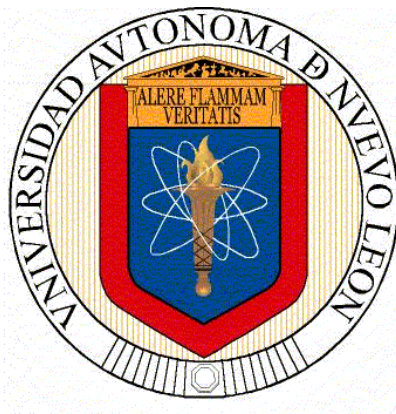


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**HISTORIAL DE INCENDIOS Y RECONSTRUCCIÓN DE LA
PRECIPITACIÓN EN UN BOSQUE DE PINO DEL SUR SURESTE
DEL ESTADO DE JALISCO**

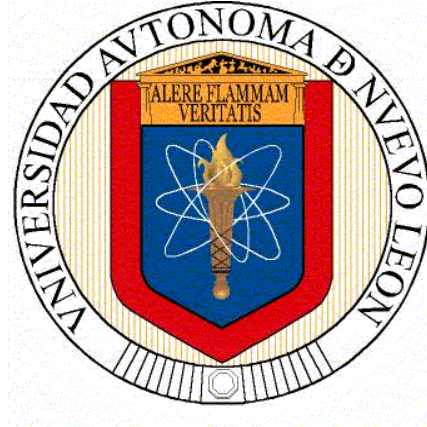
POR

ING. ÁNGEL ALFREDO COLAZO AYALA

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

DICIEMBRE, 2016

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



**HISTORIAL DE INCENDIOS Y RECONSTRUCCIÓN DE LA
PRECIPITACIÓN EN UN BOSQUE DE PINO DEL SUR SURESTE
DEL ESTADO DE JALISCO**

POR

ING. ÁNGEL ALFREDO COLAZO AYALA

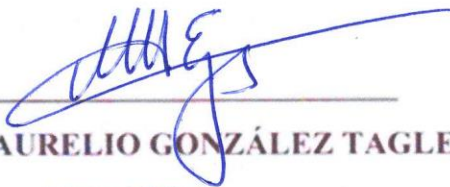
**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

DICIEMBRE, 2016

**HISTORIAL DE INCENDIOS Y RECONSTRUCCIÓN DE LA
PRECIPITACIÓN EN UN BOSQUE DE PINO DEL SUR SURESTE
DEL ESTADO DE JALISCO**

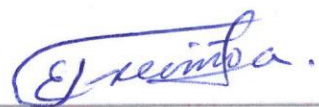
Aprobación de tesis




DR. MARCO AURELIO GONZÁLEZ TAGLE
DIRECTOR



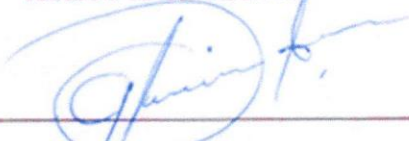
DR. EDUARDO ALANÍS RODRÍGUEZ
ASESOR



DR. EDUARDO JAVIER TREVIÑO GARZA
ASESOR



DR. JOSÉ VILLANUEVA DÍAZ
ASESOR EXTERNO



M.C. JULIÁN CERANO PAREDES
ASESOR EXTERNO

Diciembre, 2016

Manifiesto que la presente investigación es original y fue realizada para obtener el grado de maestría en ciencias forestales, donde se utiliza la información de otros autores otorgándole los créditos correspondientes.



Ing. Ángel Alfredo Colazo Ayala

AGRADECIMIENTOS

Primeramente gracias a Dios, por ayudarme a culminar esta etapa de mi vida tan importante gracias por cada momento que permitiste vivir, por acompañarme y guiarme, por ser mi fortaleza y principalmente por mantener mi familia unida y apoyándome en la caminata de este sendero.

A mis padres Ramiro Colazo y Raquel Ayala, que con su amor y enseñanza han sembrado en mí, la semilla que se necesitan para luchar, vivir con anhelo y felicidad, quienes siempre me ofrecen su amor de padres, a mi padre pues en el vi reflejado el deseo de superación y responsabilidad, además de sus virtudes infinitas y su gran corazón que es el centro de admiración de la familia y a mi hermosa madre quien siempre tiene una palabra de aliento para mí en los momentos difíciles gracias por ser una guerrera y el motor de esta hermosa familia te amo madre mía.

Recuerden que mis triunfos son sus triunfos porque ustedes son parte de mí. A mi pequeño Christofer que con su sonrisa berrinches y travesuras cada día fue el combustible para seguir delante de pensar en enseñarle lo mejor en no equivocarme y ser el mal ejemplo, por todo esto y por la alegría que me compartes.

A mi esposa María del Carmen Espinosa Carenas por la paciencia que tuvo en estos dos años que poco estuvimos juntos por el cariño y amor que siempre mantuviste en las buenas y en las malas, por las alegrías y tristezas y por ser la mujer de mi vida Te amo.

A mis hermanos quienes son parte importante de mi vida y representan la unidad familiar y quienes siempre me han apoyado en mi deseo de seguir en este camino del saber, a Berenice y Aracely quienes siempre han llenado mi vida de alegría y amor cuando más lo he necesitado, a Alejandro y Carlos por su apoyo incondicional a la hora que los necesito.

A mis amigos en especial a Sergio Rosales y Edmundo Villalón y Martin Silva por su apoyo total y su amistad desde los inicios de mi carrera por haber hecho conmigo un trayecto de vivencias que nunca olvidare, de los cuales me llevo enseñanza y amistades para la vida, por haber sido unos excelentes compañeros de clases y amigos, por haberme tenido la paciencia necesaria y por motivarme a seguir adelante.

A todos mis compañeros que fraternamente me ayudaron cuando llegue a linares, los que me ofrecieron su casa. Geraldine García, Martin Silva, Martin Villela y a Marco Dávila Lara. Por confiar en mí y facilitarme económicamente.

A mi abuelo que aunque ya n se encuentra con nosotros físicamente, siempre está en mi corazón porque siempre creíste en mí cuando yo apenas era un pequeño, que iba a ser alguien en la vida y no te he defraudado y espero nunca hacerlo, tus palabras de sabiduría siempre permanecerán en nuestros corazones. Descansa en Paz. *Ignacio Ayala.*

A mis asesores de tesis quienes mi brindaron la oportunidad de desarrollar mi tesis por el apoyo y facilidades que me fueron otorgadas y por lo que me han enseñado por su orientación, responsabilidad, persistencia, paciencia han sido fundamentales para mi formación como investigador. El Dr. Marco A. González Tagle, Dr. Eduardo Alanís Rodríguez, Dr. Eduardo J. Treviño Garza. Quienes ha inculcado en mí el sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico, por lo cual ha ganado mi completa admiración por todo el apoyo recibido durante el periodo que duro la investigación de este trabajo.

Al Dr. José Villanueva Días. Por el gran apoyo que nos brindó a la hora de hacer nuestro trabajo de laboratorio, así como asignarnos personal de su equipo a facilitarnos y enseñarnos a realizar los proceso en laboratorio, de la misma manera agradecerle a la señorita Lucy quien fue la que estuvo al pie de nuestro trabajo y colaboro de manera incondicional.

Al M.C. Julián Cerano Paredes. Por la paciencia brindada y las enseñanzas que nos compartió por la hospitalidad en su casa, el atendernos a cualquier hora, así

como a su Señora esposa Rosy, quien nos dios ánimos para que siguiéramos con nuestros trabajos y a los gemelos hijos de este matrimonio que fueron siempre buenos niños.

A Fernando Dorantes quien fue la persona que me guio en la estancia en la ciudad de Gómez Palacio y quine me dio ideas y cátedras a la hora de hacer procesos en el laboratorio.

Al INIFAP CENID-RASPA. Ubicado en Gómez Palacio Durango por la facilidad y préstamo de sus instalaciones.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales y al CONACYT, por permitir realizar mis estudios dentro de sus instalaciones y por haberme acreditado el apoyo económico para maestría.

A todas aquellas personas que colaboraron en esta causa muchas gracias

ÍNDICE

ÍNDICE	I
NDICE DE CUADROS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	VI
ABSTRAC.....	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN	5
III. HIPÓTESIS.....	6
IV. ANTECEDENTES.....	7
V. METODOLOGÍA	9
5.1. Ubicación del sitio de estudio	9
5.2. Colecta de muestras con cicatrices de incendios	11
5.3. Colecta de muestras para reconstrucción climática	12
5.4. Procesamiento de muestras con cicatrices de incendios	13
5.5. Procesamiento de muestras para reconstrucción climática.....	14
5.6. Generación de cronologías para estudios de frecuencia de incendios	15
5.7. Generación de cronologías para reconstrucción del clima.....	15
5.8. Uso de software para reconstrucción de incendios.....	16
5.9. Parámetros de frecuencia de incendios	17
5.10. Parámetros dendrocronológicos de las cronologías.....	17
5.10.1. Sensibilidad:	18
5.10.2. Desviación estándar	18
5.10.3. La autocorrelación:	19
5.10.4. Proporción señal ruido:.....	20
5.10.5. Intercorrelación entre series:.....	20
5.11. Estaciones climáticas y función de respuesta	20
5.12. Fenómeno de circulación general (PDO, ENSO)	21
VI. RESULTADOS	23

6.1.	Frecuencia de incendios.....	23
6.2.	FMI todos los incendios, 10%, 25% probabilidad Weibull	24
6.3.	Reconstrucción de incendios	25
6.4.	Serie dendrocronológica (profundidad de muestra)	27
6.5.	Sensibilidad media, autocorrelación, relación señal ruido.....	28
6.6.	Función de respuesta con datos climáticos	28
6.7.	Desarrollo de modelos de reconstrucción	29
6.8.	Calibración verificación del modelo.....	30
6.9.	Reconstrucción de las variables climáticas	33
6.10.	Análisis de la influencia de fenómenos atmosféricos.....	34
6.11.	Relación clima incendio	35
VII.	DISCUSIÓN	37
7.1.	Régimen del fuego	37
7.2.	Variabilidad climática.....	38
VIII.	CONCLUSIONES.....	39
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

NDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Estaciones climatológicas empleadas en el análisis dendroclimático del Ejido el Cordoncillo Municipio de Tamazula, Jalisco, México.....	16
Cuadro 2. Distribución de la estacionalidad de las cicatrices de incendios (número y porcentaje) basado en la posición de la cicatriz del incendio en el anillo anual de crecimiento (D, dormancia; EE, inicio de madera temprana; ME, mitad de la madera temprana; LE, final de la madera temprana y L, madera tardía).	24
Cuadro 3. Valores de intervalos del 100%, 25% y 10% de las muestras.....	25
Cuadro 4. Pruebas para la calibración y la verificación del modelo	31
Cuadro 5. Coeficientes del modelo climático	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de sitios de muestreo, triángulos azules árboles muestreados para reconstrucción de incendios y círculos verdes árboles para reconstruir clima en el Ejido el Cordoncillo en Tamazula de Gordiano, Jalisco, México.	10
Figura 2. La imagen (a) representa la selección del árbol muestra por el número de cicatrices, (b) representa la extracción de la muestra (c) muestra tomada desde el centro del árbol.....	12
Figura 3. Selección y colecta y etiquetado de muestras en campo.	13
Figura 4. Preparado de las muestras en laboratorio para el fechado.	14
Figura 5. Muestras montadas en canales de madera para su manipulación en el pulido y fechado.....	14
Figura 6. Correlación entre el índice del ancho del anillo y precipitación mensual acumulada en diversos períodos mensuales de 1930 a 1999.	21
Figura 7. Reconstrucción del régimen de incendios para el bosque del Ejido el Cordoncillo Tamazula, Jalisco.	26
Figura 8. 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 1867 a 2014 (148 años).....	27
Figura 9. Calibración y verificación del modelo de regresión al comparar la precipitación observada y la reconstruida para el periodo común de datos (1930-1999).....	31

Figura 10. Ajuste del modelo y generación de la ecuación. 32

Figura 11. Reconstrucción estacional de precipitación acumulada enero - mayo, del período 1867-2014 para el ejido el Cordoncillo en el estado de Jalisco. La línea negra constituye una línea flexible o media móvil para resaltar eventos secos y húmedos a partir de una media representada por una línea delgada punteada. 33

Figura 12. Precipitación promedio acumulada de los meses de Junio, Julio y Agosto..... 34

Figura 13. Reconstrucción estacional de precipitación acumulada Enero - Mayo, del período 1900-2014 para el ejido el Cordoncillo en el estado de Jalisco. La línea negra constituye una línea flexible o media móvil para resaltar eventos secos y húmedos a partir de una media representada por una línea delgada punteada. 35

Figura 14. Relación de la precipitación de Verano con la presencia de incendios para El Ejido el Cordoncillo del periodo 1927-2003, en donde ya línea negra representa la precipitación del verano, la línea punteada negra es la media de la precipitación regional del verano, y la línea gris representa el número de incendios por año..... 36

RESUMEN

El bosque de *Pinus* de la Sierra del Tigre del ejido El Cordoncillo, municipio de Tamazula, representa el mayor peligro de incendios forestales en el estado de Jalisco. Con el objetivo de reconstruir la historia del fuego y determinar su asociación histórica con el clima, se tomaron 52 muestras con cicatrices de incendios y se analizaron con base en técnicas dendrocronológicas; de 37 muestras, se lograron datar 114 cicatrices de incendios. Se reconstruyó la historia del fuego para el período 1807-2014 (207 años). El 100 % de los incendios se registró en la estación de primavera. El intervalo medio de incendios (MFI, por sus siglas en inglés) y el intervalo medio de probabilidad de Weibull (WMPI, por sus siglas en inglés) al considerar todas las cicatrices fue de 5,08 y 5,1 años, respectivamente; mientras que para los incendios más grandes o extensos cuyas cicatrices se registraron en el 25 % de las muestras o más, los valores de MFI y WMPI fueron de 4,5 y 4,52 años, respectivamente. La presencia de incendios inicio en los años de 1960 continua hasta la primera década del siglo XXI; Se determinó una relación positiva entre la disminución de la precipitación (sequía) y la ocurrencia de incendios.

Palabras clave: incendios forestales, clima, dendrocronología, intervalo de frecuencia, primavera, sequía.

ABSTRAC

The forest of Pinus Sierra el Tiger ejido El Cordoncillo, municipality of Tamazula, represents the greatest danger of forest fires in the state of Jalisco. In order to reconstruct the history of the fire and determine its historical association with climate, 52 samples were taken with fire scars and analyzed based on dendrochronological techniques; 37 samples, 114 were achieved dating fire scars. Fire history for the period 1807-2014 (207 years) was reconstructed. 100% of the fires occurred in the spring season. The average fire interval (MFI, its acronym in English) and the average Weibull probability interval (WMPI, for its acronym in English) when considering all the scars was 5.08 and 5.1 years, respectively; while for larger or extensive fires whose scars were recorded in 25% of samples or more, the values of MFI and WMPI were 4.5 and 4.52 years, respectively. The presence of home fires in the 1960s continues until the first decade of the century; a positive relationship between the decrease in precipitation (drought) and the occurrence of fire was determined.

Keywords: forest fires, climate, dendrochronology, frequency range, spring, drought.

I. INTRODUCCIÓN

Muchos ecosistemas de pino mexicanos se caracterizan por una gran diversidad biológica y están fuertemente influenciadas por el fuego. La mayoría de las especies de pino mexicano parece estar adaptado a un régimen predecible de fuego. A menudo los patrones históricos son alterados a largo plazo debido a una combinación de incendios naturales y de incendios de causas antropogénicas. Como consecuencia, hay tres categorías principales de incendio: Fuego antropogénico excesivo, régimen de incendios apropiado y fuego insuficiente o exclusión del fuego debido a la protección contra incendios (Rodríguez-Trejo y Fulé., 2003)

Los incendios superficiales o de baja intensidad, cuando ocurren acorde a su régimen natural, son aprovechados de mejor manera, para la regeneración de diversas especies de pinos mexicanos (Rodríguez y Fulé, 2003). Las especies serótinas tales como *P. patula*, *P. greggii*, y *P. oocarpa* necesitan de las altas temperaturas que se producen durante los incendios, para la apertura de sus conos serotinos y se detone el proceso de regeneración; sin los incendios, la regeneración de estas especies es mínima y con el tiempo pueden ser desplazadas por otras especies arbóreas de menor importancia económica, debido al efecto de competencia (Rodríguez y Fulé, 2003).

En el caso de las Pináceas, su capacidad de resistir a incendios se debe a que generalmente poseen o han desarrollado estrategias autoecológicas, tales como regeneración en sitios quemados, estado cespitoso, rebrotes, incremento en el grosor de corteza, resistencia al chamuscado de copa y recuperación de follaje. Dependiendo de la especie será la manifestación del daño (Rodríguez, 2001).

La variación de los regímenes de incendios a escala del paisaje resulta de la influencia de factores ambientales como el clima, la forma del relieve, la vegetación y las propiedades físicas de las camas de combustibles (McKenzie *et al.* 2011).

Cuando el fuego se suprime por largo tiempo en ecosistemas cuyo régimen histórico de incendios había sido de incendios frecuentes de baja intensidad y severidad, se acumulan combustibles y se modifica la estructura de la vegetación creando condiciones para la propagación de incendios más intensos, destructivos y difíciles de controlar (Arno y Brown 1991).

El manejo de ecosistemas en general y el manejo del fuego en particular, requieren no solo del conocimiento y entendimiento de los patrones y procesos ecológicos, sino también de la consideración del “contexto del lugar”. Para fundamentar en principios ecológicos el manejo del fuego en una unidad de gestión determinada sea un área protegida o una unidad de producción forestal es necesario conocer los patrones generales y la variación local de los regímenes de incendios (Franklin *et al.* 2007).

El entendimiento del clima del pasado es importante para determinar la variabilidad hidroclimática natural, analizar tendencias y examinar escenarios climáticos venideros bajo la influencia del cambio climático global. La forma más común de estudiar la variabilidad del clima es a través del uso de registros instrumentales procedentes de estaciones climáticas. Así, en México, los estudios dendrocronológicos surgen ante la necesidad de entender el comportamiento de variables climáticas y fenómenos atmosféricos, dentro de un país, que refleja a través de su diversidad una gran amplitud climática (Villanueva *et al.*, 2004, 2011)

Para el centro del país, el estudio de frecuencia de incendios para diversos tipos de ecosistemas es muy reducido, actualmente solo se ha publicado una cronología de incendios para los pinares de alta montaña del Pico de Orizaba, Veracruz/Puebla (Yocom y Fulé., 2012) y algunos trabajos más en los bosques de *Pinus douglasiana* Martínez en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manatlán,

Jalisco (Llamas., 2013, Cerano-Paredes., et al 2015). Y en la Sierra del Norte de Oaxaca (Ortega. 2012)

La reconstrucción de historias de incendios por métodos dendrocronológicos aporta información fundamental para la caracterización de regímenes históricos de fuego y la evaluación de su condición actual en ecosistemas forestales, contribuyendo a la generación de conocimiento y entendimiento de la ecología del fuego y su aplicación al diseño de mejores prácticas de manejo de dichos ecosistemas (Fulé *et al.*1997).

Jalisco representa el 4% de la superficie nacional. El principal clima es el semicálido subhúmedo con lluvias en verano, que se presenta en el 46% del Estado. Las principales elevaciones son el Nevado de Colima con 4,260 msnm y el Volcán de Colima con 3,820 msnm. La principal región hidrológica es la Lerma-Santiago que ocupa el 51% de la entidad. Los principales usos del suelo son: agricultura 26.6%; pastizal (9.3%); bosque (31.1%); matorral (9.0%); selva (24.5%); y otros (22.2%). Según el inventario forestal realizado por el FIPRODEFO, la superficie arbolada de Jalisco es de 3.5 millones de hectáreas, de las cuales el 51% es de bosques y el 49% restante es de selvas (PEFJ, 2006).

En 2010 se presentaron 192 incendios con 6,292 has cerca de 2,895.50 de pastizales 2,600.50 de arbustos y matorral 371 de arbolado adulto y 342 de renuevo en el año 2011 se presentaron 643 incendios entre pastizal, bosques arbustos y matorrales, con una superficie de 28,781 has. Los pastizales ocuparon el primer lugar con 13,779.50 has incendiadas mientras que para los arbustos y matorrales fueron 12,086 has, para renuevo se quemaron 1,463.50 has muy similar a las de arbolado adulto 1,452 has. En el 2012 se registraron 610 incendios con 24,397 has más de 16,000 has de pastizal menos de 1,000 has de arbolado adulto con poco más de 1,200 has de renuevo y poco más de 5,600 de arbustos y matorrales. El 2013 no fue la excepción de acuerdo al reporte semanal

de incendios forestales se reportaron 710 incendios con una extensión de 48,331 hectáreas dominando las herbáceas como material combustible principal ocupando una superficie de 32,718 has más de 12,000 de arbustos 2,146 de árboles maduros y más de 1,000 has de renuevo. Para el 2014 se reportaron 442 incendios con una extensión de 7,706.30 has en donde el material herbáceo y arbustivo fueron los combustibles dominantes en estos incendios, para arboles maduros y renuevo la superficie fue menor, El pasado 2015 presento 364 incendios con un total de 8,018 has quemadas, 6,345.50 has de material herbáceo seguido por 1,610 de arbustivo 33.5 has de arbolado adulto y 29.50 has de renuevo (CONAFOR, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015).

II. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se llevó a cabo en la parte occidente de México, sobre las cumbres de la Sierra Madre Occidental, al sur-sureste del estado de Jalisco en particular en un bosque de pino-encino del municipio de Tamazula de Gordiano. El desarrollo de estudios avocados a determinar la frecuencia de incendios en el estado de Jalisco son muy limitados considerando la superficie forestal y los ecosistemas presentes; de esta manera abonar con este tipo de estudios resulta fundamental para la conservación de la biodiversidad en predios con manejo forestal y en áreas naturales protegidas, que requieren manejo del fuego para restaurar la dinámica de especies que evolucionaron con este fenómeno y proteger aquellas más sensibles o que requieren incendios con menos frecuencia.

Los incendios forestales en México han tenido gran relevancia después de la temporada de Incendios en 1998 debido a su contribución directa a la deforestación, el cambio en la estructura y composición del bosque. Además recientemente se considera su participación directa en el incremento de bióxido de carbono en la atmosfera. (Gonzales *et al.*, 2007). Este comportamiento tiene que ver con la variabilidad interanual y multianual del clima y con los diversos fenómenos de circulación general que lo determinan, aunado a cambios producidos por la concentración de gases efecto invernadero, derivado de actividades humanas.

El conocimiento del clima del pasado es fundamental para determinar su variabilidad en el tiempo, tendencias y posibles comportamiento que permita tomar decisiones en términos de manejo de agua, hidrología, aprovechamiento de recursos naturales, protección de ecosistemas, producción de cultivos, fundamentado en información climática. Debido a que no existe información climática con amplitud se crea la necesidad de disponer de información más extensa particularmente cuando se desconoce la intensidad y frecuencia con que se han presentado históricamente eventos climáticos extremos (Villanueva *et al.*, 2008).

III. HIPÓTESIS

Hipótesis: Los bosques de pino-encino del municipio de Tamazula de Gordiano, Jalisco, presentan un régimen de incendios frecuentes y de baja intensidad.

IV. ANTECEDENTES

La generación de cronologías con anillos de árboles en México es incipiente y a pesar de la riqueza del territorio nacional, en términos de biodiversidad y alto potencial en números de especies útiles con fines dendrocronológicos (Villanueva et al., 2010) Una de las especies presentes en México y que es considerada dendrocronológicamente como las más importantes a nivel mundial es el abeto Douglas o Douglas fire (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco), especie que con capas de crecimiento anual bien definidas que almacena en sus estructuras celulares información climática tanto de la época fría como cálida del año (Villanueva et al., 2008).

El estudio dendrocronológico más cercano que se haya reportado para la zona sur-sureste del estado de Jalisco es el de Villanueva et al., (2013). Desarrollando una red cronológica en *Pinus hartwegii* especie que constituye el límite superior arbóreo en las montañas de México, este estudio fue localizado en el eje Neo volcánico Transversal, en el centro del país específicamente en el nevado de colima de la Sierra Madre Oriental.

Se reconstruyó la precipitación invierno-primavera de 219 años (1792-2010) de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM), Jalisco, México, empleando los anillos anuales de *Pinus douglasiana* (Mtz.) como "proxy". La sequía de mediados del siglo XX (1941-1963) fue la más severa del periodo estudiado. Las teleconexiones de ENSO en la región varían a través del tiempo; de enero a junio, los eventos El Niño están asociados con precipitaciones mayores que el promedio, mientras que los eventos La Niña muestran lo contrario (Cerano et al., 2013)

En la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM) en Jalisco, se reconstruyó el historial de incendios basado en anillos de crecimiento de *Pinus*

douglasiana , donde los incendios son uno de los principales elementos de la dinámica del bosque, logrando reconstruir el historial para 173 años de presencia del fuego, en donde los incendios son recurrentes con una frecuencia de 5.5 años con una estacionalidad de ocurrencia, considerando la fenología de la especie que el 98,3 % de los incendios corresponde a la estación de primavera y el 1,7 % al inicio del verano (Cerano *et al.*, 2015).

Se describió la historia de incendios forestales de bosques de coníferas en la Sierra de Manantlán (Jalisco, México), utilizando métodos dendropirocronológicos y se caracterizó su variación. La serie de ancho de anillo abarcó 174 años (1837 a 2010), con un tamaño de muestra de 5 núcleos en la fecha más temprana. La intercorrelación entre series fue de 0.438. El intervalo medio de incendios (IMI) compuesto para cada localidad varió entre 5.1 y 12.4 años con todas las muestras y con un filtro de 33% varió de 5.0 a 18.3 años. Los valores de los intervalos de la mediana de la probabilidad de Weibull (IMW) fueron similares. No se encontraron diferencias significativas entre los intervalos de los sitios, pero se observó que en los sitios más húmedos y con geóformas cóncavas, los intervalos entre incendios fueron más largos, en contraposición a los sitios más secos y con geóformas convexas (Llamas, 2013).

V. METODOLOGÍA

5.1. Ubicación del sitio de estudio

El presente estudio se llevó a cabo al sur-sureste del estado de Jalisco, específicamente en el Municipio de Tamazula de Gordiano, en el Nuevo Centro de Población el Cordoncillo (Figura 1). El sitio está cubierto de bosque y se localiza en el paraje conocido como Cerro Prieto entre los 19°51'20" y 19°42'53" de latitud Norte y los 103°17'07" a 103°16'41" de longitud Oeste. Su ubicación, así como su orografía crean condiciones ecológicas para albergar tipos de vegetación tales como, bosques de coníferas, con especies de *Pinus douglasiana* Martínez, *Pinus devoniana* Lindley, *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. *Pinus oocarpa* Shiede; bosques de encino representados por *Quercus rugosa* Neé, y *Quercus magnifolia* Neé. (Rzedowski., 2006, Farjon *et al.*, 1997, CONABIO., 1999, SIRE S/N)

Fisiográficamente pertenece a la Sierra Madre Occidental, a la subprovincia Cordillera Costa del Sur, perteneciente a la región hidrológica "I" Armería-Rio Coahuayana en la subcuenca de Mazamitla (INEGI., 2007). Su geología pertenece al Cenozoico superior volcánico (Mioceno a reciente) rocas volcánicas (lavas, brechas y tobas) principalmente basálticas y con permeabilidad de media a alta. (Marín y Torres., 1990). La edafología pertenece en su mayoría a Luvisol Cromico: Suelos con una diferenciación pedogenética de arcilla (especialmente migración de arcilla) entre un suelo superficial con menor y un subsuelo con mayor contenido de arcilla, arcillas de alta actividad y una alta saturación con bases a alguna profundidad. Cambisol Cromico y Eutrico: Suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato (IUSS, 2007).

De acuerdo a las capas de Clima de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el área de estudio presenta dos tipos de clima, perteneciendo para la parte alta un clima, Templado, subhúmedo, C (w1) temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Para la parte baja pertenece al grupo de los Semicalido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% anual (García., 1998). La precipitación está representada por los rangos de 1200 a 1500 mm para la parte alta mientras que en la parte baja oscila de 1000 a 1200 mm. Toda el área posee una precipitación media anual de 800 a 1200 mm (García., 1998).

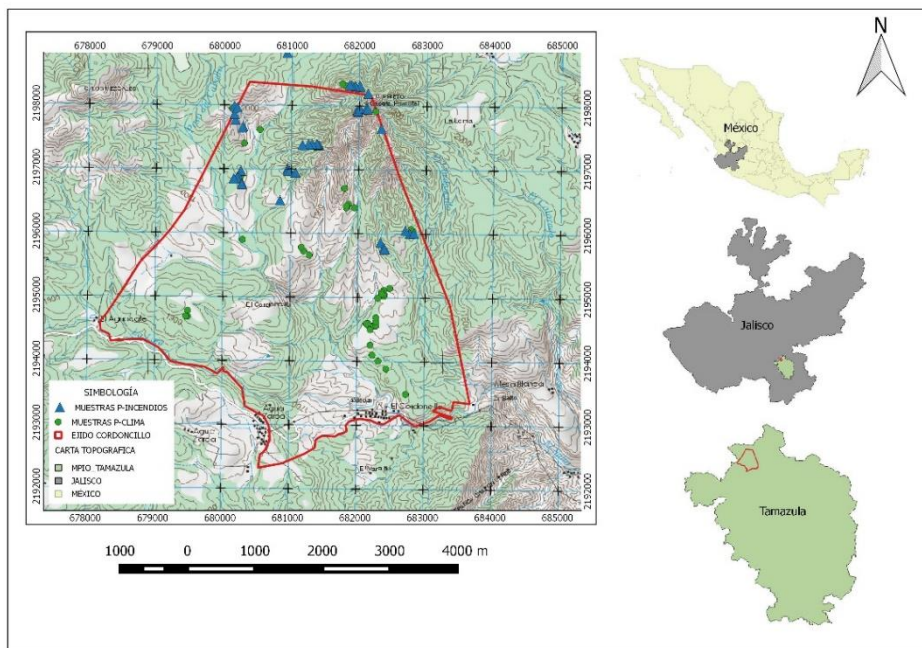


Figura 1. Localización geográfica de sitios de muestreo, triángulos azules árboles muestreados para reconstrucción de incendios y círculos verdes árboles para reconstruir clima en el Ejido el Cordoncillo en Tamazula de Gordiano, Jalisco, México.

5.2. Colecta de muestras con cicatrices de incendios

El sistema empleado en la toma de muestras para reconstrucción de incendios es selectivo en su mayoría, es decir, se seleccionan los individuos con las características deseables (mayor número de cicatrices) que permitirán cumplir con los objetivos planteados en el estudio, conocer el comportamiento de los regímenes de incendio a través del tiempo, aunque también se aplican en determinados casos muestreos sistemáticos. Es importante al momento de la selección de las áreas de estudio considerar que los sitios ideales para la reconstrucción de los regímenes ecológicos de incendios deban ser áreas forestales con el menor disturbio posible, de preferencia, áreas poco intervenidas por aprovechamientos maderables y donde los incendios en su mayoría sean de origen natural (por ejemplo incendios ocasionados por descargas eléctricas) (Cerano *et al.*, 2009).

Una vez seleccionada el área de estudio o las áreas con el potencial para este tipo de investigaciones, una de las etapas más importantes es la toma de muestras para conocer los registros del historial de incendios del arbolado (Cerano *et al.*, 2009). En esta etapa es importante evitar la toma de muestras de aquellos individuos con una o dos cicatrices; los individuos ideales deben presentar el mayor número de cicatrices de incendios posibles y que éstas a su vez, se registren de manera intensa (cicatrices con cierta profundidad en el tronco) y evitar cicatrices superficiales que al momento del corte de la muestra se pierdan, característica que permitirá extender el registro de incendios en el tiempo y determinar la frecuencia con mayor éxito (Cerano *et al.*, 2009).

Las muestras de incendios se toman tanto de tocones como de árboles tirados, árboles muertos en pie y árboles vivos. En donde se realizó un recorrido por las áreas más potenciales de tener cicatrices y áreas que ya tenían el antecedente y la evidencia de que se habían quemado años atrás tomando en cuenta las condiciones del terreno para facilitar el recorrido y poder planear una toma de muestras más cómoda a la hora del transporte (Arno y Sneek, 1977).

Se identifica la sección y posición del árbol con el mejor registro de incendios (mejor y mayor cantidad de cicatrices). Para obtener la muestra con las cicatrices figura (a) se realizan dos cortes transversales y paralelos entre sí figura (b), luego se realiza un corte inclinado (45 grados con respecto a la horizontal) que permita romper la parte interna que une la muestra con el centro del árbol (Figura 2) y se extrae la muestra. En caso de árboles tirados y tocones, si se requiere, es recomendable obtener una sección transversal completa. Generalmente se emplean motosierras de grandes dimensiones porque permiten la extracción de muestras tanto de árboles pequeños como de árboles grandes (Cerano *et al.*, 2009).



Figura 2. La imagen (a) representa la selección del árbol muestra por el número de cicatrices, (b) representa la extracción de la muestra (c) muestra tomada desde el centro del árbol.

5.3. Colecta de muestras para reconstrucción climática

Se utilizó el muestreo selectivo bajo el criterio de elegir el arbolado maduro (Figura 3) para generar cronologías lo más extensas posible colectando 50 muestras de árboles vivos. Los núcleos de crecimiento o virutas se sacaron con un taladro de Pressler de 5 mm (Figura 3) de diámetro de barrena (Stokes y Smiley, 1968), El número de núcleos perforados por árbol fue de tres, los cuales se distribuyeron en diversas orientaciones del fuste a 1.30 m de altura; dichas muestras se colocaron en popotes (Figura 3) y fueron etiquetadas para su

identificación y traslado al Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA, ubicado en Gómez Palacio, Durango.

Se requieren cuatro condiciones para que estos crecimientos sean de utilidad en el fechado de una muestra. Los árboles deben presentar sólo un anillo para cada estación de crecimiento. Aunque el crecimiento estacional total es el resultado de muchos factores interrelacionados, como genéticos y medioambientales, sólo un factor medioambiental debe dominar y limitar el crecimiento. En el suroeste de Estados Unidos de América y norte de México, este factor limitante es la precipitación, el crecimiento que se propicia por el factor limitante clima debe variar en intensidad de año a año, y los anillos anuales resultantes deben reflejar tal variación en su anchura de crecimiento, la variable ambiental limitante debe ser uniforme sobre un área geográfica extensa (Fritts, 1976).



Figura 3. Selección y colecta y etiquetado de muestras en campo.

5.4. Procesamiento de muestras con cicatrices de incendios

Las muestras se transportaron al Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP-CENID-RASPA, fueron secadas al aire libre dimensionadas de 3 a 5 cm para facilitar su manejo. Las secciones se pulieron con lijas de 40 granos a 1,200 (Figura 4) para resaltar los anillos de crecimiento y apreciar con claridad la ubicación exacta de la cicatriz del incendio. Las muestras se dataron mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968). El programa

COFECHA se utilizó como apoyo para el fechado de las muestras (Holmes, 1983).

Todas las cicatrices de incendios se fecharon al año exacto de su formación. Las muestras se fecharon con ayuda de un microscopio estereoscópico con lupa de aumento 20x. Durante el proceso de fechado se trabajó en primer instancia con las muestras de árboles vivos y en este caso para facilitar el fechado en las muestras de árboles muertos ya que se facilita identificando patrones de crecimiento, el conteo se realizó de la corteza hacia el centro, correspondiendo el primer anillo de crecimiento al año 2014.



Figura 4. Preparado de las muestras en laboratorio para el fechado.

5.5. Procesamiento de muestras para reconstrucción climática

Los núcleos de crecimiento o (virutas), se identificaron, montaron y pegaron en secciones acanaladas de madera para facilitar su manejo Figura 5; posteriormente estas se pulieron con diversos grados de lija desde grueso a fino (granos 120, 220, 360 y 400) para resaltar sus estructuras de crecimiento y facilitar su fechado (Villanueva et al., 2011).

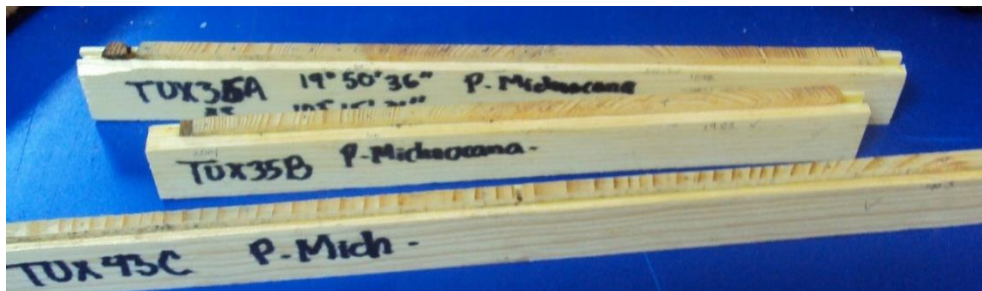


Figura 5. Muestras montadas en canales de madera para su manipulación en el pulido y fechado.

5.6. Generación de cronologías para estudios de frecuencia de incendios

El análisis del fechado se realizó en el software FHAES 2.0 analizando todas las cicatrices encontradas en las muestras, incluso aquellas que solo presentaron un solo registro. Utilizando los estadísticos de interés como la frecuencia media de incendios (FMI), intervalo mínimo entre incendios (IMIN), intervalo máximo entre incendios (IMAX) y el intervalo medio de probabilidad de Weibull (IMPW) de recurrencia de incendios (Fulé *et al.*,2005)

Después del fechado, el ancho de anillo de todas las muestras se midió con un sistema de medición Velmex de precisión 0,001 mm. La calidad del fechado se verificó con el programa Cofecha (Holmes 1983). Las cicatrices de los incendios se emplearon como evidencia de incendios, identificados como una discontinuidad en las células en el anillo o lo largo del límite del anillo de crecimiento donde el cambium murió, seguido por una supresión y deformación de los crecimientos (Dieterich y Swetnam 1984).

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

5.7. Generación de cronologías para reconstrucción del clima

Las cronologías se generaron con el programa ARSTAN (Cook & Holmes, 1984), el cual realiza la normalización de series de crecimiento, eliminando la varianza debido a los factores biológicos, maximizando la señal climática.

Para reconstruir la precipitación regional y su variabilidad, se utilizaron los datos de precipitación de las estaciones de Tamazula, Cd. Guzmán y Atoyac Jalisco,

(Cuadro 1) siendo los sitios donde están ubicadas las estaciones meteorológicas de acuerdo al Extractor Rápido de Información Climática, ERIC III. Estas estaciones comparten elevaciones muy similares, se correlacionaron los datos de precipitación de cada uno de los meses con las diversas versiones de la cronología de anillo total. Para la selección de estas tres estaciones se probaron otras cinco estaciones más como la de Mazamítla, La manzanilla, San Gregorio, Contla, y Concepción de Buenos Aires, las cuales presentaron correlaciones muy bajas y se descartaron, utilizando solo las tres que más se correlacionaron y que presentaban el mayor número de registros posible.

Cuadro 1 Estaciones climatológicas empleadas en el análisis dendroclimático del Ejido el Cordoncillo Municipio de Tamazula, Jalisco, México.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Periodo
Cd. Guzmán	-103.465	19.731	1515	1927-2003
Tamazula	-103.233	19.667	1127	1970-2003
Atoyac	-103.517	20.000	1408	1943-2004

5.8. Uso de software para reconstrucción de incendios

Después del fechado, el ancho de anillo de todas las muestras se midió con un sistema de medición Velmex de precisión 0,001 mm. La calidad del fechado se verificó con el programa Cofecha (Holmes 1983). Las cicatrices de los incendios se emplearon como evidencia de incendios, identificados como una discontinuidad en las células en el anillo o lo largo del límite del anillo de crecimiento donde el cambium murió, seguido por una supresión y deformación de los crecimientos (Dieterich y Swetnam., 1984).

Para la generación de la cronología se utilizó el programa COFECHA para fines de controlar la calidad del fechado y ARSTAN para generar los índices dendrocronológicos; paquetes que se encuentran en la Librería de Programas Dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés).

Una vez generadas las mediciones fueron transformadas del archivo “.raw” al “.dat” para ingresarlas a COFECHA, programa que genera información para evaluar la calidad del fechado, ya que su función es correlacionar cada una de las series individuales, con una serie maestra, la cual deriva de la medición del ancho de cada anillo de las demás series individuales en fases de 50 años y traslapes a cada 25 años.

El programa de Estandarización Autorregresiva (ARSTAN, por sus siglas en inglés) ajusta a cada serie en particular una curva exponencial negativa ó alguna otra función estadística que mejor ajuste para eliminar la varianza debido a factores biológicos; genéticos, competencia y otros cambios ambientales no relacionados con clima (Cook, y Holmes, 1984). Este programa también amplía la señal climática objetivo (Douglas, 1919; Fritts, 1976).

5.9. Parámetros de frecuencia de incendios

Para cada uno de los filtros, se determinaron los siguientes estadísticos descriptivos: intervalo medio de frecuencia de incendios (MFI, por sus siglas en inglés), número de intervalos, intervalo mínimo y máximo, y el intervalo medio de probabilidad de Weibull (WMPi, por sus siglas en inglés). Esta última es una medida de distribución central, empleada para modelar la distribución asimétrica de los intervalos de incendios y para expresar en términos probabilísticos los intervalos de recurrencia (Grissino-Mayer *et al.* 1994).

5.10. Parámetros dendrocronológicos de las cronologías

En esta parte, se describen los parámetros que fueron tomados en cuenta para evaluar la potencialidad de los crecimientos de las especies en estudio. La descripción de los mismos y las ecuaciones dadas para cada una, en general son tomadas de las obras de Fritts (1976) y Grissino-Mayer (2001).

Es importante aclarar que la evaluación se realizó en la cronología residual utilizando muestras de 4 especies de pino las cuales se juntaron en una sola cronología utilizando solamente núcleos de *Pinus douglasiana* y *Pinus michoacana*, ya que el fechado para *Pinus oocarpa* y *Pinus lehiophylla* no fue posible por problemas de crecimiento y anillos falso o perdidos. Sin embargo para las primeras dos especies existe auto-correlación entre muestras de diferentes especies.

5.10.1. Sensibilidad:

La sensibilidad es uno de los principios básicos de la dendrocronología, este principio puede ser evaluado a través de un parámetro estadístico denominado sensibilidad media, el cual indica las diferencias relativas en anchura entre anillos adyacentes, cuyas variaciones están definidas por las fluctuaciones de un factor climático limitante, que para México generalmente es la lluvia (Constante *et al.*, 2010).

La fórmula para determinar la Sensibilidad Media es:

$$sm = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=m-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|$$

Dónde:

sm = Sensibilidad Media.

Xt = Anchura de anillos en el año t.

Xt+1 = Anchura del anillo en el año posterior a t (anillo contiguo).

n = Número de muestra.

5.10.2. Desviación estándar

Es una media de la variación en crecimiento del año previo con respecto al año actual, antes de que las series sean estandarizadas. Generalmente los valores de este parámetro oscilan entre 0.3 a 0.8. Es una medida que tiene poca utilidad cuando se realiza una reconstrucción climática, pero es indicativo de una fluctuación existente entre crecimientos (Constante *et al.*, 2010).

La fórmula para determinar la desviación estándar es:

$$Sx \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n} (x_t + m_x)^2}$$

Sx= Desviación estándar.

Xt= Anchura de anillos en el año t.

mx = Media del conjunto de mediciones de anchura de anillos.

n = Número de muestra.

5.10.3. La autocorrelación:

Es una medida de como gran proporción del ancho del anillo es un año “n” es influenciado por el grosor del anillo en un año “n-1”. Las series de anillos de árboles presentan esta correlación denominada de primer orden o Lag-1, principalmente porque el proceso fisiológico en árboles, crea un Lag o retraso en respuesta al clima, y también porque las anomalías del clima persisten de un año al siguiente valor. Valores altos de intercorrelación y sensibilidad media, se asocian con un abaja correlación (Constante *et al.*, 2010).

$$= \frac{\sum_{t=1}^{t=m-1} (x_t + m_x)(y_t + m_y)}{(n-1) s_x s_y}$$

Rxy = Correlación promedio.

Xt = Anchura de anillos en el año t.

mx y my = Media del conjunto de mediciones de anchura de anillos.

Sx y Sy= Desviación estándar de las mediciones de anchura de anillos.

n = Número de datos comparados (muestra).

5.10.4. Proporción señal ruido:

Se denomina señal a la información de interés y ruido al resto, visualizado de esta manera, una serie de anillos de árboles es un conjunto de varias señales que pueden ser señal ruido según la información que se desee resaltar o extraer (Constante *et al.*, 2010).

En general, se establece que para indicar el buen potencial dendrocronológico de una especie, esta debe presentar una alta intercorrelación entre series, alta sensibilidad, alta desviación estándar, alta relación señal ruido y una baja autocorrelación de primer orden (Delgado, 2000).

5.10.5. Intercorrelación entre series:

Es la medida de la influencia de la señal climática común en todas las muestras de los árboles del sitio y presenta la factibilidad de la cronología. Los valores para este parámetro oscilan de 0.4 a 0.9, sin embargo, la mayoría de las cronologías en general muestran valores que oscilan entre 0.55 y 0.75 (Constante *et al.*, 2010).

Problemas de crecimiento: este criterio se refiere al número de problemas que presenta la muestra o bien a la baja sincronía entre los anillos de diferentes muestras para el mismo periodo, esta variable se ve reflejada directamente en la correlación, de tal manera que lo ideal es tener series de crecimiento sin ningún problema, es decir, series con una alta sincronía entre los crecimientos anuales (Constante *et al.*, 2010).

5.11. Estaciones climáticas y función de respuesta

Una vez seleccionados los datos de precipitación, se procedió a elegir el periodo que más correlación tenía de acuerdo a las correlaciones mensuales por estación, determinando que en las tres estaciones el periodo que mayor valor

presento fue de Enero-Mayo (E-M) (Figura 6), perteneciendo a las estaciones de invierno primavera, periodo que se va a reconstruir.

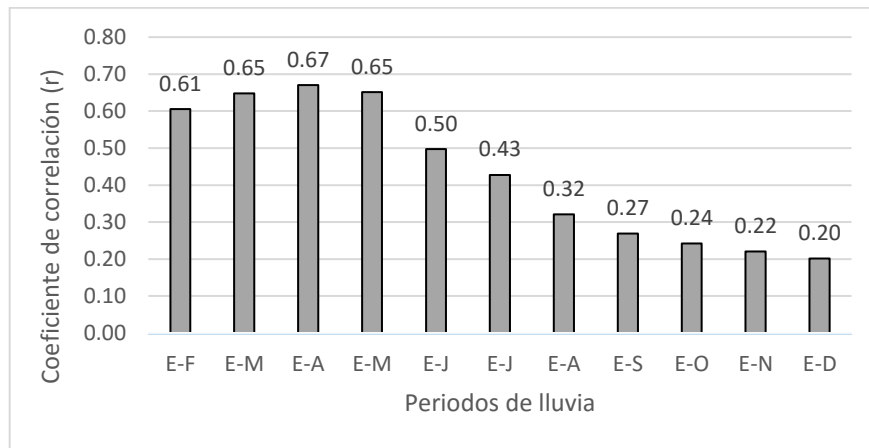


Figura 6. Correlación entre el índice del ancho del anillo y precipitación mensual acumulada en diversos periodos mensuales de 1930 a 1999.

5.12. Fenómeno de circulación general (PDO, ENSO)

La Oscilación decenal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) es un patrón de temperatura en el Océano Pacífico que está aproximadamente 20-30 años en fase fría o en fase cálida. En 1905, la PDO cambió a una fase cálida. En 1946, la PDO cambió a una fase fría. En 1977, la PDO cambió a una fase cálida. En 1998, la PDO mostró unos pocos años fríos. Fíjate en que las fases frías parecen coincidir con los periodos de enfriamiento (1946-1977) y las fases cálidas parecen coincidir con periodos de calentamiento (1905-1946, 1977-1998; NASA, 2008).

La PDO es un fenómeno que se encuentra fundamentalmente en el Pacífico Norte (en contraposición al Niño, que afecta sobre todo al Pacífico tropical). Tiene dos fases entre las que suele alternar; normalmente permanece en una fase durante un periodo de tiempo significativo (tan corto como 10 y tan largo como 40 años). Sin embargo, no es inusual que estos periodos largos se rompan con intervalos en los que cambia de fases durante periodos entre 1 y 5 años.

Las fases de la PDO se han llamado fases cálidas (valores positivos) o fases frías (valores negativos) (NASA, 2008).

Los resultados indican que la PDO se correlaciona positivamente con la precipitación, en particular durante el invierno boreal (nov-abr), lo que significa que la fase positiva (negativa) de la PDO favorece las lluvias (sequías) invernales, especialmente en la Altiplanicie Mexicana y en el norte de México (Méndez *et al.*, 2010).

Las oscilaciones en la presión atmosférica con periodos de dos a cuatro años se denominó Oscilación del Sur, mientras que los pescadores de las costas del Perú encontraron que las aguas estaban más calientes de lo normal, lo que ocasionaba que la pesca fuera pobre ya que ocurre a finales del año, los hombres del agua asociaron la llegada del agua caliente con la llegada del niño Jesús por su cercanía de la navidad. Entre los años 50 y 60 del siglo XX, el Meteorólogo Jacob Bejerkense estableció que la llamada Oscilación del Sur y la corriente del Niño eran parte de un mismo fenómeno climático, que involucraba interacciones de la atmosfera y el océano pacífico tropical. Desde entonces se han desarrollado muchas teorías para explicar el fenómeno del Niño Oscilación del Sur. También se habla de su contraparte la Niña, que corresponde a anomalías negativas en la temperatura superficial del Pacífico tropical, al parecer la Niña provoca eventos climáticos contrarios a los experimentados durante el Niño, por ejemplo en vez de sequías durante el Niño lloverá más de lo normal (Magaña *et al.*, 1997).

En las últimas tres décadas se ha encontrado que la variabilidad inter anual en el clima está relacionada en gran medida con el fenómeno el Niño, es común que las sequías es consecuencia del el Niño. De manera general podemos decir que las lluvias de invierno en años de niño se intensifican como ocurrió durante los inviernos de 1982-1983, 1986-1987 y 1991-1992 y se debilitan durante los correspondientes veranos. En inviernos del Niño, la corriente en chorro, de latitudes medias se desplaza hacia el sur provocando una mayor incidencia de frentes fríos y lluvias en la zona centro de México (Magaña *et al.*, 1997).

VI. RESULTADOS

6.1. Frecuencia de incendios

Se colectaron un total de 52 secciones con cicatrices de incendios. 35 pertenecen al (67%) de árboles vivos y 17, al 33% de árboles muertos se logró fechar un total de 34 muestras representando el (65%) el resto de las muestras no cumplieron con las características necesarias y fueron desechadas.

Se fecho un total de 114 cicatrices la estación de ocurrencia fue para el 100% en primavera. El sitio tuvo muestras donde se fecharon anillos antes de 1810 (en específico 1807) el primer incendio se registró en el año de 1945 (Figura 8). No se registró ninguna cicatriz (0%) en la estación de dormancia, la totalidad de las cicatrices se registró al inicio de la madera temprana, y no hubo ningún registro para la madera tardía. El resultado de acuerdo a la fenología del género *Pinus* en esta región de México, indico que el (100%) de los incendios se presentó en primavera (Cuadro 2)

En el periodo correspondiente de 1960-2014 los incendios han sido frecuentes en esta parte (Figura 8). El intervalo medio de frecuencia (MIF) para todas las cicatrices fue de 5.08 años, mientras que el intervalo máximo de frecuencia (IMAX) fue de 12 años, mientras que el intervalo mínimo (IMIN) fue de 1 año. El intervalo medio de recurrencia de Webull fue de 5.1 años (WMPI). Al considerar los últimos 54 años (1960-2014) los incendios más severos registrados en el 100% de las muestras (Figura 3) perteneces a los años 1979 con 13 cicatrices registradas, 1982 con 9 cicatrices, 1988 con 22 cicatrices, 1996 con 19 cicatrices, 2003 con 21 cicatrices y 2011 con 8 cicatrices.

Cuadro 2. Distribución de la estacionalidad de las cicatrices de incendios (número y porcentaje) basado en la posición de la cicatriz del incendio en el anillo anual de crecimiento (D, dormancia; EE, inicio de madera temprana; ME, mitad de la madera temprana; LE, final de la madera temprana y L, madera tardía).

Cicatrices	Estación Determinada	D	EE	ME	LE	L	Incendios de Primavera ^A	Incendios de verano ^B
Número	114	0	114	0	0	0	114	0
Porcentaje	100	0	100	0	0	0	100	0

Nota: La definición de la estacionalidad de los incendios para esta región del país fue con base en la fenología de la especie. ^A Dormancia + inicio de madera temprana + mitad de la madera temprana (D+EE+ME). ^B Final de la madera temprana + madera tardía (LE+L)

6.2. FMI todos los incendios, 10%, 25% probabilidad Weibull

Considerando el 100% de las muestras en el análisis para la presencia de incendios arroja que existe un intervalos de retorno de 13 años, mientras que el intervalo medio de frecuencia FMI es de 5.08 años, considerando un Intervalo Mínimo I_{min} de 1 año y un Intervalo Máximo I_{max} de 12 años con una media de Weibull de 5.1 años (Cuadro 3).

Para el 25% de las muestras el análisis de incendios en el software FHAES versión 2.0 con un intervalos total de 12 años, presentando un Intervalo Medio de Frecuencia FMI de 4.5 años con un intervalo mínimo I_{min} de 1 año y un intervalo máximo I_{max} de 11 años, y una media de Weibull de 4.5 años (Cuadro 3).

Las cicatrices que analiza el programa para el 10% de las muestras presenta un intervalo total de 14 años mientras que para el Intervalo Medio de Frecuencia es de 4.9 años con un Intervalo Mínimo I_{min} de 1 año, y un Intervalo Máximo I_{max} de 12 años, presentando una media de Weibull de 4.9 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de intervalos del 100%, 25% y 10% de las muestras.

Estadísticos	100%	25%	10%
Total Intervalos	13	12	14
Intervalo Medio	5.08	4.5	4.93
Media Weibull	5.1	4.5	4.95
Frecuencia	0.2	0.22	0.2
Intervalo Máximo	12	1	12
Intervalo Mínimo	1	11	1

6.3. Reconstrucción de incendios

La reconstrucción de incendios se va a considerar de 1920-2014 (Figura 8) ya que el tamaño de muestra para el periodo anterior es bajo ya que no soporta una reconstrucción confiable, de tal manera que el análisis para de la presencia del fuego se van a considerar el periodo de 1960-2014, fechas en las que los incendios fueron presentes.

De acuerdo al (Figura 8). Las cicatrices causadas por el fuego para esta región describen un régimen joven de la presencia del fuego, para los últimos 50 años se presenciaron los incendios más severos y extenso ya que se encuentran en gran número de las muestras, considerando así los filtros del 25% y el 10% los valores son muy similares ya que las cicatrices de incendios están en la mayoría de las muestras pertenecientes a un mismo periodo.

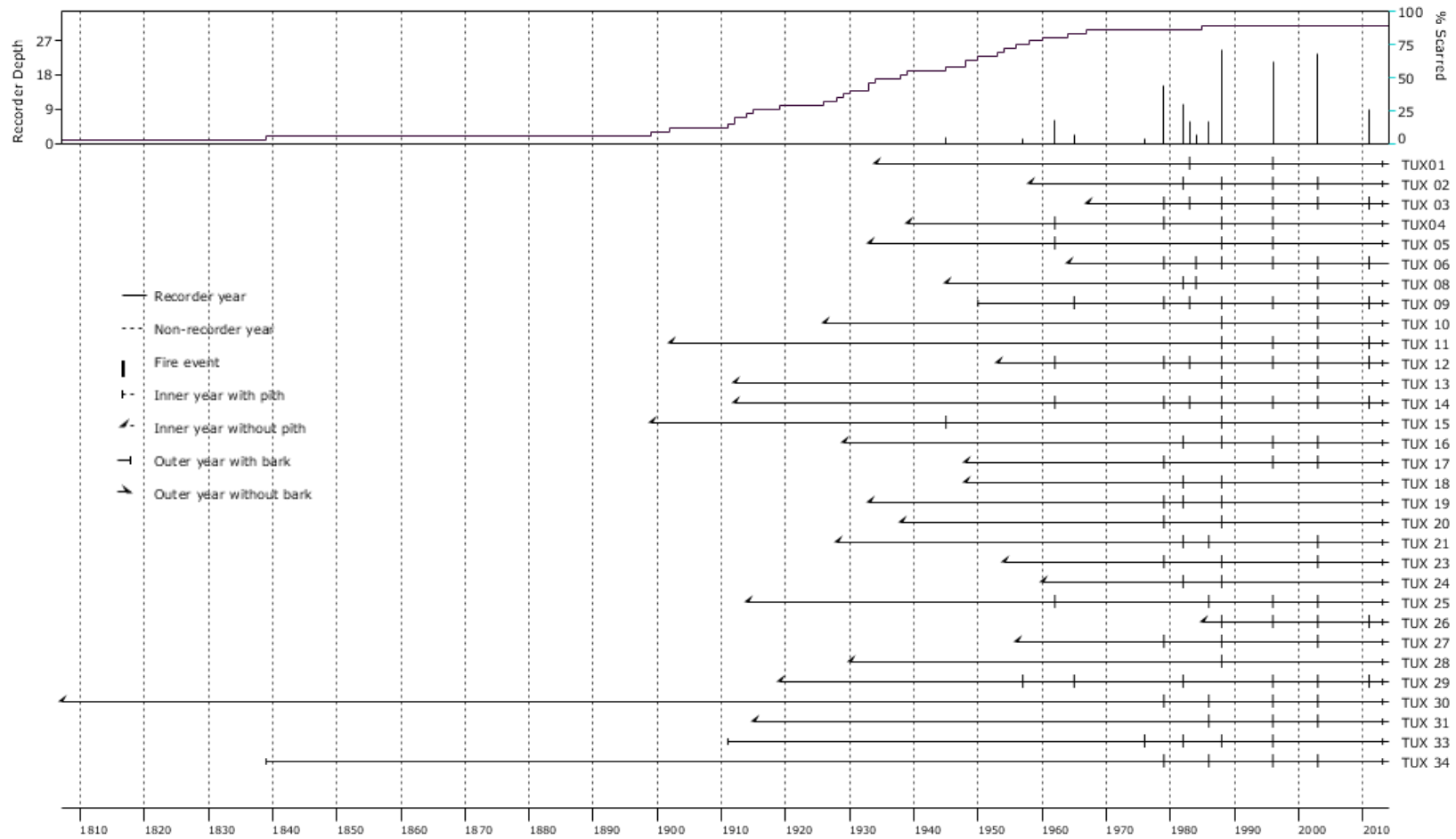


Figura 7. Reconstrucción del régimen de incendios para el bosque del Ejido el Cordoncillo Tamazula, Jalisco.

6.4. Serie dendrocronológica (profundidad de muestra)

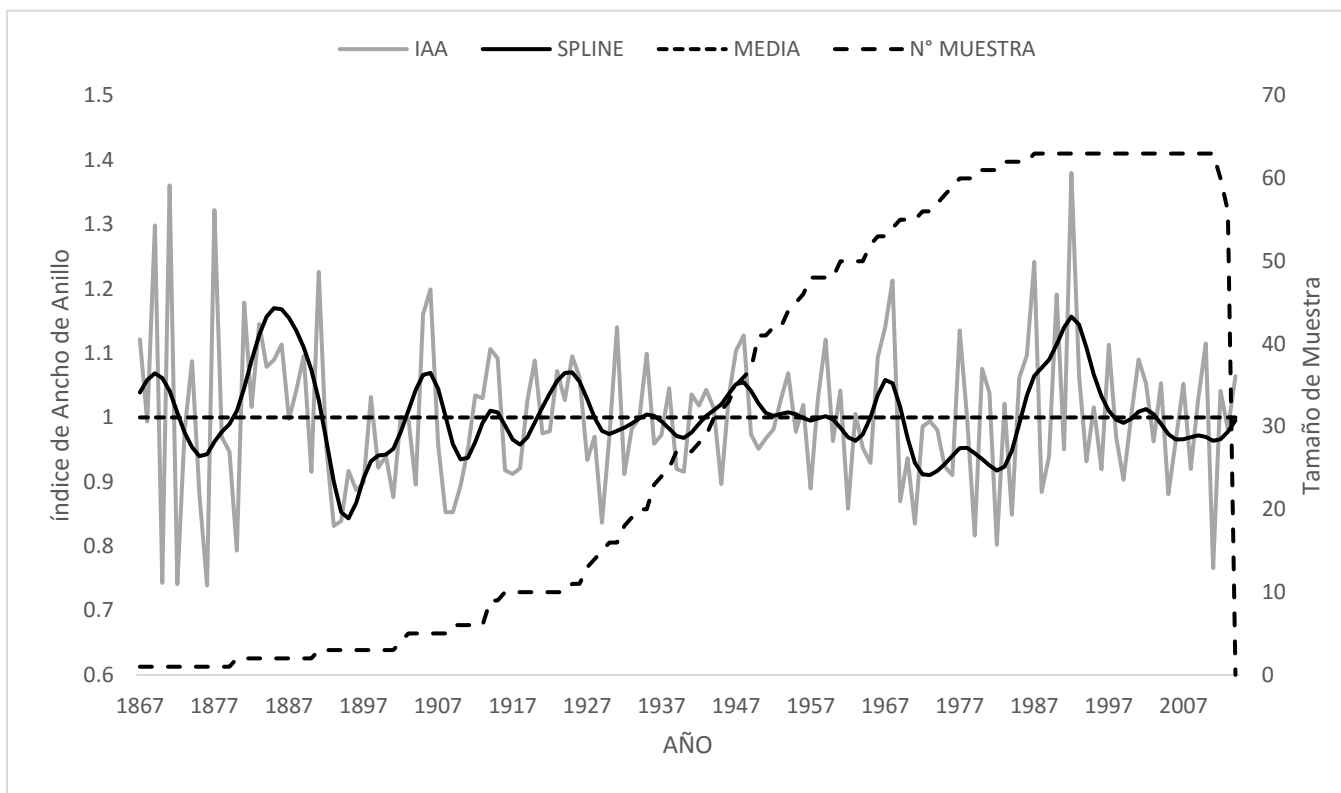


Figura 8. Serie dendrocronológica estándar de anillo total y tamaño de muestra empleado para generar cada uno de los valores de los índices anuales. La serie de tiempo se extiende de 1867 a 2014 (148 años).

De acuerdo a la Figura 9, el tamaño de muestra soporta las cronologías del siglo XIX en adelante ya que es muy poca la muestra que se tiene del año 1900 hacia atrás.

Parámetro de la cronología (intercorrelación entre serieLa intercorrelación entre series para la cronología “residual” de anillos de crecimiento de *Pinus douglasiana* y *Pinus devoniana* están dentro del rango de 0.4 a 0.9 presentado un valor de 0.524 ($P < 0.01$) considerando este parámetro se puede decir que la intercorrelación entre series es confiable para la generación de cronologías.

6.5. Sensibilidad media, autocorrelación, relación señal ruido.

Los valores de autocorrelación que se encontraron están dentro del parámetro que describe (Constante *et al.*, 2010) estando dentro de los valores de las especies más comunes de 0.6 a 0.8 y el valor encontrado para estas especies fue de 0.578 ($P < 0.01$), presentando un valor de sensibilidad de 0.352 con una señal ruido de 0.422.

6.6. Función de respuesta con datos climáticos

Uno de los principios de la dendrocronología, específica que los crecimientos del árbol son la respuesta a un conjunto de factores, sin embargo, existe un factor que domina y limita el crecimiento sobre un área geográfica extensa, de manera que define en gran medida su desarrollo (Fritts, 1976). Para México y sur de Estados Unidos éste factor limitativo de crecimiento es la precipitación (Villanueva *et al.*, 2008).

Se correlaciono el crecimiento de especie con la precipitación, se llevó a cabo utilizando los datos de precipitación anual obtenidos a través del ERIC III extractor rápido de información climática versión 3.2, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2013)

Se utilizaron las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio, utilizando los datos de precipitación anual obtenidos a través del ERIC III extractor rápido de información climática, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) las estaciones

de Cd. Guzmán, Atoyac, Tamazula, Contla, Mazamitla, Chapala, Concepción de Buenos Aires, Gómez Farías y Zapotiltic todas en el estado de Jalisco. Depurando todas aquellas que tiene un corto número de registros datos incompletos, quedando solo tres como los es la Cd. Guzmán, Tamazula y Atoyac.

Los datos utilizados proporcionaron información de la precipitación anual, con un periodo de 1930-1999, para correlacionar anillo total de la cronología residual con la precipitación regional resultando un valor de $r = 0.68$ ($P < 0.01$) en donde el factor climático tuvo mayor influencia

6.7. Desarrollo de modelos de reconstrucción

El modelo de una exponencial negativa es **$yt = a e^{-b t} + k$**

$$yt = a + b \cdot xt + \varepsilon$$

Donde:

yt = Precipitación estacional (mm) en el año t

xt = Índice de ancho de anillo del año t

a y b = Parámetros de regresión

ε = Error experimental

Donde:

Qt = Valor promedio proyectado (amplitud de anillo proyectada al tiempo t).

a , b y k = Coeficiente de regresión estimados para cada especie.

t = Tiempo.

e = Base de logaritmos naturales. Y el ajuste lineal donde $b0$ es el intercepto y $b1$ es la pendiente es el indicado por Holmes (1994).

$$Qt = b0 + b1 t$$

Al dividir el valor real del ancho del anillo entre el valor correspondiente de la curva o el crecimiento esperado por el modelo, se genera el índice de crecimiento.

$$I = W/Y$$

Donde:

I = Índice de ancho de anillo o índice de crecimiento.

W = Ancho de anillo (incremento anual).

Y = Ancho de anillo proyectado.

6.8. Calibración verificación del modelo

Para analizar las tendencias a largo plazo dentro de una serie, el ajuste con rectas de regresión ha sido ampliamente utilizado. En donde el parámetro que indica la tasa de cambio de la variable analizada es la pendiente de la recta ajustada, en donde las unidades son mm/año, en el caso de precipitación; sin embargo, esto debe de realizarse con la debida estandarización para las series y verificando que las serie climática no presente algún tipo de autocorrealción (Ribas., 2006).

La aplicación de una regresión sobre los índices *P. deboniana* y *P. douglasiana* el clima, modelo una ecuación de tipo lineal en el periodo de 1867-2014. En el que los índices de *P. douglasiana* y *P. michoacana* actúan como predictores de la variable precipitación en el tiempo.

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 (x_t)$$

Donde:

y_t = Valor de precipitación reconstruida de un año en particular (mm).

β_0 = Intercepto.

β_1 = Pendiente.

x_t = Índice del ancho de anillo total (variable independiente).

El modelo fue calibrado en el periodo 1930-1966 (32 años) y validado estadísticamente con los datos climáticos independientes del periodo 1967-1999 (31 años) (Figura 10). En éste lapso de tiempo, la precipitación reconstruida con el modelo climático fue comparado estadísticamente con los datos de precipitación obtenidos de la estación climática. El programa utilizado para ello fue VERIFY del DPL (Dendrochronological Program Library) del Laboratorio de anillos de árboles, de la Universidad de Arizona, EUA.

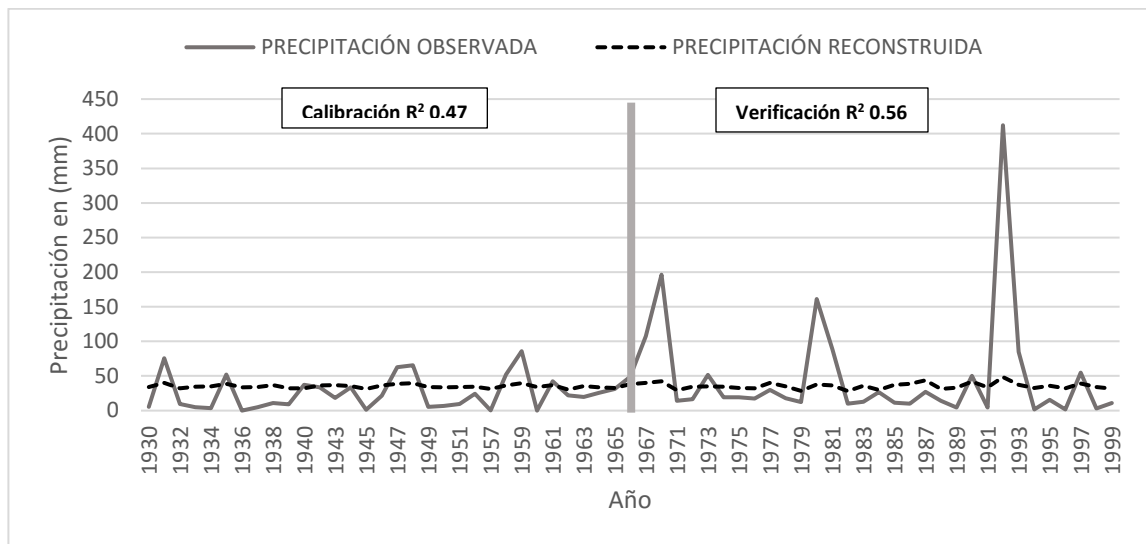


Figura 9. Calibración y verificación del modelo de regresión al comparar la precipitación observada y la reconstruida para el periodo común de datos (1930-1999).

Las pruebas principales mediante las cuales se calibró y verificó el modelo fueron: la reducción del error del modelo, prueba “t”, prueba de signos, así como R2; de esta manera, se validó estadísticamente el modelo con fines de reconstrucción en la extensión total de la cronología, período 1867-2014 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Pruebas para la calibración y la verificación del modelo

Periodo	R2	Pearson corr (r)	Pueba de “t”	Prueba de signos	Reducción del error
Calibración 1930 1966	0.47	0.6903*	0.8060*	9/10*	0.0493*
Verificación 1930 1966	0.56	0.7549*	5.7385*	7/10*	0.4843*

Valor de significancia de ($P < 0.01$)*

Ecuación de reconstrucción

El Modelo a utilizar fue:

$$Y_t = -351.144152 + 386.265843 * X$$

Dónde:

Y_t = Valor de la precipitación reconstruido Enero-mayo de un año en particular (mm).

X_t = Índice de madera temprana.

El cual fue calibrado y verificado con el programa VERIFY.

Cuadro 5. Coeficientes del modelo climático

	Coeficientes	Estimate Std. Error	t valué	Pr(> t)
Intercepto	-351.144152	53.7377927	-6.53439851	1.4532E-08**
Cronología de Madera temprana	386.265843	53.1817268	7.26313089	8.1732E-10***

Significancia 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 * 0.1 . 1

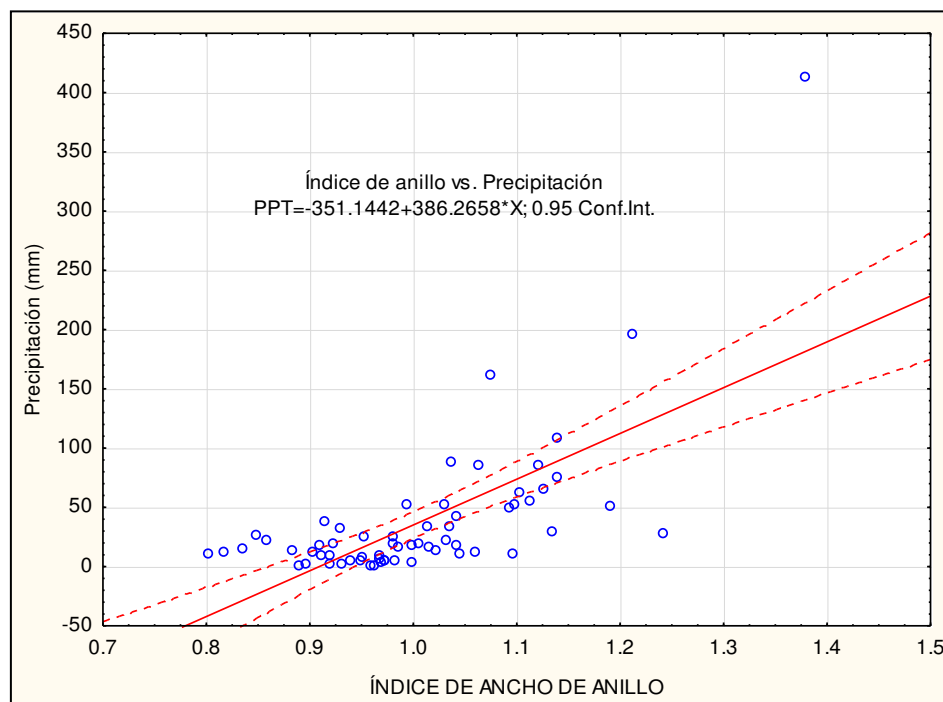


Figura 10. Ajuste del modelo y generación de la ecuación.

6.9. Reconstrucción de las variables climáticas

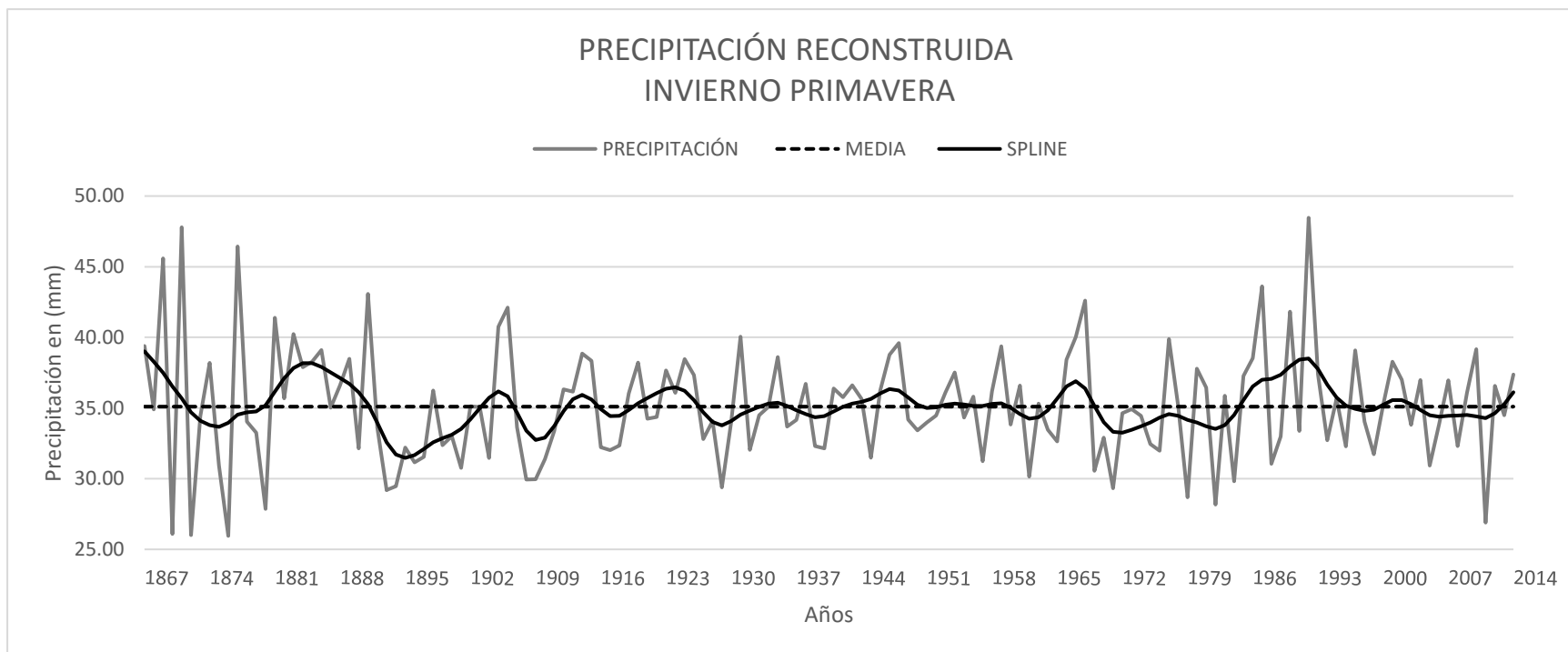


Figura 11. Reconstrucción estacional de precipitación acumulada enero - mayo, del período 1867-2014 para el ejido el Cordoncillo en el estado de Jalisco. La línea negra constituye una línea flexible o media móvil para resaltar eventos secos y húmedos a partir de una media representada por una línea delgada punteada.

6.10. Análisis de la influencia de fenómenos atmosféricos

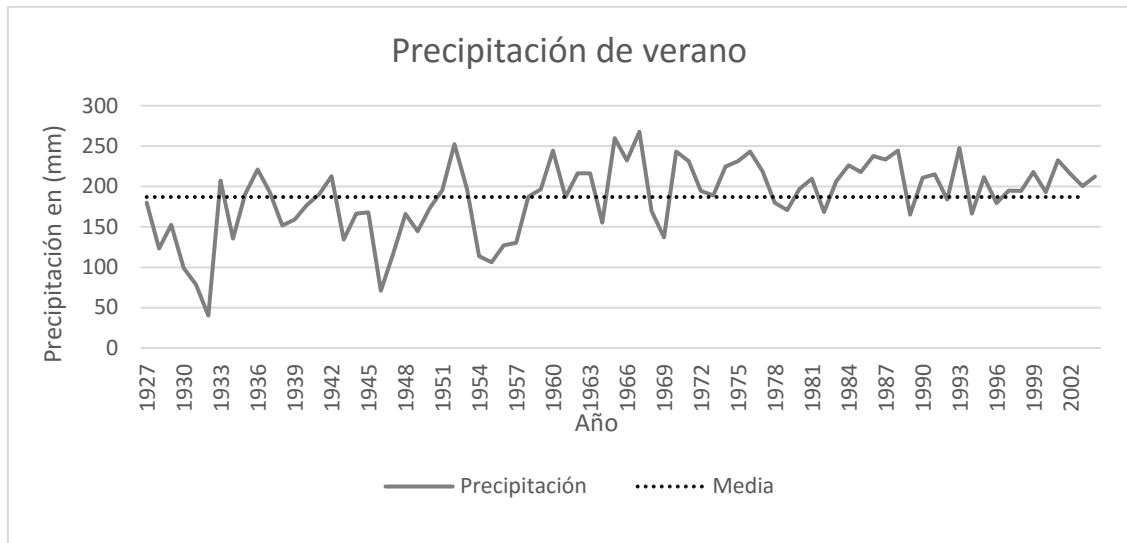


Figura 12. Precipitación promedio acumulada de los meses de Junio, Julio y Agosto.

6.11. Relación clima incendio

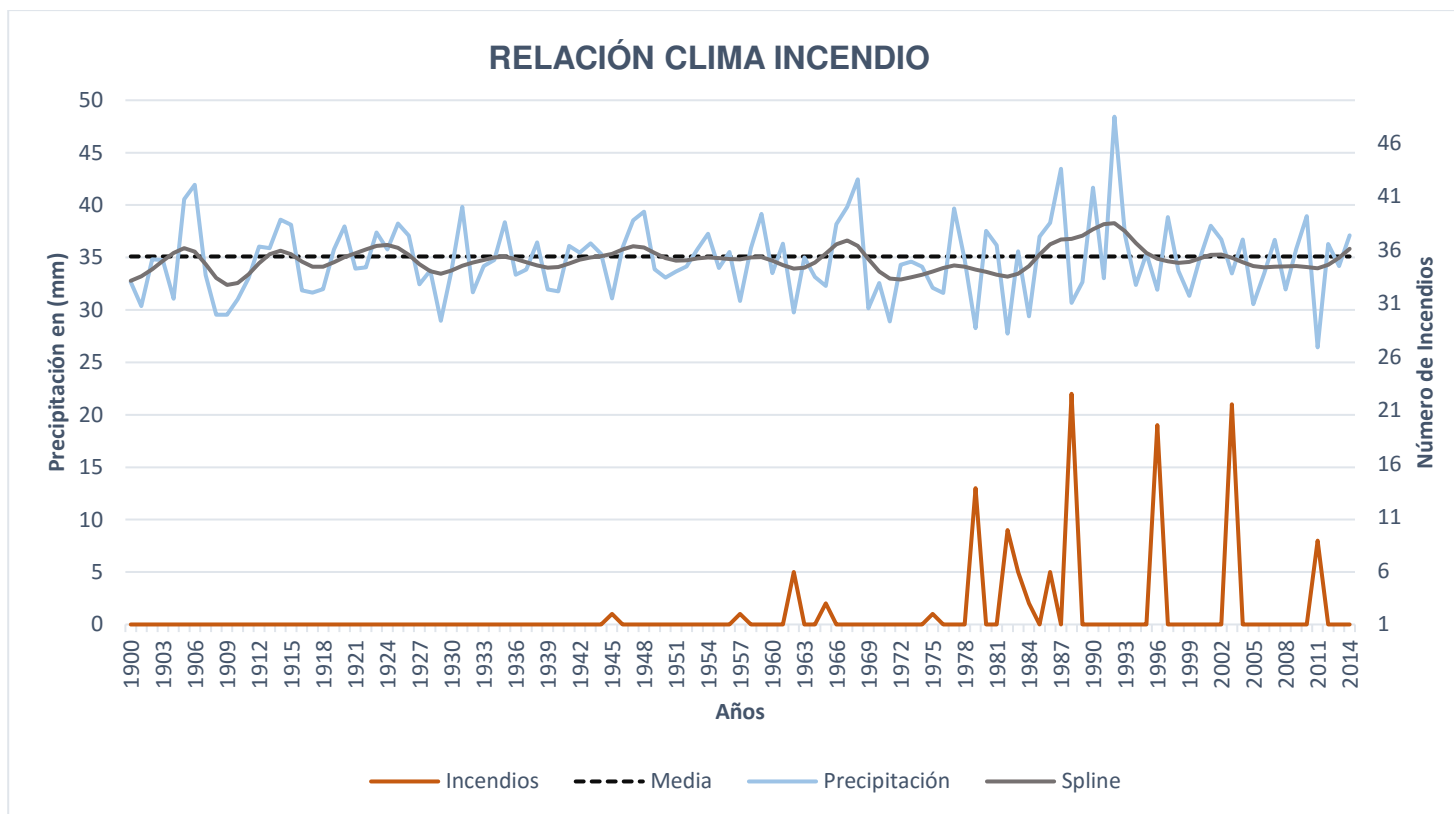


Figura 13. Reconstrucción estacional de precipitación acumulada Enero - Mayo, del período 1900-2014 para el ejido el Cordoncillo en el estado de Jalisco. La línea negra constituye una línea flexible o media móvil para resaltar eventos secos y húmedos a partir de una media representada por una línea delgada punteada.

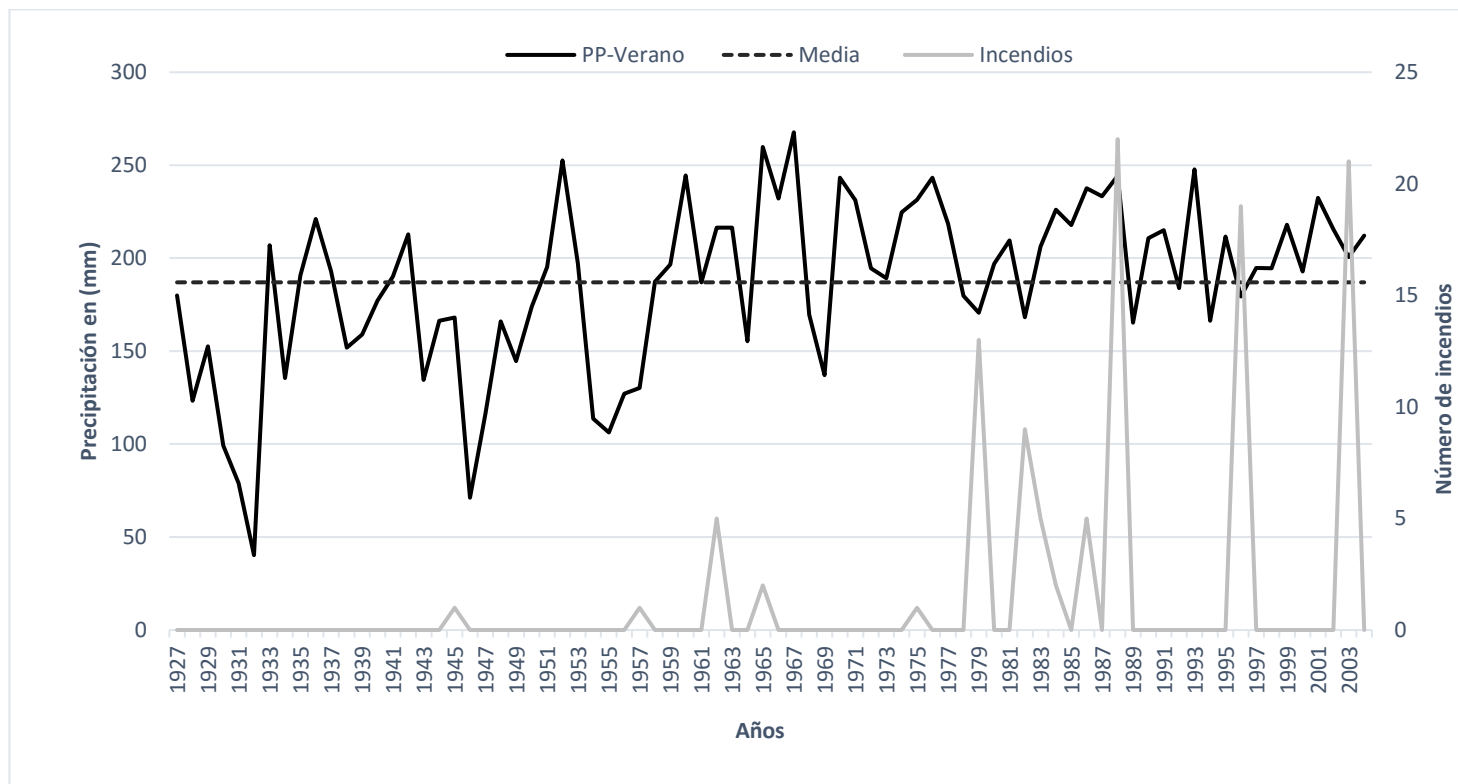


Figura 14. Relación de la precipitación de Verano con la presencia de incendios para El Ejido el Cordoncillo del periodo 1927-2003, en donde ya línea negra representa la precipitación del verano, la línea punteada negra es la media de la precipitación regional del verano, y la línea gris representa el número de incendios por año.

VII. DISCUSIÓN

7.1. Régimen del fuego

En este estudio se logró reconstruir la historia de incendios del Ejido el Cordoncillo para los últimos 94 años (1920-2014) (Figura 8) la amplitud de la reconstrucción se ve limitada debido a que no se encontraron arboles muy longevos atribuido al fuerte aprovechamiento que tuvo el área por la empresa papelera de Atenquique, (1945 -1997) periodo que duro la concesión (UMAFOR, 2012).

Se encontró que durante el periodo de 1910 a 1950 la frecuencia de incendios fue muy baja (Figura 8) esto se asemeja a lo que encontró Cerano *et al.*, (2015) para la RBSM (Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlan), Jalisco donde reconstruyo 173 años, Encontró que la frecuencia de incendios tiene influencia del aprovechamiento forestal, done se eliminó la evidencia de incendios antiguos, así como al control agresivo de incendios.

Para esta zona se encontró que la frecuencia de incendios en los últimos 50 años (Figura 8) ha aumentado siendo diferente a los reportes para el norte de México. Los regímenes de incendios empezaron a cambiar en el período de cambios del uso de tierra después del establecimiento de los ejidos posiblemente reflejando los efectos de poblaciones más altas de personas y animales domésticos aprovechando los recursos forestales, más que nada los pastos que solían proveer el material combustible continuo para incendios superficiales (Fulé *et al.*, 2007)

Para los cuatro eventos de incendios más severos se encontró (1979, 1988,1996 y 2003) de acuerdo a la reconstrucción (Figura 14) todos los eventos se presentaron en épocas de sequía en donde la precipitación está por debajo de la media, mientras que el evento del Niño solo presento valores negativos para el año 1988 y 1996 sin embargo si se encontraron incendios con valores positivos para el evento del Niño. Coincidiendo con lo que encontró Cerano., et al

(PRENSA) en un bosque de *Pinus hartwegii* en el estado de Puebla en donde 15 de 20 incendios se presentaron en la época de estiaje con valores por debajo de la media.

7.2. Variabilidad climática

De acuerdo a la (Figura 14). Los incendios que se presentaron para el presente estudio coinciden con la ausencia de humedad, precipitaciones por debajo de la media (sequía) situación que se repite en diversos estudios como en de Cerano., *et al* (2010) para el cerro del Mohinora con una presencia de incendios en primavera y una relación entre los incendios y las sequias confirmándose esta relación del clima con la presencia de incendios.

Con relación a la presencia de incendios y la precipitación del verano existe una relación estrecha, coincidiendo la presencia de incendios, con la ausencia de precipitación y altas temperaturas ocurriendo en los meses de verano de Marzo-Mayo, agregando la precipitación del verano y comparándola con la presencia de incendios se encontró que años previos al evento se presentaron precipitaciones por encima de la media, posterior a estos eventos se presentó una baja en la humedad, o eventos climáticos como heladas altas temperaturas e incluso fuertes vientos que bajaron la humedad de la carga combustible y esto causo la disponibilidad de materiales combustibles para un incendio.

VIII. CONCLUSIONES

La reconstrucción de la historia de incendios para los últimos años (1920-2014), en el bosque dominado por *P. douglasiana*, muestra que a finales del siglo XX a la primera década del siglo XXI ha permanecido una frecuencia ininterrumpida del fuego. El área presenta incendios frecuentes, con intervalos de 12 y 14 años en las últimas décadas, y de baja intensidad en los incendios de verano sobre el bosque. De acuerdo a lo anterior, la hipótesis planteada en el estudio se cumple.

La ocurrencia de incendios en los bosques de El Cordoncillo, se ha detectado un patrón de presencia del fuego del año 1960 a la fecha, ya que se consideró válida la reconstrucción del año 1920 en adelante y desde esa fecha el número de incendios es insignificante hasta la década de los 60 considerando el 100% de las muestras resulta un MFI de 5.08 años, mientras que para el 25% se tiene un MFI de 4.5 años y en el 10% de las muestras se tiene un valor de MFI de 4.93 años, estos valores son muy parecidos ya que los eventos registrados están en la mayoría de las muestras.

Más del 90% de la ocurrencia de incendios en los bosques de *Pinus douglasiana* ocurre entre los meses de Marzo y Mayo (estación de primavera) cuando el árbol se encuentra en su formación de la madera temprana. Este periodo de mayor ocurrencia se asocia a las condiciones climáticas de baja precipitación y temperaturas altas.

Se desarrolló una cronología en base a núcleos de crecimiento, la cual se utilizó para reconstruir la precipitación y compararla con la presencia de incendios, abarcando desde 1867-2014, utilizando de 1900-2014, presento una correlación entre series 0.524 y un sensibilidad media de 0.352.

Se logró reconstruir la precipitación la cual ayudo a determinar la relación de eventos climáticos con la presencia del fuego y que además servirá al ejido para

darse una idea de las épocas de sequias prolongadas que aquí se marcan, prevenir y mitigar los efectos de sequias en cultivos, ganadería, disponibilidad de agua, e incluso cuestiones alimentarias.

La precipitación regional presento una relación directa en la presencia de incendios explicando que años de baja precipitación serán altos riesgos de presencia de incendios y además la frecuencia de las sequias puede ser un factor determinante para la prevención de los incendios, implementando actividades de control y manejo de combustibles para evitar incendios tan severos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arno, S. F. and K. M. Sneck. 1977. A method for determining fire history in the coniferous forests in the mountain west. USDA Forest Service, General Technical Report INT-142.
- Arno, S. F., & Brown, J. K. (1991). *Overcoming the paradox in managing wildland fire*. National Emergency Training Center.
- Cerano Paredes, J., Villanueva Díaz, J., Fulé, P. Z., Arreola Ávila, J. G., Sánchez Cohen, I., & Valdez Cepeda, R. D. (2009). Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera y bosques*, 15(2), 27-44.
- Cerano, J., Villanueva, P., Fulé, P., Brown, L., Yocom, V., Constante, J., Estrada, V., Constante García, V., Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Cornejo Oviedo, E. H., & Valencia Manzo, S. (2009). Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. Y reconstrucción de precipitación estacional para el Sureste de Coahuila. *Ciencia forestal en México*, 34(106), 17-39.
- Cerano-Paredes, J., Méndez-González, J., Amaro-Sánchez, A., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., & Rubio-Camacho, E. A. (2013). Reconstrucción de precipitación invierno-primavera con anillos anuales de *Pinus douglasiana* en la Reserva de la Biosfera Sierra De Manantlán, Jalisco. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(3), 413-423.
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Fulé, P., Yocom, L., Esquivel-Arriaga, G., & Jardel-Peláez, E. (2015). Historia de

incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Bosque (Valdivia)*, 36(1), 41-52.

Cerano-Paredes. J., Villanueva-Dias. J., Vasques-Selem. L., Cervantes-Martinez. R., Esquivel-Arriaga. G., Guerra-de la Cruz. V., y Pete. Z-Fule. Prensa. Relación clima-incendios en un bosque de *Pinus hartwegii* al norte del estado de Puebla, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Ciudad Universitaria, Coyoacán, México D. F. México, C.P. 04510, INIFAP CENID-RASPA, km. 6,5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango. México.

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (1999) "Uso de Suelo y vegetación modificados por CONABIO". Escala 1:1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.

CONAFOR. 2010. Reporte semanal de incendios forestales. Coordinación General de Conservación Y Restauración Gerencia de Protección de Incendios Forestales. Disponible: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>

CONAFOR. 2011. Reporte semanal de incendios forestales. Coordinación General de Conservación Y Restauración Gerencia de Protección de Incendios Forestales. Disponible: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>

CONAFOR. 2012. Reporte semanal de incendios forestales. Coordinación General de Conservación Y Restauración Gerencia de Protección de Incendios Forestales. Disponible: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>

CONAFOR. 2013. Reporte semanal de incendios forestales. Coordinación General de Conservación Y Restauración Gerencia de Protección de Incendios Forestales. Disponible: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>

CONAFOR. 2014. Reporte semanal de incendios forestales. Coordinación General de Conservación Y Restauración Gerencia de Protección de

Incendios Forestales. Disponible:
<http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>

CONAFOR. 2015. Reporte semanal de incendios forestales. Coordinación General de Conservación Y Restauración Gerencia de Protección de Incendios Forestales. Disponible:
<http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>

Cook, E. R. y R. H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and user manual. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona. Tucson, AZ. 15 p.

IMNTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2013. Extractor rápido de información climática ERIC III versión 3.2 disponible:
<https://www.imta.gob.mx/productos/software/eric-iii-version-3-2-extractor-rapido-de-informacion-climatolo-detail>

Delgado, S. C. 2000. Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos. pp: 79-102 En: Roig. F. A (ed.). Dendrocronología en América latina. EDIUNC. Mendoza, Argentina.

Díaz, J. V., Paredes, J. C., Selem, L. V., Stahle, D. W., Fulé, P. Z., Yocom, L. L., & Corral, J. A. R. (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.

Douglas, A. E. 1919. Climatic cycles and tree-growth. Vol 1. Carnegie institute. Washington, D.C. Publicación 289.

Ecology, development principles for ecological forestry. USDA-Forest Service Northern 91 (6) pp. 1660.1871.

- Farjon, A and B.T. Styles. 1997. Pinus (Pinaceae). Flora Neotropica. Monograph 75. The New York Botanical Garden. New York. 293 pp.
- Franklin, J. F., Mitchell, R. J., & Palik, B. J. (2007). Natural disturbance and stand development principles for ecological forestry.
- Fritts, H. C. 1976. Tree-rings and Climate. Academic press. New York. NY. USA. 567 p.
- Fulé, P. Z., Covington, W. W., & Moore, M. M. (1997). Determining reference conditions for ecosystem management of southwestern ponderosa pine forests. *Ecological Applications*, 7(3), 895-908.
- Fulé, P., Villanueva-Díaz, J., Cornejo-Oviedo, E., Brown, P., & Falk, D. (2007). INCENDIOS FORESTALES Y CLIMA EN EL NORTE DE MÉXICO1. In Resúmenes. VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. Morelia Mich (p. 102).
- García de Miranda, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, 3a. Edición, Enriqueta García, México.
- García E. (1965), "Distribución de la precipitación en la República Mexicana", Publicaciones del Instituto de Geografía, v. I, UNAM, México, pp. 171-191.
- García, E.- Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998). "Climas" (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1, 000,000. México.

- González, T., M. A., Perez, J. J., & Himmelsbach, W. (2007). Reconstrucción del Historial de incendios y estructura forestal en bosques mixtos de pinoencino en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques*, 13(2), 51-63.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Instituto Nacional de Ecología (INE). Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). 2007. "Mapa de Cuencas Hidrográficas de México. 2007". Escala 1:250,000. Elaborado por Priego A. G., Isunza E., Luna N. y Pérez J.L. México. D.F.
- Irby, C. M., Fulé, P. Z., Yocom, L. L., & Díaz, J. V. (2013). Dendrochronological reconstruction of long-term precipitation patterns in Basaseachi National Park, Chihuahua, Mexico. *Madera y bosques*, 19(1), 93-105.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos, (103).
- Llamas CP. 2013. Régimen histórico de incendios forestales en bosques de coníferas del sur occidente de México. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales. Autlán, México. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Universidad de Guadalajara. 80 p.
- Luna J., A. D. L., Montalvo E., L y B. Rendón Aguilar. 2003. Los usos no leñosos de los encinos en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 72: 107 – 117.

- Magaña R. V., Pérez J. L., Conde C., Gay C. y Medina S., 1997: El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México. Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM.
- Magaña, V., Pérez, J. L., Conde, C., Gay, C., & Medina, S. (1997). El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) y sus impactos en México. Reporte INE-Oct, 97.
- Manson, R. H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques*, 10(1), 3-20.
- Marín-C, S y Torres-Ruata, C. (1990), "Hidrogeología". IV. 6.3. Atlas Nacional de México. Vol. II Escala 1: 4 000,000. Instituto de Geografía. México.
- McKenzie, D., C. Miller y D. A Falk. 2011. Toward a Theory of Landscape Fire. En: *The Landscape Ecology of Fire. Ecological Studies*, Springer.Londres, Inglaterra. Pp.3-25.
- Méndez González, J., Ramírez Leyva, A., Cornejo Oviedo, E., Zárate Lupercio, A., & Cavazos Pérez, T. (2010). Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones geográficas*, (73), 57-70.
- 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:
- NASA. 2008. Cool PDO régimen begins. Disponible en <http://motls.blogspot.mx/2008/04/nasa-cool-pdo-regime-begins.html> National Emergency Training Center. 102 p.

- Nylor, T. H., 1971. Dendrochronology in Oaxaca: a preliminary study. *Tree-ring Bulletin* 31: 25 – 29.
- Ortega. J., Sinuhé. 2012. Reconstrucción histórica de incendios mediante anillos de crecimiento en los bosques de San Miguel Cajonos, Oaxaca, México. Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Grado de Maestro en Ciencias, Mención Recursos Forestales.
- Pausas, J. G. 2013. El fuego en los ecosistemas terrestres ahora y siempre. *Incendios necesarios*. 12 p.
- Prager, E. J. y Earle, S. A. 2001. *Los océanos. Un llamado a la conciencia mundial*. McGraw Hill. España, 382 pp.
- Programa Estratégico Forestal del Estado de Jalisco 2007-2030. 2006. Versión 3.0. Disponible <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/181Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%20del%20Estado%20de%20Jalisco.pdf>
- Romero, R. S., Rojas, Z. E. C. y M.L. Aguilar, E. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89: 551 – 593.
- Sánchez-Santillán, N. 2001. Las sequías en México: un breve esbozo. *Teorema ambiental*. *Revista Técnica Ambiental*. Núm. 30. 1-12 pp.
- Santillán-Hernández, M., Cornejo-Oviedo, E. H., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Valencia-Manzo, S., & Capó-Arteaga, Selam, L. V. Red Dendrocronológica del Pino de Altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) 2013. Para estudios dendroclimáticos en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*.

SEGOB. Secretaria de Gobernación. 2014. Diario Oficial de la Federación. Programa Nacional Forestal 2014-2018.

SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2015. Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales. Centro Nacional de Control de Incendios Forestales. Reporte Semanal de Resultados de Incendios Forestales 2015 del Primero de Enero al 31 de Diciembre del 2015.

SEMARNAT-CONAFOR. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Comisión Nacional Forestal. 2013. Incendios Forestales en México Temporada. Campaña 2013.

Serrano, J., L. Rodríguez y Y. Vargas. 1990. Análisis estadísticos de datos dendrocronológicos para el Desierto de los Leones, México, D.F. En: XI Congreso de Botánica: Programas y Resúmenes. Oaxtepec, Morelos. 30 de Septiembre al 5 de Octubre. P. 184.

SIRE, CONABIO-PRONARE. PAQUETE TECNOLÓGICO. FUENTE: <http://ls.la.asu.edu/herbarium/treeshrub/pages/plants/querug.html>

Stahle, D. W.; D'Arrigo, Krusic, P. J.; Cleaveland, M. K.; Cook, E. R.; Allan, R. J.; Cole, J. E.; Dunbar, R. B.; Therrell, M. D.; Gay, D. A.; Moore, M. D.; Stokes, M. A.; Burns, B. T.; Villanueva-Diaz, J.; Thompson, L. G. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(10): 2137-2152 pp.

Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois. USA. 73.

- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1995. An Introduction to Tree-Ring Dating, University of Arizona Press, Tucson. 68 p.
- Suzan, H. y M. Franco. 1981. Estudios dendrocronológicos en México en poblaciones de *Pinus hartwegii*. En: Memorias del VII Congreso Mexicano de Botánica. Pp.277,278.
- TNC (The Nature Conservancy). 2004. El fuego, los ecosistemas y la gente. TNC. Tallahassee, Florida, U.S.A. 9 p.
- Trenberth, K. E. (1997). The definition of el nino. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(12), 2771-2777.
- UMAFOR (Unidad de Manejo Forestal Regional Sur Sureste 1404). 2012 estudio regional forestal. Asesores Forestales de Occidente S.A de C.V. Jalisco, México. 263 p.
- Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Cleaveland, M. K., & Sanchez Cohen, I. (2004). Elementos basicos de la dendrocronologia y sus aplicaciones en Mexico. INIFAP Folleto Tecnico, (2).
- Villanueva, D. J., Cerano P., Stahle, W. D.; Estrada, A.J. y V. Constante G. 2008. Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mrlb.) Franco y reconstrucción de la precipitación y Flujo en México. Folleto Científico No. 23. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. México. 49 p.
- Villanueva, D. J., Cerano P.J, Constante G. V., Fulé Z. P y E. Cornejo Oviedo. 2009b. Variabilidad hidroclimática histórica de la Sierra de Zapalinamé y disponibilidad de recursos hídricos para Saltillo, Coahuila. Madera y Bosques 15(3): 45-64.

Villanueva, D. J., Paredes, J. C., García, V. C., Stahle, D. W., Ávalos, J. E., & Plascencia, M. T. (2011). Variabilidad hidroclimática histórica del norte de México inferida con anillos de crecimiento de Douglas-Fir. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (2), 221-234.

Villanueva, D.J, Cerano, P. J., Stahle, D.W., Therrel., Constante G.V., Estrada, A.J. 2010. Estandarización y Desarrollo de Series Dendrocronológicas en México. Folleto Técnico No 16. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-planta. Atmósfera. Gómez Palacio Durango. México.

Yocom, L. L., Fulé, P. Z., Brown, P. M., Cerano, J., Villanueva-Díaz, J., Falk, D. A., & Cornejo-Oviedo, E. (2010). El Niño–Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology*, 91(6), 1660-1671.

Yocom LL, PZ Fulé. 2012. Human and climate influences on frequent fire in a high-elevation tropical forest. *Journal of Applied Ecology*. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02216.x