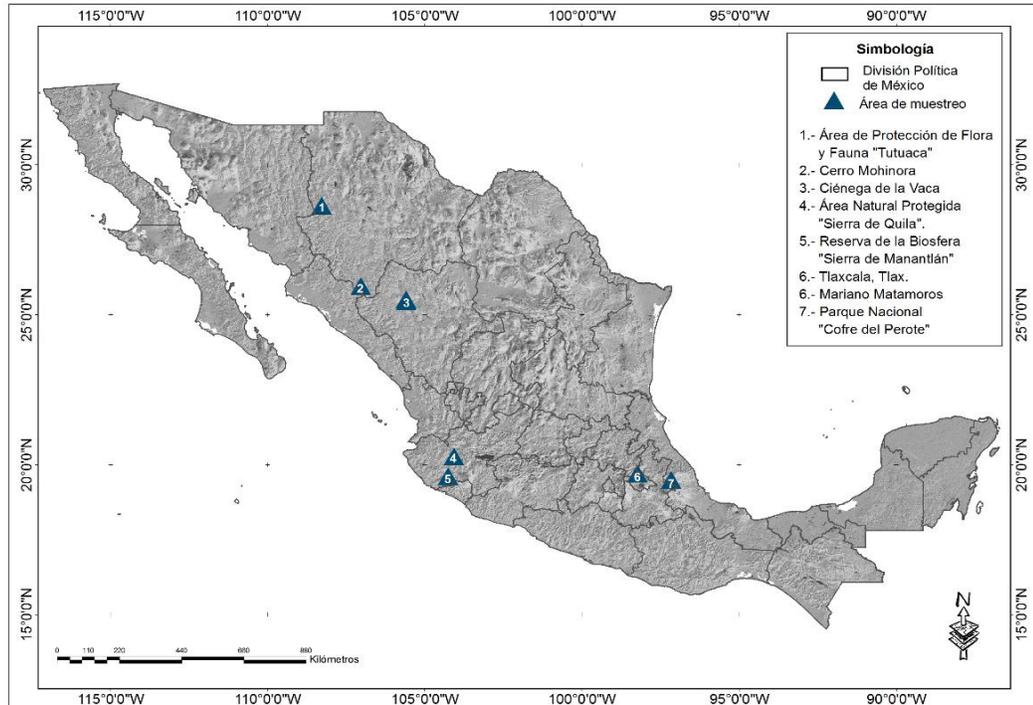


Figura 3. Red de sitios con estudios de frecuencia histórica de incendios realizada en el CENID-RASPA. Fuente Julián Cerano Paredes (datos sin publicar).

## 10. Justificación

La sierra madre occidental, constituye una fuente de producción de bienes y servicios de gran importancia para el norte de México. Este sistema montañoso constituye el motor de desarrollo de esta extensa región de México, del que depende la sustentabilidad de más de seis millones de personas (SEMARNAT, 2004).

La presencia de fuego en estos ecosistemas, lleva consigo como resultado efectos ecológicos complejos en los paisajes, ya sea como consecuencia de incendios individuales o de múltiples incendios a través del tiempo. A nivel mundial existe evidencia de estos efectos sobre la composición de la vegetación, destacándose el cambio del uso del suelo como el principal factor de alteración de los régimen de incendios, seguido de las variaciones climáticas, las cuales influyen en el comportamiento de los incendios, lo que ha afectado los patrones

de regeneración, así como la resiliencia de las comunidades vegetales (SEMARNAT, 2004; Simkin y Baker, 2008; Bowman et al., 2009).

En este sentido, en México son pocos los estudios que integren los régimen de incendios y su relación con el clima, es aquí donde se fundamenta la importancia para iniciar este tipo de investigación al trabajar de manera conjunta la reconstrucción de los regímenes históricos del fuego, precipitación y su relación con diferentes fenómenos climáticos, esto con el fin de diseñar practicas apropiadas en la conservación biológica y el manejo forestal sustentable en el área de estudio.

## **11. Hipótesis**

La frecuencia de incendios en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango, está asociada con fluctuaciones en la precipitación previo y durante la ocurrencia de los mismos.

## **12. Objetivo del trabajo**

### 12.1 Objetivo General

Reconstruir y analizar la variabilidad interanual y multianual de la precipitación y el régimen de incendios del Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango.

### 12.2 objetivos Específicos

- Analizar el régimen histórico, la frecuencia y estacionalidad de los incendios forestales en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines
- Reconstruir la precipitación estacional en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines
- Analizar la relación clima-incendio y probabilidad de ocurrencia de incendios en el área de estudio.

### 13. Bibliografía

Agee, J.K. 1993. Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press, Washington, D.C. 477 pp.

Baisan, C. H. y T. W. Swetnam. 1990. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, EUA. Canadian Journal of Forestry 20:1559-1569.

Bergeron, Y., Leduc, A., Harvey, B. D., & Gauthier, S. (2002). Natural fire regime: a guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva fennica*, 36(1), 81-95.

Bowman, D. M. J. S., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., D'Antonio, C. M., Defries, R. S., Doyle, J. C., Harrison, S. P., Johnston, F.H., Keeley, J. E., Krawchuk, M.A., Kull, C. A., Marston, J. B., Moritz, M.A., Prentice, I. C., Roos, C.I., Scott, A. C., Swetnam, T.W., Van der Werf, G.R., Pyne, S.J. 2009. Fire in the Earth System. SCIENCE 324: 481-484.

Campos, Z. L. E. 2009. Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cerano, P. J., Villanueva, D. J., Fulé P.Z., Brown, P. M., Yocom, L. L., Constante, G. V., Estrada, A. J. 2009. Interpretación del Historial de Incendios en Bosques Mixtos de Coníferas. CENID- RASPA. Gómez Palacio, Dgo. México. Pp 65.

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, R. L., Cervantes-Martínez, P. Z., Fulé, L. Yocom, G. Esquivel-Arriaga, y E. Jardel-Peláez, 2015. Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Bosque (Valdivia)*. 36(1), 41-52.

CONAFOR. Incendios forestales, Guía práctica para comunicadores. 2010. Tercera edición. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/249Reporte%20semanal%20de%20incendios%20forestales.pdf>.

DeBano L.F., Neary D.G., y Ffolliott P.F. 1998. *Fire`s effects on Ecosystem*. John Wiley & Sons. Inc. New York. 333 p.

Díaz R. M. A. 2011. Un marco integrado para el control y gestión de incendios forestales. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León. 108 p.

Douglass, A. E. 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry*, 39(10), 825-831.

Espinoza M., L.A.; D.A. Rodríguez T., y F.J. Zamudio S. 2008. Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* dos y tres años después de quemas prescritas. *Agrociencia*, Vol. 42. Num. 6. Pp 717-730.

Flores G, J. G., Rodríguez T, D. A., Arzabala M, B., Alvarado C, E., y Blackaller O, C., B, O. 2006. Incendios forestales: Definiendo el problema, ecología y manejo, participación social, fortalecimiento de capacidades, educación y divulgación. Comisión Nacional Forestal. Mundi-Prensa. Zapopan, Jalisco, México. 247 pp.

Fritts, H. C. 1976. *Tree-rings and Climate*. Academic press. New York. 567p.

Glasspool, I. J., Edwards, D. and Axe, L., 2006. Charcoal in the Early Devonian: A wildfire-derived Konservat-Lagerstätte. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 142(3-4): 131- 136.

Grissino-Mayer, H. D. 2016. [En línea]. *The Ultimate Tree-Ring Web Pages*. Disponible en: <http://web.utk.edu/~grissino/principles.htm>

Grissino-Mayer, H. D. 1996. Dendrochronology. Disponible en <http://www.sonic.net/bristlecone/principles.html> (visitada el 5 de Noviembre de 2014)

Heinselman, M.L. 1981. Fire Intensity and Frequency as Factors in the distribution and structure of northern ecosystems. En: Mooney H.A. et al. (Eds.). Regimes and Ecosystems properties. Unites States Department of Agriculture (USDA). Forest Service. General Technical Report, WO-26, pp. 7-57.

Jardel, P.E.J, Alvarado C.E., Morfín R.J.E., Castillo N.F. & Flores G.J.G. 2009. Regímenes de fuego en ecosistemas forestales de México. En: Flores, G.J.G. 2009. Impacto Ambiental de los incendios forestales. Mundiprensa-INIFAP. México. pp. 73-100.

Lloret, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. pp 101-126

Matthew, R. B., & Taylor, A. H. 2008. Fire history and the structure and dynamics of a mixed conifer forest landscape in the northern Sierra Nevada, Lake Tahoe Basin, California, USA. *Forest Ecology and Management*, 255(3), 707-719.

Mayor A.G., Bautista S., Llovet J. y Bellot J. 2007. Post-fire hydrological and erosional responses of a Mediterrean landscape: Seven years of catchment-scale dynamics. *CATENA* 71:68-75.

Medina, A. A. 2007. Reconstrucción de los regímenes de fuego en un bosque de *Prosopis caldenia*, provincia de La Pampa, Argentina. *Bosque (Valdivia)*,28(3), 234-240.

Pausas,J.G. and Keeley,J.E., 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *Bioscience*, 59(7): 593-601.

Pausas, J. G. 2010. El fuego y evolución en el mediterraneo. *Revista Investigación y Ciencia*. 56-63 pp.

Pyne, S.J., P.L. Andrews y R.D. Laven. 1996. *Introduction to Wildland Fire*. Second Edition, Wiley, EUA. 753 pp.

Pyne, S. J. 1997. *World Fire: the Culture of Fire on Earth*. Henry Holt. University of Washington press. 120(6): 121.

Rhoades C.C., Meier A.J. y Rebertus A.J. 2004. Soil properties in fire-consumed log burnout openings in a Missouri oak savanna. *Forest Ecology and Management*. 192:277–284

Rodríguez, T. D. A. 1996. *Incendios Forestales*. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi-Prensa. México D.F. 617 pp.

Scott, A. C. 2009. Forest fire in the fossil record. In: A. Cerda and P. R. Robichaud (Editors), *Fire effects on soil and restoration strategies*. Science Publishers, pp. 1-37.

Scott, A. C. and Glasspool, I. J. 2006. The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(29): 10861-10865.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2004. *Protección, restauración y conservación de suelos forestales: manual de obras y prácticas*. México, D.F. 210 pp.

Schmidt, M. W. and Noack, A. G., 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(3): 777-793.

Simkin, R., Baker, P. J. 2008. Disturbance history and stand dynamics in tall open forest and riparian rainforest in the Central Highlands of Victoria. *Austral Ecology* 33, 747–760.

Stahle, D. W., D'Arrigo, R. D., Krusic, P. J., & Cleaveland, M. K. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(10), 2137.

Sugihara, N.G., VanWagtendonk J.W. & Fites K. J. 2006. Fire as an ecological process. In *Fire in California's Ecosystems*. Eds Sugihara N.G., Van Wagtendonk J.W., Shaffer K.E., Fites K.J. & Thode A.E. University of California: Los Angeles, CA. pp. 58–74.

Whelan, R. 1995. *The Ecology of Fire*. Cambridge University Press. Cambridge. Reino Unido. 346 pp.

WWF. 2004. El fuego, los ecosistemas y la gente. Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego. *The Nature Conservancy*. WWF, UICN. 9 pp.

Villanueva, D. J., Constante, G. V., Cerano, P. J., Tostado, P. M. M., Estrada, A. J., Stahle, D.W. 2011. Árboles longevos de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el río San Pedro Mezquital. Folleto técnico Num. 23. CENID – RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 23 pp.

Villanueva, D. J., Cerano, P. J., Selem, L. V., Stahle, D. W., Fulé, P. Z., Yocom, L. L. and Corral, R. J. A. 2015. Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(86), 5-14.

Valladares, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante..* Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid, España. 101-126 pp.

Villers, L. R., y López, J. B. 2004. Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el Volcán la Malinche. Incendios forestales en Mexico: Metodos De Evaluacion, Centro de Ciencias de la Atmósfera e Instituto de Geografía, UNAM 57-74 pp.

## 14. CAPÍTULO II

### Reconstrucción del historial de incendios en bosques de coníferas en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango.

#### 14.1 Resumen

La reconstrucción de la frecuencia histórica de incendios mediante anillos de crecimiento en coníferas, en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, ubicado en el Municipio de Pueblo Nuevo, Durango; se realizó con el objetivo de reconstruir la frecuencia de incendios en este sitio, para lo cual se colectaron 55 secciones transversales con cicatrices de incendios de árboles de *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus teocote* y *Pinus leiophylla*; de los cuales 12 (21%) correspondieron a árboles muertos y 43 (78%) a árboles vivos. Con técnicas dendrocronológicas se analizaron 47 árboles y fecharon 131 cicatrices presentes en las muestras.

El período comprendido en la reconstrucción de incendios fue de 1816 a 2014. Los incendios de mayor intensidad ocurrieron en 1967, 1972, 1978 y 1995. el Intervalo Medio de Frecuencia (MFI, por sus siglas en inglés) fue de 6.27 años. Además, se determinó que el 78.6% de los incendios ocurrió en la estación de primavera y 21.4% al inicio del verano.

#### Abstract

Historical fire frequency was reconstructed through growth rings in conifers, in the Ejido Adolfo Ruíz Cortines, located in Pueblo Nuevo, Durango, it was performed with the objective of reconstruction of the fires frequency at this site, 55 cross sections with fire scars of trees *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus teocote* and *Pinus leiophylla* were collected, of which 12 (21%) were dead trees and 43 (78%) live trees. 47 trees were analyzed and dated 131 scars present in the samples using dendrochronological techniques.

The period in the reconstruction of fire was from 1816 to 2014. The fires of greater intensity occurred in 1967, 1972, 1978 and 1995. The medium frequency interval (MFI) was 6.27 years. Further, it was determined that 78.6% of the fires occurred in the spring season and 21.4% at the beginning of the summer.

## **14.2 Introducción**

Los incendios forestales constituyen uno de los principales disturbios que puede actuar en el modelado de un paisaje y se estima que, junto con el pastoreo y la explotación de los bosques, han sido factores importantes para el mantenimiento de la producción de biomasa y de la biodiversidad (Gimeno-García, 1999). Estos tres factores han actuado como una fuerza selectiva en la evolución de muchos ecosistemas (Mataix-Solera et al., 2002; Rubio y Recatalá, 2005), ya que como argumentan Bond y Keeley (2005), sin fuego, los ecosistemas terrestres serían completamente distintos.

De esta manera, podemos argumentar que el fuego, al igual que otros factores naturales de disturbio, se encuentra presente de manera natural en muchos ecosistemas del mundo y su presencia es vital para muchos de ellos (Whelan, 1995). Por ello, no es de sorprender el papel que desempeñan en los ecosistemas forestales; ya que, estos contribuyen a la mineralización de la materia orgánica, participan en diversos ciclos de nutrientes y cuando el fuego es de baja intensidad, pueden promover el crecimiento de los árboles, gracias a la poda natural que propician y a la fertilización ocasionada mediante cenizas (Rodríguez, 1996).

Los incendios forestales son un fenómeno global que ocurre en regiones tropicales, templadas, boreales, áridas y semiáridas. Según el informe de la FAO (2006) se estima que, a escala mundial, el área afectada por el fuego en el año 2000 fue de 350 millones de hectáreas. En este informe también se estima que la cantidad de biomasa quemada globalmente cada año, es

alrededor de 9200 millones de toneladas y que, en términos generales, los incendios forestales consumen 5130 millones de toneladas de vegetación, de las cuales, un 42% se quema en África.

En México, los incendios forestales son un fenómeno ampliamente distribuido en los ecosistemas, principalmente en áreas naturales protegidas, como parques nacionales, reservas de la biosfera, entre otros (Rodríguez y Fule, 2003; Jiménez y Alanís, 2011). Si bien, los incendios son un disturbio natural de los ecosistemas, que se han presentado por miles de años, hoy en día, la frecuencia e intensidad han sido modificadas (Jiménez y Alanís, 2011). Según estadísticas en México, la superficie afectada por incendios en el año del 2013 fue de 413594 ha con un cifra de incendios acumulados de 10391. De estas cifras, el 99% de los incendios se producen por causas antropogénicas y solo 1% por fenómenos naturales (Díaz, 2011). Por otro lado, en el estado de Durango en el año 2013, se registraron 231 incendios asociados a diferentes causas, afectando una superficie de 19760 ha de arbolado adulto, renuevo y pastizales, situación que lo ubica entre los primeros 10 estados con mayor superficie afectada (CONAFOR, 2013).

La mayoría de los cambios inducidos por el fuego en los ecosistemas, y la respuesta de estos ante dicha perturbación, están regulados por las variaciones en el régimen del fuego (Whelan, 1995). Neary y Ffolliot (2005) definen este régimen como el carácter general del fuego para un tipo de vegetación o ecosistema particular, a través de largos periodos de sucesión, el cual describe la severidad típica del fuego para cada caso.

Diferentes investigaciones han propuesto clasificaciones al régimen de fuego basadas en las características y efectos de éste, y en la combinación de diferentes factores, como la frecuencia con que se producen, su extensión, tipo, estación del año donde se presentan, intensidad y severidad, entre otras variables (Whelan, 1995; Neary et al., 1999; Brown, 2000). La frecuencia varía

dependiendo del tipo de vegetación y el clima, y en función de estos, puede variar desde 6000 años en un bosque templado a menos de 50 años en un bosque de eucalipto australiano (Whelan, 1995). Los períodos de retorno están afectados por el clima y actualmente por la acción humana, provocando un aumento del número de incendios, alterado directamente las cargas de combustible y sus características.

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

Una de las ramas de la dendrocronología es la *dendropirocronología*, que utiliza la datación de los anillos de crecimiento de los árboles para estudiar el pasado y presente de los incendios forestales (Grissino-Mayer, 2001).

Con el apoyo de la dendrocronología podemos analizar la frecuencia histórica de los incendios, mediante el conteo de las cicatrices de fuego registradas en los anillos de crecimiento de los árboles (Arno y snack, 1977; Agee, 1993). Cuando el fuego es lo suficientemente intenso, se forman dichas cicatrices, o tiene un tiempo suficientemente largo de residencia como para penetrar la corteza y matar parte del cambium.

Entender el papel ecológico de los incendios en los ecosistemas forestales como un factor de transformación, constituye un elemento fundamental para el diseño de prácticas de manejo apropiadas en la conservación y el manejo forestal sustentable (Agee, 1993; Jardel *et al.*, 2004), de ahí, la necesidad de desarrollar

estudios al respecto, que cubran la variedad de condiciones de los ecosistemas forestales y aporten elementos para su manejo y conservación (Rodríguez, 1996).

El presente trabajo pretende reconstruir el historial ecológico de los incendios que han afectado el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango, México, al menos en los últimos 150 años.

### **14.3 Materiales y métodos**

#### Localización del área de estudio

El Ejido Adolfo Ruiz Cortines se localiza en la región suroeste del estado de Durango, dentro de la Sierra Madre Occidental a 110 km de la ciudad de Durango, su acceso es a través de la carretera Durango-Mazatlán. El ejido posee una superficie de 4224 ha. Geográficamente se localiza en las coordenadas 23° 41' y los 23° 45' de latitud Norte y entre los 105° 14' y los 105° 19' de longitud Oeste (Figura 4).

#### Fisiografía.

El predio se ubica en la Provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, específicamente en la subprovincia de Gran Meseta y Cañones Duranguenses y Mesetas Cañadas del Sur. La altura sobre el nivel del mar varía entre 2450 y 2650 m.

#### Clima.

Según la clasificación climática de Köppen adaptada para México por García (1964), los climas presentes en el predio son los siguientes:

C(W2): Clima templado subhúmedo, con lluvias en verano con una media de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm.

C(E)(W2): Semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Con una media de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm.

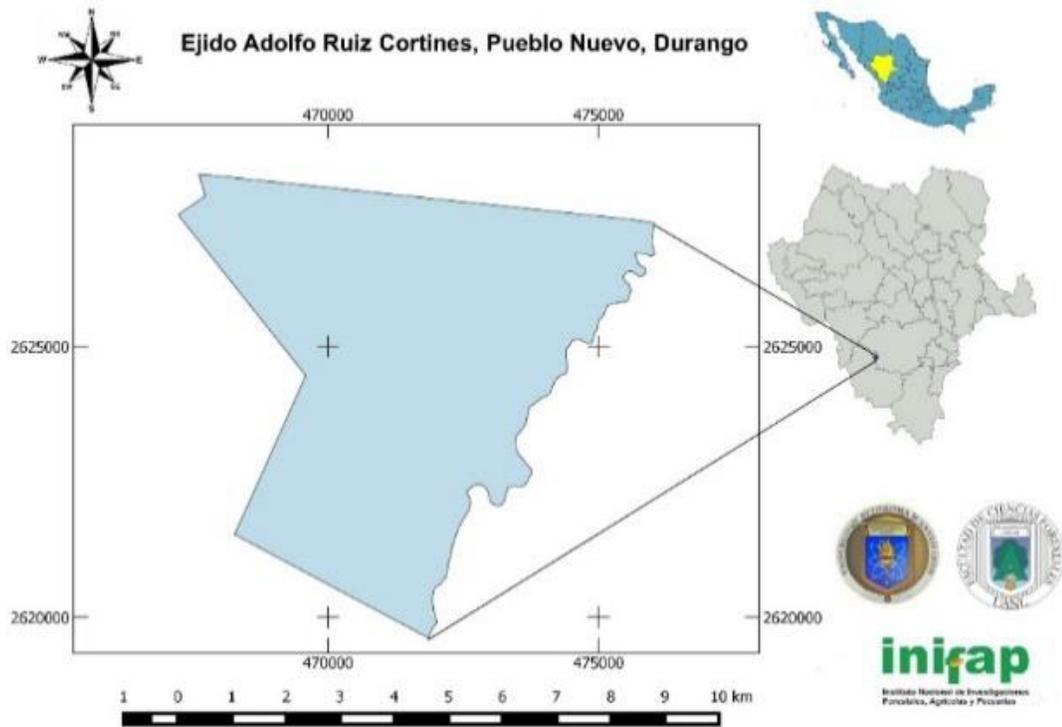


Figura 4. Ubicación del área de estudio.

Edafología.

De acuerdo con la información contenida en la carta edafológica escala 1:250,000 (INEGI, 2005) en el predio, se localizan los tipos de suelo Litosol y Regosol.

Vegetación.

Las comunidades vegetales más importantes del predio están compuestas por bosques mixtos que poseen una mezcla de especies de los géneros: *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas; siendo los tipos de vegetación

más representativos el Bosque de Pino (P), Bosque de Pino-Encino (Pq) y el Bosque de Encino-Pino, (Qp).

### Muestreo

El sistema de muestreo que se empleó en la toma de muestras para reconstrucción histórica de regímenes de incendios, fue selectivo, es decir, en el sitio de estudio se seleccionaron especímenes con características fenotípicas que permitieran cumplir con los objetivos planteados en el estudio, como fue la selección de arbolado con presencia de excelentes registros históricos de incendios (número de cicatrices) (Figura 5), y en la medida de lo posible, individuos longevos (árboles de más de 150 años).



Figura 5. Ejemplo de la evidencia dejada por incendios forestales en el tronco de coníferas (Modificado de Morrison y Swanson, 1990).

Los datos tomados en cada una de las muestras fueron:

- Número de muestra
- Nombre del sitio
- Fecha de colecta

- Nombre de colectores
- Descripción del micrositio (pendiente, exposición, condición de humedad; es decir, seco, intermedio, húmedo)
- Descripción del árbol donde se tomó la muestra (especie, diámetro, altura, condición del árbol (vivo, muerto en pie, muerto tirado, tocón, etc.)
- Descripción de la muestra (número de muestras tomadas por árbol
- Número de cicatrices
- Exposición de las cicatrices
- Altura de toma de muestras)
- Coordenadas de la muestra

Además, se tomó una fotografía a cada una de las muestras recolectadas, esto para permitir un mejor apoyo al momento de la preparación y montado en laboratorio.

#### Etapa de campo

Secciones transversales parciales se extrajeron tanto de árboles vivos como de árboles muertos. Las muestras de incendios se tomaron de tocones, árboles tirados, árboles muertos en pie y de árboles vivos (Arno y Snack, 1977). Se utilizó principalmente como herramienta una motosierra para extraer dichas muestras (Figura 6).



Figura 6. Extracción de sección trasversal de muestra con cicatrices de incendios en un tocón y registro de datos en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines.

Se extrajó un total de 55 muestras. Resultados de investigación indican que un tamaño de muestra de aproximadamente 50 árboles bien distribuidos en un sitio de estudio, proporcionan estadísticamente una adecuada estimación de los incendios que históricamente han ocurrido en el área (Falk y Swetnam, 2003).

#### Etapas de laboratorio

En el laboratorio, las muestras se pulieron con lijas de diversos granos (30 a 1200) hasta que los anillos de crecimiento quedaron perfectamente visibles bajo microscopio y pudieron ser fechados al año exacto de su formación. La preparación y fechado de cada una de las muestras, se realizó mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes Smiley, 1968). Todas las cicatrices de incendios fueron fechadas exactamente al año de su formación, para determinar la sincronía del fuego en el sitio.

Las muestras se fecharon mediante un microscopio estereoscópico con lupa de aumento 20x. Durante el proceso de fechado, se trabajó en primer instancia con las muestras vivas y en este caso, el conteo se realizó de la corteza hacia el centro. Para el sitio de estudio el primer anillo de crecimiento correspondió al año 2014.

Las fechas de incendios se analizaron en el software FHAES 2.0. Para este estudio, se analizaron todas las cicatrices encontradas en las muestras, incluso aquellas que sólo se registraron en una muestra, no obstante que son indicativas de incendios localizados y de baja intensidad.

Los estadísticos utilizados para describir la distribución de los intervalos de incendio fueron: la frecuencia media de incendios (FMI), intervalo mínimo entre incendios (IMIN), intervalo máximo entre incendio (IMAX) y el intervalo medio de probabilidad de Weibull de ocurrencia de incendios (IMPW) (Fulé *et al.*, 2005).

Los años de incendios en los que sólo uno o dos árboles son cicatrizados por el incendio, probablemente representan incendios muy pequeños; mientras que en años en que los incendios cicatrizan a un gran número de árboles, representan incendios muy extensos (Baisan y Swetnam, 1990). De esta manera, los datos sobre incendios, se filtraron para examinar progresivamente la mayor proporción de cicatrices y para determinar a través del tiempo, la presencia de incendios de baja, mediana y alta intensidad.

#### **14.4 Resultados y discusión**

Se colectó un total de 55 muestras de incendios, de árboles de *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus teocote* y *Pinus leiophylla*; en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, de los cuales, 12 (21%) correspondieron a árboles muertos y 43 (78%) a árboles vivos. Con técnicas dendrocronológicas, se analizaron 47 árboles y fecharon 131 cicatrices presentes en las muestras, El arbolado presentó un amplio rango de categorías diamétricas (21 a 49 cm), con una media de 34.2 cm. El periodo de análisis de incendios se extendió de 1816 a 2014, donde 1852 fue el primer registro de incendios y 1995 el incendio más reciente.

En la figura 7, se observa, como el incendio de 1967 se presentó en más del 50% del arbolado muestreado, lo que supone un incendio de alta intensidad, probablemente derivado de una acumulación de cargas combustibles. Entre 1967 y 1972 se presentaron incendios con mayor frecuencia; sin embargo, a partir de 1972, se determinó una supresión de incendios en el área, lo que probablemente ocasionó un periodo prolongado de acumulación de material combustible, situación que repercutió en otro evento de gran intensidad ocurrido en 1995, en donde se presentó en más del 70% del arbolado muestreado.

A partir de 1995 no se han presentado eventos de alta intensidad, esto se debe a que en el Ejido existe una brigada capacitada para el combate de incendios, según el técnico responsable del sitio, esto ha ocasionado que la frecuencia de incendios haya sido modificada.

Al considerar todas las cicatrices, el Intervalo Medio de Frecuencia (MFI, por sus siglas en inglés) fue de 6.27 años. Mientras que el intervalo máximo entre incendio (IMAX) fue de 41 años y intervalo mínimo entre incendios (IMIN) fue de un año, el intervalo medio de probabilidad de Weibull (IMPW) de recurrencia de incendios fue de 6.23 años. Considerando la fenología de la especie, se determinó que el 90.8% de los incendios corresponde a la estación de primavera y 9.2% al inicio del verano (Cuadro 1).

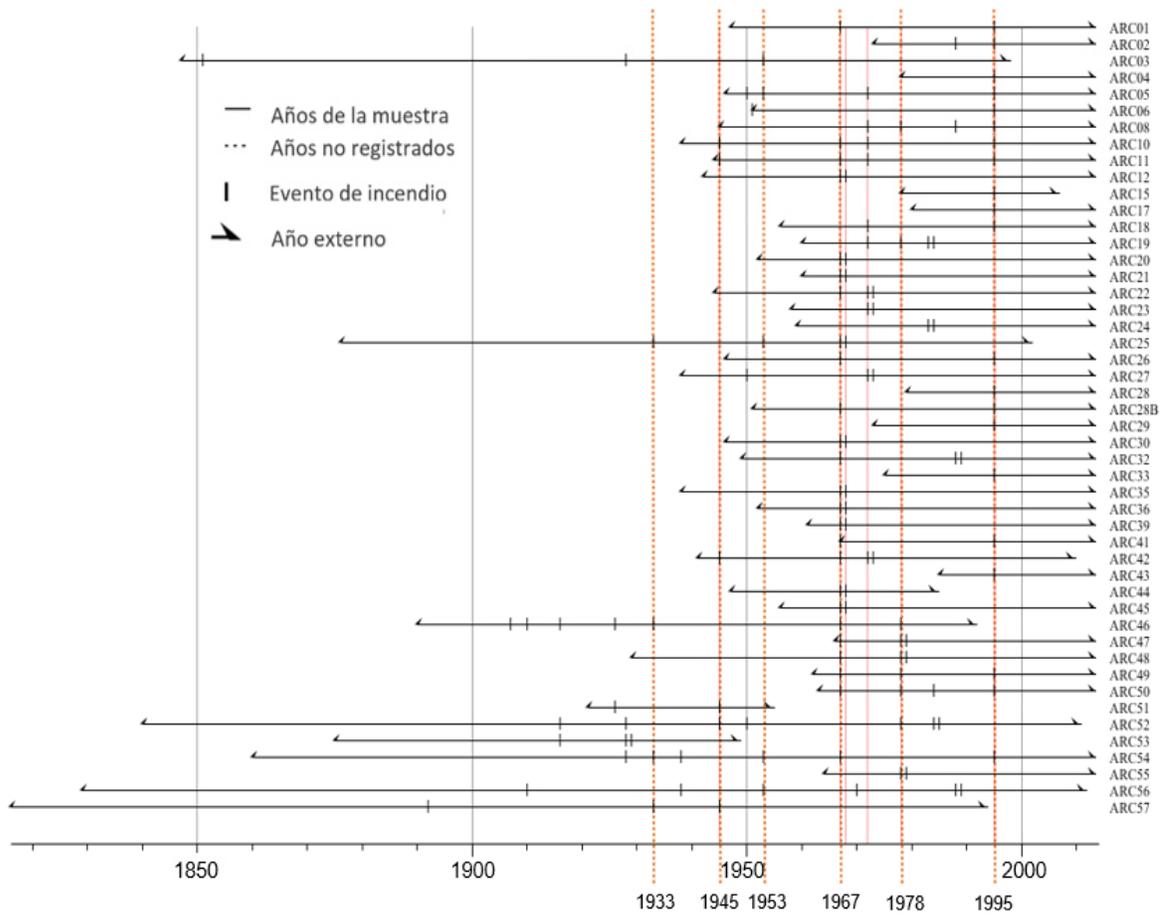


Figura 7. Gráfico de la frecuencia histórica de incendios en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, P.N., Durango.

Cuadro 1. Intervalos de distribución de los incendios en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines

Período de análisis (años)	Categoría de análisis	No. de intervalos (años)	MFI (años)	IMin (años).	IMáx (años).	IWMP(años)
1816-2014	Todas las cicatrices	26	6.27	1	41	6.23
	10% de las cicatrices	21	7.76	1	41	7.79
	25% de las cicatrices	14	11.64	1	41	11.68

Por otro lado, al aplicar un filtro de 25% en el total de las cicatrices de incendios, se determinó que el MFI fue de 11.64 años, este valor aumento casi el doble en comparacion con el total de muestras; esto se debe a que los incendios registrados son relativamente menores. Por otro lado, IMAX fue de 41 años y el IMIN fue de un año, el IMPW fue de 11.68 años.

Cuadro 2. Distribución de la estacionalidad de las cicatrices de incendios

Variable	Total	Estación determinada	D	EE	ME	LE	L	Incendios primavera	Incendios verano
Número cicatrices	131	131	0	103	16	12	0	103	28
Porcentaje	100	100	0	78.6	12.2	9.2	0	78.6	21.4

En donde: D: Dormancia, EE: Inicio de la Madera Temprana, ME: Mitad de la Madera Temprana, LE: Final de la Madera Temprana y L: Madera Tardía.

Con respecto a la época del año en que se presentan los incendios, se determinó que, al inicio de la madera temprana, se detectaron 103 cicatrices que representan el 78.3% del total; a la mitad de la madera temprana se registraron 16 cicatrices (12.2%), al final de la madera temprana se registraron 12 cicatrices (9.2%); no obstante, en la madera tardía o dormancia, no se registró ninguna cicatriz (Cuadro 2). Lo anterior corrobora que para esta región, más del 50% de los incendios se presentan en la estación de primavera. Resultados similares se obtuvieron para un estudio de frecuencia de incendios en Cerro Mohinora,

Chihuahua, con MFI de 5.1 a 8.8 años y WMPI de 3.8 a 6.0 años y donde más el 80% de incendios ocurrieron en la estación de primavera (Cerano *et al.*, 2010).

En otro estudio realizado en la sierra de Manatlán, Jalisco, el MFI fue de 5.5 años y el WMPI de 3.6 años, para todas las cicatrices. Al considerar cicatrices que se encuentran en  $\geq 25$  % de las muestras, se determinó un MFI de 8.9 años y un WMPI de 6.9 años. La estacionalidad de ocurrencia indica, mayor cantidad de incendios (68,3 %) en la mitad de la madera temprana, 30 % al inicio y 1,7 % al final de la madera temprana. Considerando la fenología de la especie se determinó que el 98,3 % de los incendios corresponde a la estación de primavera y el 1,7 % al inicio del (Cerano *et al.*, 2015).

Se observó una relación entre la disminución de la lluvia (sequías) y la frecuencia de incendios severos, aunque no de manera significativa. Así mismo, se determinó que la variabilidad estuvo relacionada con El Niño Oscilación del Sur (ENSO), los incendios reconstruidos de 1956 a 2010 coinciden con eventos Niño y Niña.

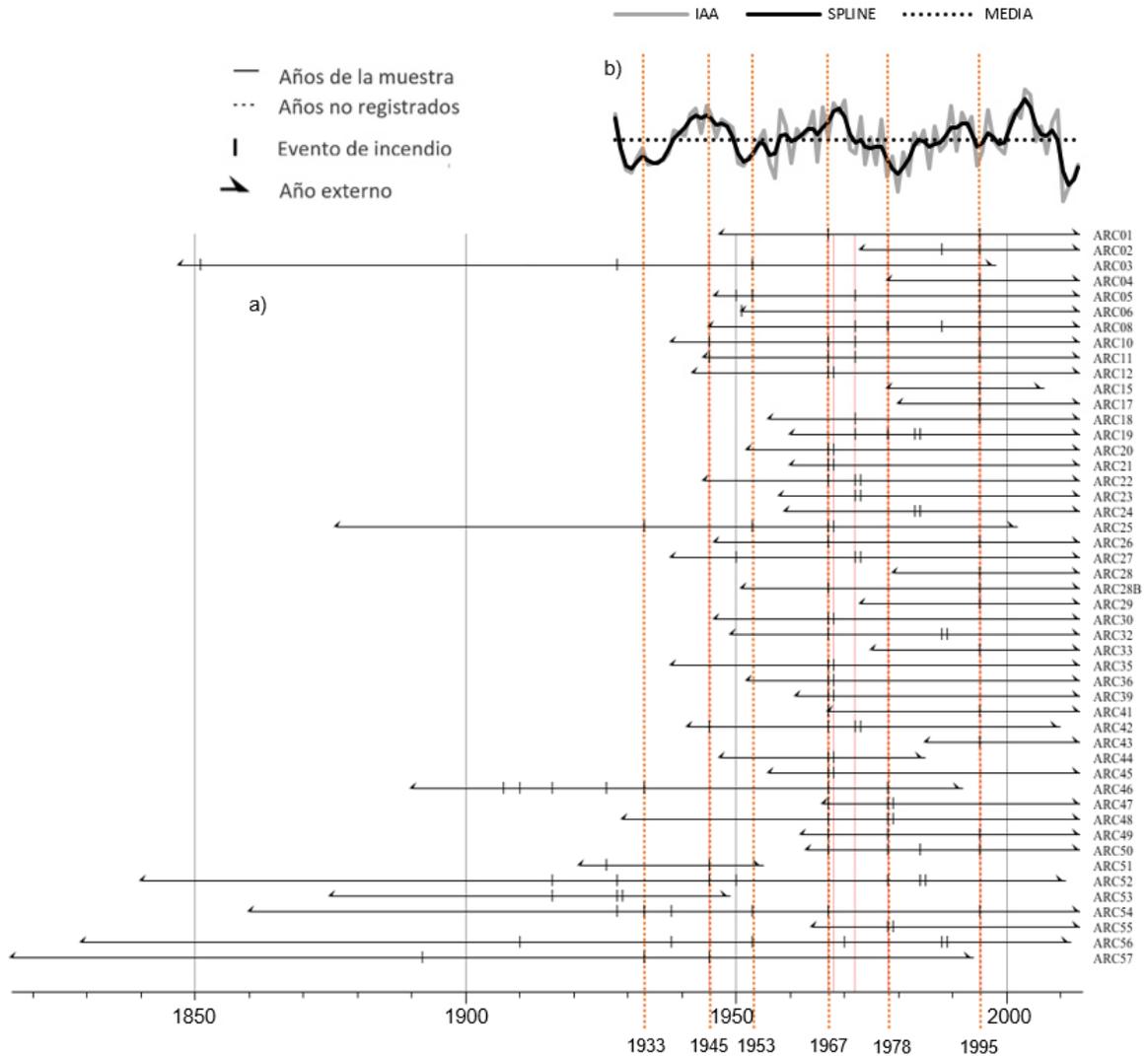


Figura 8. Gráfico de la relación frecuencia histórica de incendios (a) y su relación con el clima (b), en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, P.N., Durango.

En esta zona los incendios estuvieron relacionados en su mayoría a eventos de sequías, mientras que el incendio de 1985 además de presentarse durante un año seco, en el año anterior, se tuvieron altas precipitaciones, lo que provocó alta producción de material fino, lo que dio lugar a un incendio de alta intensidad, al presentarse en el 70% de las muestras, El efecto que tienen las sequias sobre la

presencias de incendios forestales se logra percibir en los años de 1933, 1953 y 1978, que fueron secos (Figura 8).

En general, el Ejido Adolfo Ruiz Cortines se vio afectado por incendios de gran intensidad en 1953, 1967, 1978, y el más intenso en 1995. Otros de los años con presencia de incidencia corresponden a 1933, 1967 y 1995, que estuvieron asociados a eventos extremos de ENSO (Figura 9).

En 1902 se tuvo registro del fenómeno evento Niño con severas sequías en gran parte de México e incendios de gran magnitud. Según datos estadísticos, 1945 fue el segundo año con más incendios forestales en México, atribuido a la presencia de ENSO en los años de 1942 y 1944, con la presencia de un Niño cálido en el invierno de 1942, que produjo lluvias abundantes, dando lugar a la formación de material combustible; de esta manera, al presentarse una sequía como la de 1944, dio lugar a la presencia de incendios para el año de 1945 en gran parte del territorio nacional, incluyendo al ejido Ruiz Cortines. En los años de 1988, 1994 y 1995 se registraron incendios intensos a nivel nacional, incendios que estuvieron precedidos por sequías ocasionadas por la presencia de la Niña (Cerano *et al.*, 2010).

La relación entre la incidencia de estos siniestros forestales en México y las condiciones de sequía para el período primavera-verano causadas por ENSO han sido bien documentadas (Heyerdahl y Alvarado, 2003; Román-Cuesta *et al.*, 2003).

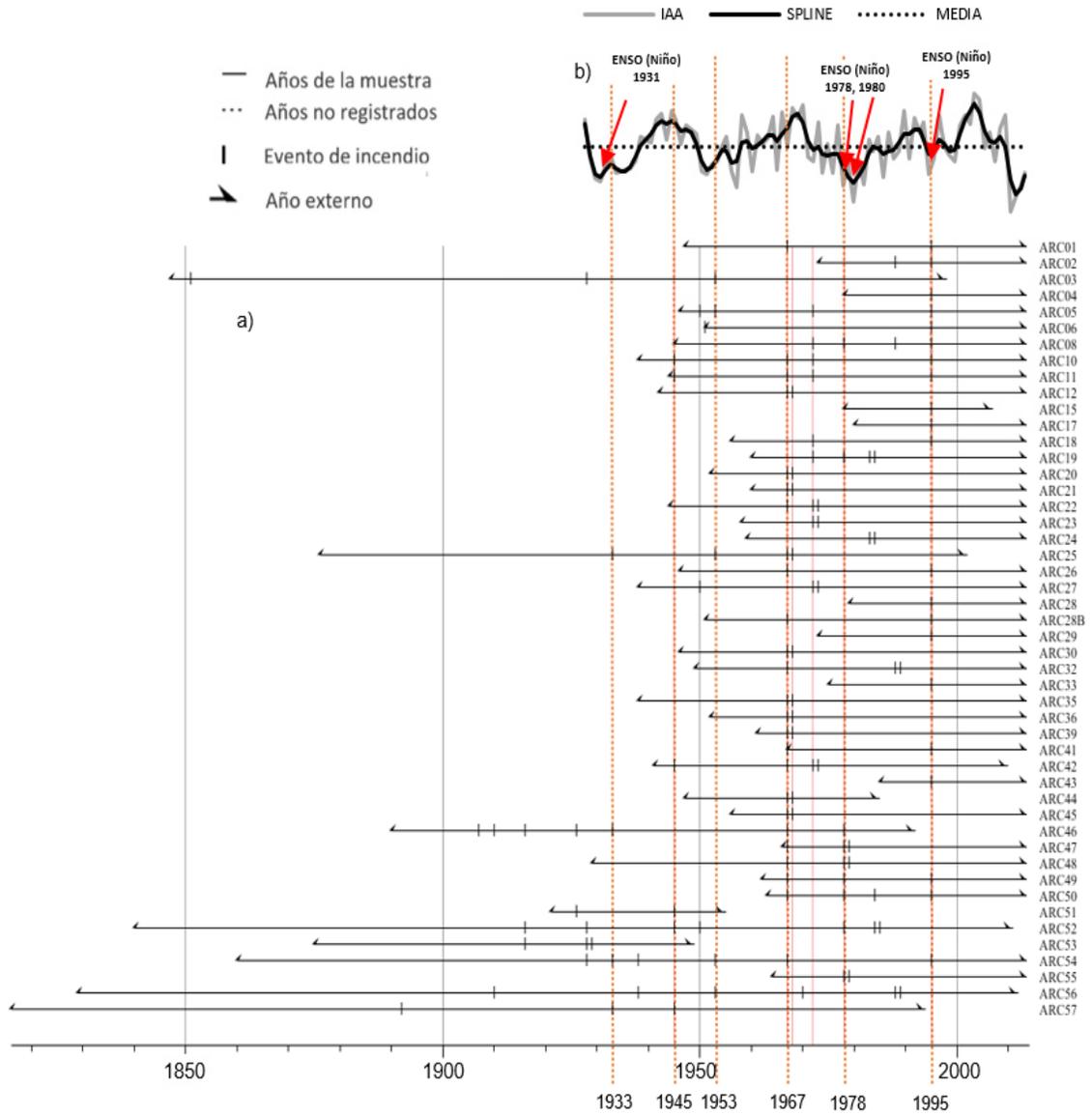


Figura 9. Gráfico de la relación frecuencia histórica de incendios (a) y su relación con el fenómeno El Niño (b), en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, P.N., Durango.

## **14.5 Conclusiones**

La cronología desarrollada de frecuencia de incendios cubrió las expectativas de extensión y abarcó el período de 1816 a 2014 (198 años).

Los incendios más severos se presentaron en los años de 1953, 1967, 1978 y 1995. Estos en general se presentaron en años secos y estuvieron precedidos por condiciones húmedas un año antes del incendio, lo que favoreció un incremento en combustible fino e incendios de alta intensidad.

Los incendios en este sitio se han visto interrumpidos a partir de 1995 debido a acciones estrictas de control de incendios; esta situación ha provocado un aumento en el material combustible y potencial elevado de incendios severos.

Los intervalos medios de frecuencia de incendios variaron en un rango de 6.27 a 11.64 años para los diferentes filtros y el intervalo medio de probabilidad de ocurrencia fluctuó de 6.23 a 11.68 años. Los valores de estos parámetros son similares a los encontrados en estudios de incendios en otros bosques de coníferas de la Sierra Madre Occidental, lo que implica que son afectados por fenómenos climáticos comunes, caso específico ENSO

Los incendios detectados ocurren en primavera (78%) y en menor cantidad (21%) en el verano. De esta manera, con fines de manejo y prevención de incendios, se debe de poner particular énfasis a este período.

La frecuencia de incendios encontrada para este bosque, señala la importancia de mantener incendios frecuentes, ya que la acumulación de combustible favorece incendios de alta intensidad, que normalmente tienen impactos severos en el ecosistema.

## 14.6 Bibliografía

Agee J. K. 1993. Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press, Washington, D.C. 477 pp.

Arno S. F. and K. M. Snack. 1977. A method for determining fire history in the coniferous forests in the mountain west. USDA Forest Service, General Technical Report INT-142.

Baisan, C. H. and T. W. Swetnam. 1990. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research* 20. pp 1559-1565.

Brown, J. K., 2000. Introduction and fire regimes. In: Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. General Technique Report. Department of Agriculture, Forest Service, Ogden, Utah: USA. Vol. 2. pp. 1- 8.

Cerano-Paredes J., J. Villanueva-Díaz., P. Z. Fulé. 2010. Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la Reserva "Cerro El Mohinora, Chihuahua" *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1:63–74.

Cerano-Paredes, J., J. Villanueva-Díaz., R. L. Cervantes-Martínez., P. Z. Fulé., L. Yocom., G. Esquivel-Arriaga., y E. Jardel-Peláez. 2015. Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Bosque (Valdivia)*. 36(1), 41-52.

CONAFOR. (2013). Reporte semanal de resultados de incendios forestales. Del 01 de enero al 26 de Diciembre del 2013.

Díaz R. M. A. 2011. Un marco integrado para el control y gestión de incendios forestales. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad

de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. San Nicolás de los Garza, Nuevo León. 106 p.

Falk, D. A.; T. W. Swetnam. 2003. Scaling rules and probability models for surface fire regimes in Ponderosa pine forests. In: Fire ecology, fuel treatments, and ecological restoration. Gen. Tech. Rep. RMRS-P-29. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp. 301-317.

FAO. 2006. Fire management global assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Department, Forest Resources Assessment Programmed Working Paper. 151 p.

Fulé, P. Z., J. Villanueva-Díaz and M. Ramos-Gómez. 2005. Fire regime in a conservation reserve in Chihuahua, México. *NRC Can. J. For. Res.* 35:320-330.

García E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köepen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Editorial. Offset Larios. México.

Gimeno-García, E. 1999. Efectos de la intensidad del fuego sobre las propiedades químicas del suelo y sus consecuencias en los procesos de erosión hídrica. Incendios experimentales en zonas mediterráneas. Tesis doctoral. Centro de Investigaciones sobre Desertificación - Universidad de Valencia.

Grissino-Mayer H. D. 2001. FHx2-software for analyzing temporal and spatial patterns in fire regimes from tree rings. *Tree-Ring Research* 57. pp 115-124.

Heyerdahl EK, E Alvarado. 2003. Influence of climate and land use on historical surface fires in pine-oak forests, Sierra Madre Occidental, Mexico. In Veblen TT, WL Baker, G Montenegro, TW Swetnam eds. Fire and climatic change in

temperate ecosystems of the Western Americas. New York, USA. Springer-Verlag. p. 196-217.

INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Pueblo, Nuevo, Durango.

Jardel, J. P., F. Castillo-Navarro, V. R. Ramírez, M. J. Chacón y M. O. Balcázar. 2004. Los incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. En: L Villers R. y J. López- Blanco (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México D.F., pp.147-164.

Jiménez, J. y Alanís, E. 2011. Análisis de la frecuencia de los incendios forestales en la Sierra Madre Oriental y Occidental del norte de México y sur de Estados Unidos de América. *Ciencia UANL* 14(3):255-263. ISSN: 2007-1175.

McKenzie, D. 2004. Historia del fuego y su relación con el clima. En: Villers R. L. y López-Blanco J. (Eds.). *Incendios forestales en México: Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias Atmósfera, UNAM. México, D.F., pp.13-28.

Molina, M. J. and Sanroque, P. 1996. Impact of forest fires on desertification processes: a review in relation to soil erodibility. In: *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*. Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 145-163.

Morrison, P. y F. Swanson. 1990. Fire history and pattern in a Cascade Range landscape. USDA Forest Service General Technical Report. Pacific Northwest Research Station. Portland. Oregon. PNW-CTR. 25.1.

Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F. and Ffolliott, P. F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122(1-2): 51-71.

Neary, D. G. and Ffolliot, P. F., 2005. Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water. USDA Forest Service. General Technology Reproduction RMRS-GTR-42-vol. 4. 250 p.

Rodríguez, T. D. A. 1996. *Incendios Forestales*. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi Prensa. México D.F. 617 pp.

Román-Cuesta, R. M., M. Gracia and J. Retana. 2003. Environmental and human factors influencing fire trends in ENSO and non-ENSO years in tropical Mexico. *Ecological Applications* 13(4):1177-1192.

Rodríguez, T. D. A. y P. Z. Fule. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire* 12:23-37.

Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago. IL. USA. 73 p.

Whelan, R. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press. 346 p.

## 15. CAPÍTULO III

### Reconstrucción de precipitación primavera-verano con anillos de crecimiento en bosques de coníferas en el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango.

#### 15.1 Resumen

Los anillos de crecimiento de *Pinus sp.* se emplearon como *proxy* para reconstruir la variabilidad histórica de la precipitación anual por 88 años (1927 a 2014) en el suroeste del estado de Durango. Se colectaron núcleos de crecimiento de 45 árboles, de los cuales 77 núcleos se procesaron con técnicas dendrocronológicas convencionales. La cronología mostró una inter-correlación ente series de 0.615, sensibilidad media de 0.463, autocorrelación de 0.328, entre otros parámetros estadísticos, indicando potencial de las especies estudiadas para estudios dendrocronológicos. Se generaron series de tiempo de madera temprana, tardía y de anillo total. El índice de ancho de anillo respondió a la precipitación acumulada promedio del período febrero-septiembre procedente de tres estaciones climáticas circunvecinas al sitio, por lo que se generó un modelo lineal para una reconstrucción de lluvia estacional primavera-verano. El Niño Oscilación del Sur (ENSO) fue el fenómeno circulatorio con mayor influencia en la variabilidad de precipitación interanual y multianual registrada en las estaciones de clima consideradas.

#### Abstract

*Pinus sp.* growth rings were employed as *proxy* to reconstruct the historical variability of annual rainfall for 87 years (1927 to 2014) in the southwestern state of Durango. 77 growth cores were collected, of which 45 cores were processed with conventional dendrochronological techniques. The chronology showed inter-correlation between sets 0.615, average sensitivity of 0.463, autocorrelation of .0.328, among other statistical parameters, indicating potential species for dendrochronology studies. Earlywood time series were generated, late wood and

total ring. The index ring width responded to the accumulated rainfall average for the period from February to September from three weather stations surrounding the site, therefore, a linear model was generated for a reconstruction of spring-summer rain. The “Niño” Southern Oscillation (ENSO) circulatory phenomenon was the most influential in the variability of annual and multi-year rainfall recorded at weather stations considered.

## 15.2 Introducción

En la actualidad el cambio climático es un fenómeno que preocupa a nuestra sociedad, debido al incremento del CO<sub>2</sub> y la modificación de variables climáticas como precipitación y temperatura, situación que impacta las actividades productivas y afecta la estabilidad de los ecosistemas (Morales *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2013; IPCC, 2014), estas fuentes meteorológicas a la vez se utilizan para estudiar los cambios del clima global a través del tiempo y su posible comportamiento a futuro, las cuales generalmente proceden de registros climáticos muy cortos, de pobre calidad y representatividad (Méndez *et al.*, 2008). Para entender esta variabilidad es importante contar con información paleoclimática, que se extienda por siglos en el pasado y que nos permita discriminar la variabilidad natural, de aquella atribuida a acciones antropogénicas. En este sentido, una de estas fuentes de información climática son las series dendrocronológicas para reconstrucciones dendroclimáticas (Fritts, 1976).

Desde hace más de una década para el norte de México se ha desarrollado una red dendrocronológica, que actualmente es cercana a 200 cronologías. Esta red se integra de diversas especies de coníferas, con anillos de crecimiento bien diferenciados y donde es posible desarrollar series de crecimiento de madera temprana, tardía y de anillo total (Fritts, 1976; Villanueva *et al.*, 2011). No obstante la cobertura de esta red dendrocronológica es preciso el desarrollo de una red dendrocronológica más extensa en tiempo y espacio, que permita

analizar con más detalle la variabilidad hidroclimática y el impacto de fenómenos de circulación general.

La cuenca alta del río San Pedro Mezquital genera el agua que fluye por el cauce principal de este río y desemboca en Marismas Nacionales (De la Lanza *et al.*, 2012). La comprensión de los efectos de la variabilidad de la precipitación es importante para la gestión de los recursos hídricos, que requiere de un conocimiento detallado y fiable de las condiciones hidroclimáticas a nivel interanual y multianual. La presencia de bosques de coníferas en esta región de Durango, le hacen ideal para realizar reconstrucciones dendroclimáticas (Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2014).

Con base a lo anterior, los objetivos del capítulo fueron: a) realizar una reconstrucción estacional de la precipitación para el suroeste de Durango con base en series de tiempo dendrocronológicas de diversas especies de pino y b) determinar el impacto de fenómenos de circulación general en la variabilidad interanual y multianual de la precipitación en el suroeste de Durango.

### **15.3 Materiales y métodos**

#### Localización del área de estudio

El Ejido Adolfo Ruiz Cortines se localiza en la región suroeste del estado de Durango, dentro de la Sierra Madre Occidental a 110 km de la ciudad de Durango, su acceso se ubica por la carretera Durango-Mazatlán, ocupando una superficie de 4223.86 ha. Geográficamente se localiza entre los 23° 41' y los 23° 45' de latitud Norte y entre los 105° 14' y los 105° 19' de longitud Oeste (Figura 10).

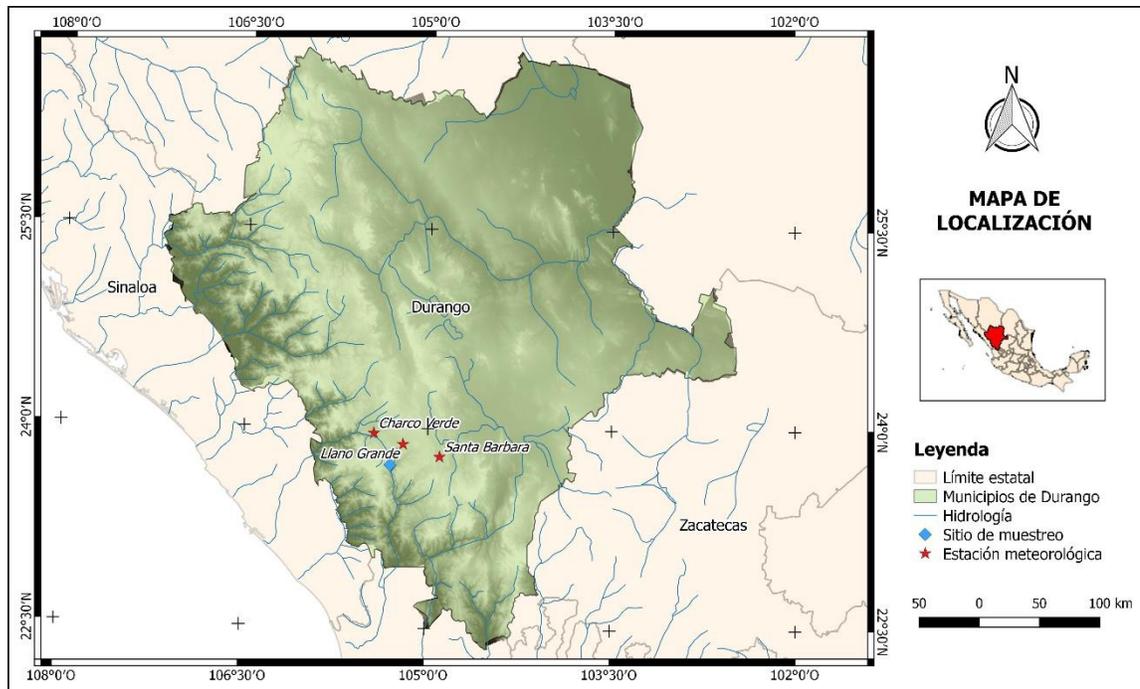


Figura 10. Localización del área de estudio

El predio se ubica en la Provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, específicamente en la subprovincia de Gran Meseta y Cañones Duranguenses y Mesetas Cañadas del Sur. La altura sobre el nivel del mar varía entre 2450 y 2650 m. Según la clasificación climática de Köppen adaptada para México por García (1964), los climas presentes en el predio son, C(W2): Clima templado subhúmedo, con lluvias en verano con una media de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm. C(E)(W2): Semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Con una media de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm.

De acuerdo con la información contenida en la carta edafológica escala 1:250,000 (INEGI, 2005) en el predio, se localizan los tipos de suelo Litosol y Regosol. Las comunidades vegetales más importantes del predio están compuestas por bosques mezclados con especies de los géneros: *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas; siendo los tipos de vegetación

más representativos el Bosque de Pino (P), Bosque de Pino-Encino (Pq) y el Bosque de Encino-Pino, (Qp).

La obtención de núcleos de crecimiento o virutas de las especies arbóreas seleccionadas con fines dendroclimáticos, se realizó con árboles maduros (80%) y jóvenes (20%); situación que permite captar la mayor extensión de crecimientos y facilitar el fechado de los años más recientes (Fritts, 1976).

Los núcleos de crecimiento se extrajeron con ayuda de un taladro de Pressler de 5 y 12.1 mm de diámetro interno y extensión variable (45–50 cm). El proceso para obtener la viruta de un árbol en este caso fue seleccionar una parte sana y sólida en la sección del tronco, aproximadamente a los 0.30 m de altura.

Las virutas extraídas con la barrena son frágiles y deben manejarse con cuidado, al momento de la extracción se almacenaron en popotes de plástico con pequeñas perforaciones previamente realizadas para permitir aireación de la muestra y evitar problemas de pudrición por efecto de hongos.

Posterior a esto, se registró la clave del sitio ARC (Adolfo Ruiz Cortines), número de muestra, (01A, 01B), fecha de la toma de muestra, diámetro normal y observaciones relacionadas con daños físicos, orientación de la muestra, daño por incendio, plaga, entre otras. Los núcleos de crecimiento se montaron y pegaron en secciones de madera; posteriormente, estas se pulieron con grados de lija de 120 a 1200.

Las muestras se fecharon y midieron en el laboratorio de Dendrocronología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Gómez Palacio, Durango, y con el apoyo de un estereomicroscopio trinocular de alta resolución modelo SZ2-ILSI marca Olympus Corporation, los anillos se contaron y fecharon al año exacto de su formación, mediante el uso de técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968). Una vez fechadas las muestras, cada anillo anual o total (RW, siglas en inglés) se seccionaron en dos

bandas de crecimiento distinto, la madera temprana (EW, siglas en inglés) de células claras y grandes y madera tardía (LW, siglas en inglés) con células oscuras y pequeñas. El ancho de cada banda puede estar influenciado por las condiciones climáticas dominantes durante su formación, por tal motivo se desarrollaron cronologías separadas de EW, LW y RW. Las bandas de crecimiento, se midieron individualmente con un sistema de medición VELMEX con precisión de 0.001 mm, equipo integrado a un procesador PC y un estereomicroscopio trinocular (Robinson y Evans, 1980) (Figura 11). El cofechado, calidad de la respuesta climática y exactitud de la medición de cada anillo, se verificó con el programa COFECHA, que correlaciona períodos de 50 años con traslape entre períodos de 25 años (Holmes, 1983, Grissino-Mayer, 2001). Las tendencias biológicas (competencia, liberación) y geométricas (área de fuste se incrementa con la edad) no relacionadas con clima, se removieron con el programa ARSTAN, con lo que se generó series estandarizadas de índice de anillo, madera temprana y tardía con media de 1.0 y varianza homogénea produciendo tres versiones, cronología Estándar, Residual y Arstan (Fritts, 1976; Cook, 1986).



Figura 11. Medición individual de muestras con un sistema de medición VELMEX

La influencia del clima en el crecimiento estacional de las especies utilizadas de determinó con la base climática ERIC (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2009), para ello se seleccionaron aquellas estaciones climáticas más cercanas al área de estudio. La relación entre las cronologías y datos de precipitación, se obtuvo mediante análisis de correlación en el programa Microsoft Excel. De esta manera, se definieron los meses o el período estacional en el cual estadísticamente se encontró la mayor correlación. Una vez definido este periodo, se generó un modelo entre los datos observados de precipitación y el índice de ancho de anillo, mediante el uso del programa Microsoft Excel. Con el modelo se reconstruyó la precipitación del período que cubren las estaciones climáticas, y con la subrutina VERYFY5 del paquete de Programas Dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés) se realizó una calibración entre la cronología y los registros de precipitación y posteriormente con la otra mitad, una verificación (Fritts, 1991). El modelo de

transferencia generado se utilizó para desarrollar la reconstrucción de precipitación en la longitud total de la cronología.

Para analizar el impacto de la variabilidad climática detectada en la reconstrucción, los índices de madera temprana de la versión residual, se compararon con datos registrados de fenómenos como El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), Índice Multivariado de ENSO (MEI, por sus siglas en inglés), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) e Índice de Oscilación del Sur (SOI, por sus siglas en inglés), estos fenómeno tiene un alto impacto en la variabilidad de la precipitación invernal en México (Stahle *et al.*, 1998; Díaz *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2014).

#### **15.4 Resultados y discusión**

La serie dendrocronológica desarrollada en este estudio de una población inicial de 45 árboles muestreados y 90 núcleos de crecimiento disponibles, se fechó un total de 77 radios, que equivalen al 85.5% de la muestras totales; el resto de muestras se descarto por presentar problemas de crecimiento, debido a disturbios causados por incendios, daños de rayos, insectos u otros factores como aprovechamientos previos. La serie de anillo total se extendió de 1927 a 2014 (88 años de longitud). Lo anterior sugiere que el área de estudio tiene arbolado joven, en comparación con otras poblaciones del norte de México, donde se desarrollan individuos que superan los 400 años (Constante *et al.*, 2009).

Parámetros dendrocronológicos procedentes de los programas COFECHA y ARSTAN indican que las muestras tiene alto potencial dendrocronológico, como lo indica la correlación significativa entre series de ( $r=0.615$ ,  $p<0.05$ ), sensibilidad media de 0.463, y una autocorrelación de 0.28 (Fritts, 1976; Holmes, 1983). Además, se obtuvo una. Estos parametros no son limitantes para la

reconstrucción de variables climáticas, como la precipitación (Villanueva *et al.*, 2008; Constante *et al.*, 2009; Villanueva *et al.*, 2014). El gráfico generado muestra la variabilidad ambiental a lo largo del período de 1927 a 2014; una línea suavizada de 5 años (Spline) para resaltar los eventos de baja frecuencia y el tamaño de muestra en los diferentes segmentos de la cronología (Figura 12).

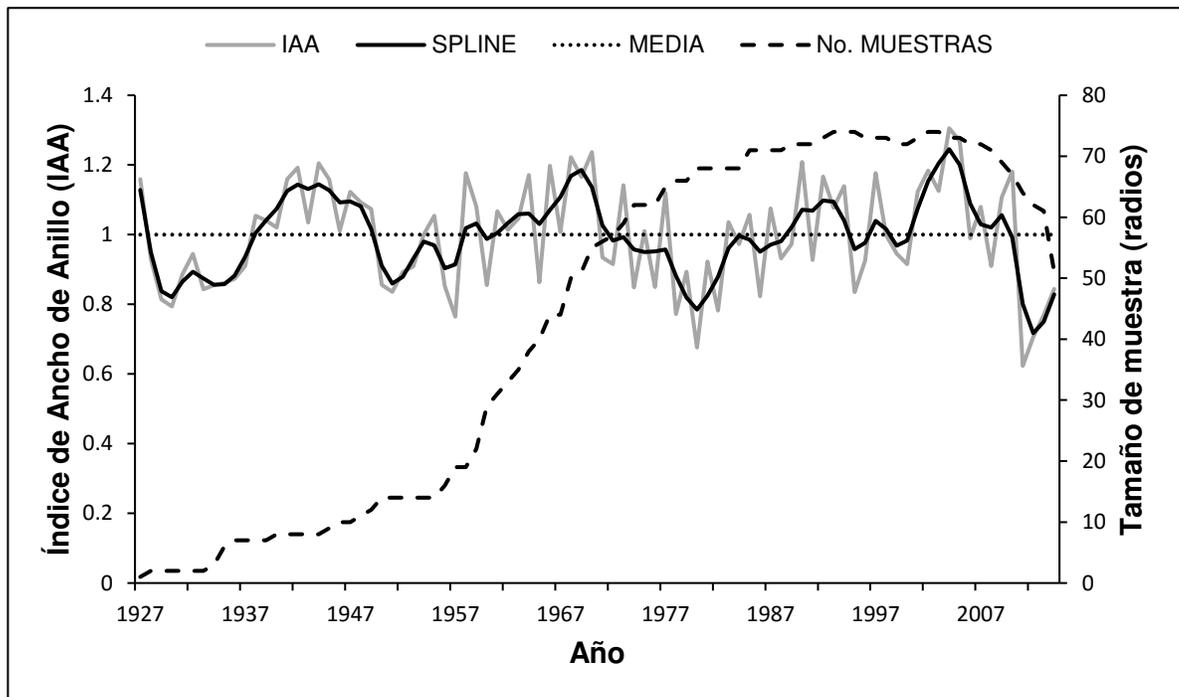


Figura 12. Serie dendrocronológica estándar de anillo total y tamaño de muestra empleado para generar cada uno de los valores de los índices anuales. La serie de tiempo se extiende de 1927 a 2014 (88 años).

#### Función de Respuesta

Se desarrolló una función de respuesta entre el índice de ancho de anillo y la precipitación a partir de los registros de nueve estaciones climáticas distribuidas dentro de la cuenca del río San Pedro-Mezquital. Los análisis de correlación indicaron que el mejor periodo se presentó de 1954 a 1990; además, que sólo

tres de las estaciones climáticas (Charco Verde, Llano Grande y Santa Bárbara) tuvieron una asociación positiva con la serie dendrocronológica estándar de anillo total en el período febrero-septiembre del año actual de crecimiento. Con fines de analizar la respuesta climática de la serie de tiempo obtenida, se promediaron estas estaciones climáticas generando una estación climática representativa regional (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estaciones consideradas para la reconstrucción de la precipitación en el periodo febrero-septiembre (1954-1990).

Estación Climática	Latitud (Grados)	Longitud (Grados)	Altitud (m)	Período de registro (años)
Charco Verde	23.96	-105.44	2,163	1954-1990
Llano Grande	23.88	-105.20	2,406	1954-1990
Santa Bárbara	23.79	-104.90	2,316	1961-1990

La serie dendrocronológica RWI se correlacionó con los registros de precipitación acumulada de las estaciones seleccionadas en el período (1954-1990); de este modo, se determinó que la precipitación acumulada del periodo febrero-septiembre se relaciona significativamente ( $r= 0.70$ ,  $p<0.01$ ) con el RWI. Este periodo se seleccionó para utilizarlo con fines de reconstrucción dendroclimática; además, por mostrar la mayor correlación e incluir el período del lluvia de verano.

#### Reconstrucción de la precipitación

La asociación entre la cronología residual de anillo total y la precipitación acumulada febrero-septiembre del período 1954-1990, produjo una correlación de 0.70 ( $p<0.01$ ), lo cual implica que los crecimiento de la banda de madera temprana, explica el 49% de la variación en la precipitación que ocurre en el período febrero-septiembre (Figura 13).

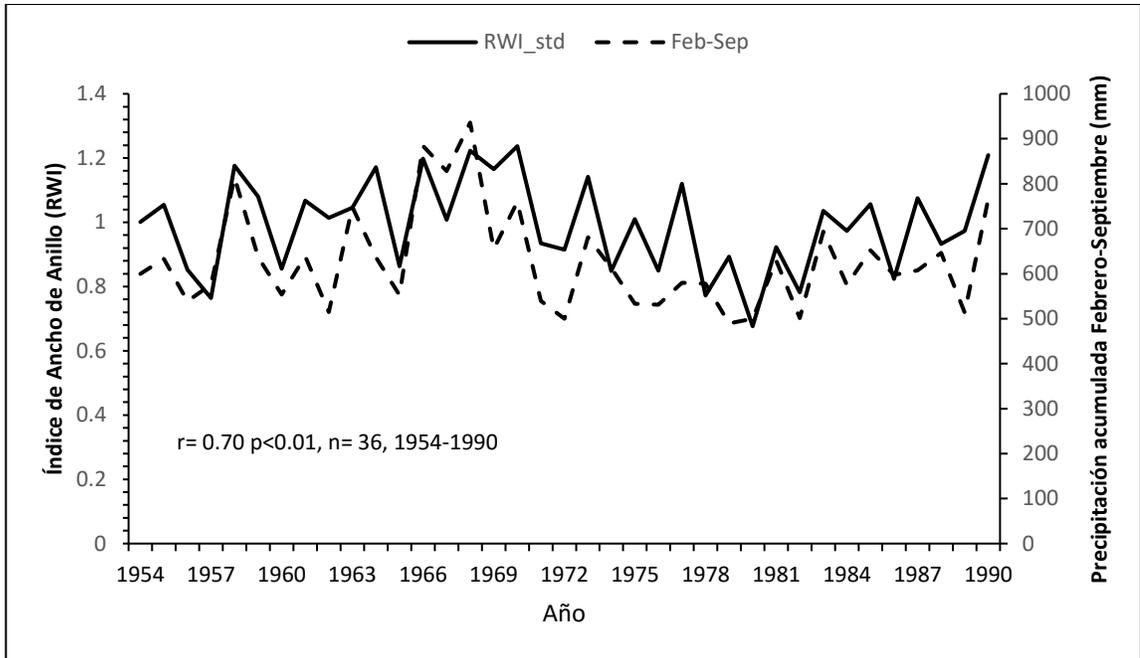


Figura 13. Relación entre el índice ancho de anillo (RWI), versión residual y la precipitación acumulada promedio febrero-septiembre con registros de tres estaciones climáticas.

El tiempo de registros disponibles (1954-1990) se dividió en dos sub-períodos, uno para calibración (1954-1972) y otro para verificación (1973-1990); ambos sub-períodos fueron significativos para diversas pruebas estadísticas (prueba de “t”, reducción del error, prueba de signos, primera diferencia mínima, correlación), se utilizó el período total de datos disponibles (1954-1990) con lo que se generó la ecuación de regresión para la reconstrucción de los datos de precipitación estacional (Cuadro 4, Cuadro 5)

Cuadro 4. Modelo lineal generado para la reconstrucción estacional de precipitación invierno–primavera-principio de verano (febrero-septiembre)

Período	R <sup>2</sup>	Coeficiente	Error Estándar	Prueba de “t”	Probabilidad
1954-1990	0.50	96.05533478	93.137	1.031	0.310
		536.8236152	92.866	5.781	0.000

Cuadro 5. Análisis de varianza del modelo de reconstrucción

Variable	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Regresión	221265.901	1	221265.901	33.4158643	1.65978E-06
Residual	225133.803	34	6621.582		
Total	446399.705	35			

La ecuación de regresión lineal generada con fines de reconstrucción fue la siguiente:

$$Y_i = 96.05533478 + 536.8236152 * X_i$$

Donde:

$Y_i$  = Valor reconstruido de precipitación estacional para un año determinado

$X_i$  = Índice de ancho de anillo de la cronología residual (RWI)

#### Calibración y verificación

La calibración es la asociación entre dos variables. Para este caso el índice de ancho de anillo es la variable independiente y los datos de precipitación promedio mensual representan la variable dependiente, con los cuales el índice se calibrará. El éxito de la calibración se mide con el porcentaje de la variación que la variable independiente (Índice de anillo total) explica de la variable dependiente reconstruida (precipitación). El objetivo de la verificación es validar la

reconstrucción, mientras que la calibración únicamente examina la relación entre ambas variables.

En ese sentido para lograr validez estadística de un modelo de reconstrucción climática, es necesario desarrollar un proceso de verificación. Este método se desarrolló mediante la subrutina “VERIFY” de la librería de programas dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés) al utilizar datos reconstruidos de precipitación del período de calibración; es decir, los datos reconstruidos mediante la ecuación de regresión del período 1954-1990. Los resultados del análisis indicaron que tanto el período de calibración como el de verificación cumplieron con las diversas pruebas estadísticas involucradas, considerando válido en términos estadísticos a fin de reconstruir la precipitación en el periodo total de la serie dendrocronológica (1927-2014) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Pruebas estadísticas del modelo de la reconstrucción de precipitación

Modelo	Período	Correlación Pearson <sup>1</sup>	Reducción del Error <sup>2</sup>	T-value <sup>3</sup>	Producto de signos <sup>4</sup>	Primera diferencia significativa <sup>5</sup>
Calibración	1954-1972	0.657*	0.138	2.708*	8	5
Verificación	1973-1990	0.722*	0.621*	3.005*	1*	2*

<sup>1</sup>Medida de la relación entre dos variables aleatorias cuantitativas y es independiente de la escala en las que estén medidas; <sup>2</sup>Primera diferencia de los datos observados y reconstruidos ( $t - t_{-1}$ ), la transformación remueve tendencias que pueden afectar el coeficiente de correlación (Fritts, 1976); <sup>3</sup>Valores de la prueba de “t” entre las medias de los valores observados y reconstruidos (Ott, 1988); <sup>4</sup>Valores de salida de la media de cada serie (Fritts, 1976). Las medias se substraen de cada serie y los residuales se multiplican; <sup>5</sup>No existe una prueba formal de significancia para este estadístico, pero cualquier valor positivo indica que la reconstrucción contribuye únicamente con información paleoclimática  
\*significativo,  $p < 0.05$

### Análisis de la variabilidad climática

El período de precipitación reconstruido se extendió de 1927 a 2014 (88 años), donde se observa la presencia de sequías recurrentes, entre las cuales las más intensas y prolongadas se determinaron para los períodos 1930-1936, 1950-1953, 1956-1957, 1960, 1965, 1971-1972, 1974-1976, 1979-1982, 1986, 1988-

1989, 1991, 1995-1996, 1999-2000, 2008 y la más reciente del 2011 al 2014 ; donde los años con sequía extrema ocurrieron en 1957, 1978, 1980, 1982, 2011, 2012 y 2013. Los períodos húmedos fueron menos frecuentes, de menor extensión, presentándose los años extremadamente húmedos en 1968, 1970 y 2004 (Figura 14).

Reconstrucciones dendroclimáticas e información procedentes de archivos históricos, indican la presencia de sequías en gran parte de los períodos detectados para esta reconstrucción (Díaz *et al.*, 2002; González-Elizondo *et al.*, 2005; Villanueva *et al.*, 2005). Las intensas sequías del decenio de 1950 y mediados de 1960 (1950-1965), fueron eventos de sequía que impactaron severamente a la región Norte del país, y gran parte del suroeste de los Estados Unidos de América (Florescano y Swam, 1995). Este evento considerado de las peores sequías del siglo XX, provocó desempleo y migración masiva de las áreas rurales hacia los Estados Unidos de América para emplearse como “braceros” (Cleaveland *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2012). Las sequías que se presentaron, durante el período 1950-1965, en el estado de Durango han sido las más largas que se tengan registradas (Stahle *et al.*, 1999; Cleaveland *et al.*, 2003).

Las sequías de las últimas décadas como las ocurridas de 1970 a 1982, 1994 a 1996, 1998 a 2000 y 2007 a 2013 se tienen documentadas con registros climáticos instrumentales (INEGI, 2013); cabe mencionar, que la red dendroclimática disponible para el norte de México, también reporta estos años, particularmente los años 2011 y 2012, donde la sequías se presentó en varios estados del norte del país, viéndose seriamente afectada la producción agrícola y pecuaria (Giner *et al.*, 2011).

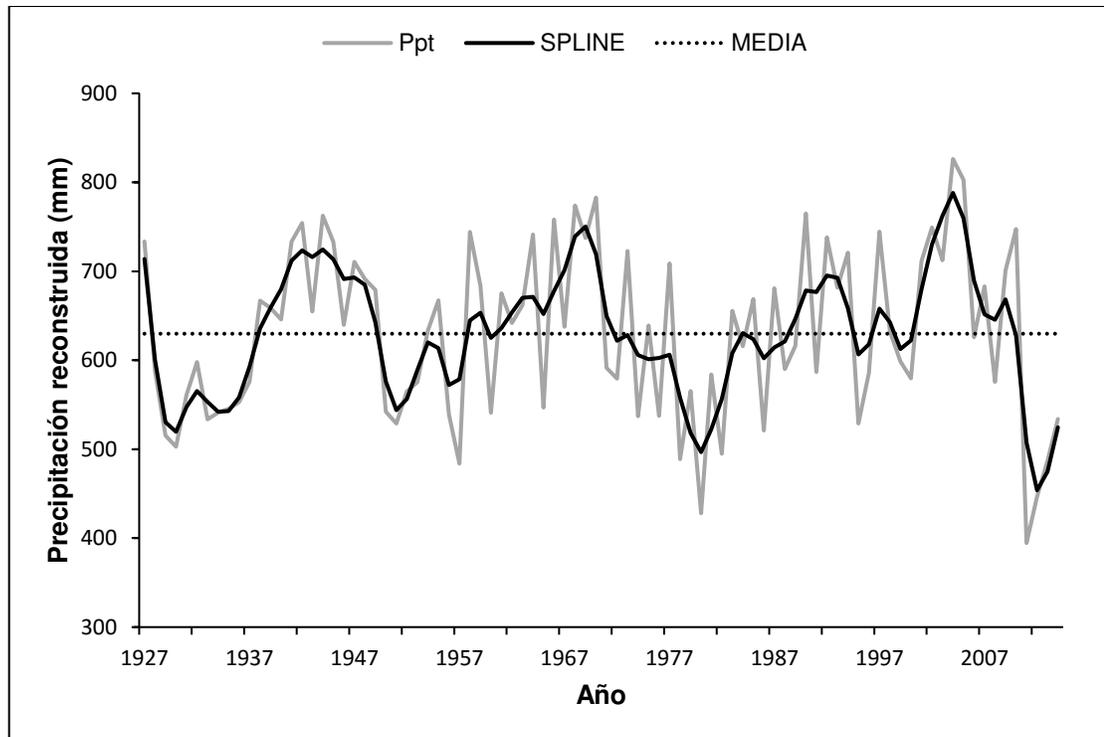


Figura 14. Precipitación reconstruida febrero-septiembre para el Ejido Adolfo Ruiz Cortines, P. N. Durango. La reconstrucción se extiende de 1927 a 2014. La línea oscura representa una línea flexible para resaltar eventos de baja frecuencia cada cinco años.

El comportamiento de la variabilidad climática en la región norte de México está influenciado por diversos fenómenos atmosféricos circulatorios y uno de los más importantes es ENSO. Este efectos se magnifica durante la fase cálida (El Niño), que se caracteriza por un incremento en la precipitación invernal (Stahle *et al.*, 1998); sin embargo, durante su fase fría (La Niña) se presentan sequías, en ocasiones con varios años de duración (Magaña *et al.*, 2004). El Niño y La Niña son los ejemplos más evidentes de la variabilidad climática global parte fundamental de un vasto y complejo sistema de fluctuaciones climáticas, con un intervalo medio de duración de cuatro años y un rango de 2 a 7 años (Trenberth, 1997).

En el siguiente cuadro se muestra la correlación que existió entre la cronología desarrollada y diferentes fenómenos climáticos que impactan el norte de México (Cuadro 7).

Cuadro 7. Relación entre la cronología de madera temprana del Ejido Adolfo Ruiz Cortines, Pueblo Nuevo, Durango y diferentes fenómenos climáticos

Variable	Período (años)	Correlación*	Fuente
Niño 3.4 Invernal (Dic-Feb)	1927 -2015 (88)	0.36	NOAA, 2016
MEI invernal (Dic-Feb)	1951 -2015 (64)	0.36	NOAA, 2016
PDO invernal (Dic-Feb)	1927 -2015 (88)	0.24	NOAA, 2016
SOI Invernal (Dic-Feb)	1951 -2015 (64)	-0.38	NOAA, 2016

### 15.5 Conclusiones

El modelo estadístico desarrollado entre la serie de crecimiento de anillo total en su versión residual y la precipitación estacional febrero-septiembre, mostraron una correlación significativa ( $r=0.70$ ;  $p<0.05$ ); situación que permitió generar un modelo lineal con fines de reconstrucción de variables climáticas.

El aprovechamiento forestal del sitio, provocó que la cronología sólo cubriera el período de 1927 a 2014 (88 años).

Muchas de las sequías detectadas en los registros climáticos y reconstrucciones dendroclimáticas previamente desarrolladas para la región, estuvieron presentes en este estudio, lo que implica que la variabilidad climática que impacta a este sitio, tiene el efecto de fenómenos climáticos más extensos como ENSO que influyen el clima del norte de México; situación que fue verificada al detectar relaciones significativas con los índices de este fenómeno.

El potencial dendrocronológico de las especies arbóreas estudiadas constituye información de utilidad para expandir en tiempo y espacio este tipo de estudios, los cuales son de gran importancia para un manejo sustentable de los recursos

hídricos, de los cuales dependen poblaciones ubicadas en el estado de Durango y en la costa del Pacífico.

## **15.6 Bibliografía**

Cerano P, J., Villanueva D., J., Valdez C, R. D., Arreola A, J. G., y Constante G, V. 2011. El Niño Oscilación del Sur y sus efectos en la precipitación en la parte alta de la cuenca del río Nazas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. 17(SPE.)*, 207-215.

Chen, F., Yuan, Y. J., Wei, W. S., Fan, Z. A., Yu, S. L., Zhang, T. W., & Qin, L. 2013. Reconstructed precipitation for the north-central China over the past 380 years and its linkages to East Asian summer monsoon variability. *Quaternary International*, 283, 36-45.

Cleaveland, M. K., D. W. Stahle., M. D Therell., J, Villanueva D., B. T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, México. *Climatic Change* 59: 369-388.

Constante García, V., J. Villanueva D., J. Cerano P. y J. Estrada A. 2010. Parámetros para definir el potencial dendrocronológico. Folleto Técnico No. 19. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 40 p.

De la Lanza Espino, G., J.L. Carbajal P., S.A. Salinas R. y J.E. Barrios O. 2012. Medición del caudal ecológico del río Acaponeta, Nayarit, comparando distintos intervalos de tiempo. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 78: 62-74.

Díaz, S.C., M.D. Therrell, D.W. Stahle y M.K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992. *Climate Research* 22: 237-244.

Fritts, H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press. London. 567 p.

Fritts, H.C. 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. University of Arizona Press. Tucson, Az. 277 p.

Cook, E. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47:37-59.

Cook, E. R., Anchukaitis, K. J., Buckley, B. M., D'Arrigo, R. D., Jacoby, G. C., & Wright, W. E. 2010. Asian monsoon failure and megadrought during the last millennium. *Science*, 328(5977), 486-489.

Florescano, E., y Swan, S. 1995. *Breve historia de la sequía en México*. Universidad Veracruzana Dirección Editorial.

Giner, R.A., L.C. Fierro y L.F. Negrete. 2011. Análisis de la problemática de la sequía 2011-2012 y sus efectos en la ganadería y agricultura de temporal. CONAZA, Saltillo, Coahuila. 12 p.

González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Navar, M.S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre y J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: a 1681-2001 rain reconstruction. *Forest Ecology and Management* 213: 39-53.

Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating cross dating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205-221.

Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.

INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Pueblo, Nuevo, Durango.

INEGI. 2013. Panorama agropecuario en Durango: Censo agropecuario 2007. México, D.F.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2009. Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC). Software. Jiutepec, Mor., México. s/p.

IPCC. 2014. Climate change: mitigation of climate change. IPCC working group III contributions to AR5.

Magaña Rueda, V. 2004. *Los impactos del niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, 229 p.

Méndez, J., J. J. Návar y V. González. 2008. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 65:38-55.

Morales, M. S., Christie, D. A., Villalba, R., Argollo, J., Pacajes, J., Silva, J. S., y Soliz Gamboa, C. C. (2012). Precipitation changes in the South American Altiplano since 1300 AD reconstructed by tree-rings. *Climate of the Past*, 8(2), 653-666.

NOAA Niño 3.4 Niño Oscilación del Sur, 2016  
([http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.anom.data](http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.anom.data))

NOAA. Multivariate ENSO index. MEI. 2016.  
(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>)

NOAA. Southern Oscillation Index. SOI. 2016  
(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>)

Sánchez Cohen, I., U. Oswald Spring, G. Díaz padilla, J. Cerano Paredes, M.A. Insunza Ibarra, R. López, López y J. Villanueva Díaz. 2012. Forced migration, climate change, mitigation and adaptation policies in Mexico: some functional relationships. *International Migration*, Doi: 10.1111/J. 1468-2435.2012.00743.x

Stahle, D.W., R.D. Dárrigo, P.J. Krusic, M.K. Cleaveland, E.R. Cook, R.J. Allan, J.E. Cole, R.B. Dunbar, M.D. Therrell, D.A. Guy. M.D. Moore, M.A. Stokes, B.T. Burns, J.Villanueva-Diaz y L.G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 70(10): 2137-2152.

Stokes, M.A. y T.L. Smiley.1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois. 73 p.

Trenberth, K. E. 1997. The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78. 2771-2777 pp.

Villanueva-Diaz, J., B.H. Luckman, D.W. Stahle, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland, J. Cerano-Paredes, G. Gutierrez-Garcia, J. Estrada-Avalos y R. Jasso-Ibarra. 2005. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera. *Dendrocronologia* 22(3): 215 – 223.

Villanueva Díaz, J., J. Cerano P., D.W. Stahle, J. Estrada A. y V. Constante G. 2008. Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco y reconstrucciones de precipitación y flujo en México. Folleto Científico No. 23. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 49 pp.

Villanueva Díaz, J., J. Cerano P., D.W. Stahle, B.H. Luckman, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland y P.Z. Fulé. 2011. La dendrocronología y reconstrucciones paleoclimáticas en el norte-centro de México, In: M. Caballero, B. Ortega G. (Compiladoras), *Escenarios de cambio climático: Registros del Cuaternario en*

América Latina I. UNAM, Instituto de Geofísica, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial. México, D.F. Pp. 47-72.

Villanueva Díaz, J., J. Cerano P., S. Rosales M., J. C. Arocena L., D.W. Stahle., J. A. Ruiz C., y A. R. Martínez S. 2014. Variabilidad hidroclimática reconstruida con anillos de árboles para la cuenca alta del Río Mezquital, Durango. Revista mexicana de ciencias agrícolas, (10), 1897-1912.