



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

**Ecología e historia ambiental del bosque de
oyamel: *Abies religiosa* (Kunth) Schldl. &
Cham. del estado de Hidalgo, México**

T E S I S

Que para obtener el título de

Maestra en Ciencias en Biodiversidad y Conservación

Presenta

ADRIANA GISELA HERNÁNDEZ ÁLVAREZ

Director de tesis: Dr. Arturo Sánchez González



Mineral de la Reforma, Hgo., a 15 de noviembre de 2018

Número de control: ICBI-D/1125/2018

Asunto: Autorización de impresión de tesis.

**M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Por este conducto le comunico que el comité revisor asignado a la C. Adriana Gisela Hernández Álvarez, alumna de la Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación con número de cuenta 233017, autoriza la impresión del proyecto de tesis titulado **"Ecología e historia ambiental del bosque de oyamel: Abies religiosa (Kunth) Schtdl. & Cham. del estado de Hidalgo, México"** en virtud de que se han efectuado las revisiones y correcciones pertinentes.

A continuación se registran las firmas de conformidad de los integrantes del comité revisor.

PRESIDENTE Dra. María del Consuelo Cuevas Cardona

SECRETARIO Dr. José Villanueva Díaz

VOCAL Dr. Arturo Sánchez González

SUPLENTE Dr. Pablo Octavio Aguilar

Sin otro particular reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Óscar Roberto Suárez Castillo
Director del ICBI



ORSC/LVCL

Ciudad del Conocimiento
Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5 Colonia
Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México, C.P. 42184
Teléfono: +52 (771) 71 720 00 ext. 2231
Fax 2109
direccion_icbi@uaeh.edu.mx



AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este trabajo hubiera sido imposible sin la ayuda de mucha gente e instituciones en el camino. Por lo que, antes de empezar, quisiera agradecerles.

Primero que nada, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de Maestría 604934 otorgada y con la cual pude realizar en su mayor parte este proyecto. Además, el presente estudio recibió apoyo financiero del CONACyT, a través del proyecto de Ciencia Básica CB-2016/284484, titulado: Efecto del cambio climático sobre poblaciones relictas de árboles: integrando dendrocronología y genética de poblaciones.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por la oportunidad de trabajar en el programa de Maestría, sin olvidar a mis profesores, por sus enseñanzas y ejemplo.

Al Dr. Arturo Sánchez González, quien por su confianza, paciencia y dedicación constantes, pude terminar este programa.

Por supuesto, a mis asesores Dra. Consuelo, por su gran esfuerzo en la elaboración de este escrito; al Dr. Pablo, por el tiempo dedicado al proyecto; y también al Dr. José, gracias por la dedicación en el curso y en la estancia, es un gran ejemplo.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Durango, principalmente al equipo del Laboratorio de Dendrocronología del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), por permitirme realizar mi trabajo en sus instalaciones, de una forma muy especial a Fati, Mili y Aldo.

A Doña Martita.

Al Parque Nacional El Chico, por permitirme conocer un poco más este hermoso lugar.

A los ejidos de Llano Grande, Pueblo Nuevo, Tecocomulco y Xolostitla, quienes laboran constantemente en el bosque; y dentro de ellos, a cada uno de los ejidatarios que enfrentan día a día los problemas que azotan a nuestros ecosistemas: doña Claudia, don Miguel, don Reyes..., gracias por ser nuestros guías y permitirnos conocer las tierras que cuidan.

A mi familia, que nunca puso un pero para que continuara con lo que me propuse, al contrario, siempre me apoyaron hasta límites que sólo ellos pueden. Los amo a cada uno.

A mis compañeros y nuevos amigos, por su ayuda en clase, la compañía y esfuerzo en campo, y también de quienes he aprendido y compartido muy gratos momentos: Eli, Lucero, Mariana, Marisol, José Luis, Jesús...

A Santiago, por tu fortaleza, cariño y enorme ayuda, te amo.

DEDICATORIA

A mi familia entera, principalmente, a mis padres y hermanos, mi sobrina y Santiago.

Dedico de manera especial, a todos aquellos que luchan diariamente por proteger nuestra biodiversidad, desde los que trabajan en oficinas haciendo investigaciones hasta los que enfrentan cara a cara los problemas en nuestros diversos ecosistemas.

Muy esencialmente, a los que perdieron la batalla en el camino por esta causa, espero poder contribuir en algo tomando como base este presente.

Contenido	Página
Índice de cuadros.....	II
Índice de figuras.....	III
RESUMEN.....	V
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	4
Taxonomía de <i>Abies</i>	4
Estudios con el género <i>Abies</i> en México.....	6
Estudios con <i>Abies</i> en el estado de Hidalgo.....	8
JUSTIFICACIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	11
Objetivo general.....	11
Objetivos particulares.....	11
MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
Área de estudio.....	12
Estructura del bosque de oyamel.....	14
Estructura poblacional de <i>Abies religiosa</i>	15
Análisis dendrocronológico.....	17
Historia ambiental.....	21
RESULTADOS.....	22
Estructura del bosque de oyamel.....	22
Estructura de la población de <i>Abies religiosa</i>	29
Análisis dendrocronológico.....	34
Índice de ancho de anillo.....	36
Comparación entre cronologías.....	38
Liberaciones y supresiones en los anillos de crecimiento...	40
Relación entre el índice de ancho de anillo y el clima.....	43
Historia del uso del bosque de oyamel del estado de Hidalgo.....	52
DISCUSIÓN.....	60
Estructura del bosque de oyamel.....	60
Estructura poblacional de <i>Abies religiosa</i>	63
Análisis dendrocronológico.....	64
Relación entre el crecimiento de los árboles y el clima	66
CONCLUSIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	75

Índice de cuadros

Cuadro	Página
1. Estudios ecológicos y florísticos del bosque de oyamel de México.....	7
2. Especies de árboles y arbustos del bosque de oyamel, que presentaron los VIR más altos (> 3) en los cinco sitios de muestreo.....	22-23
3. Estadísticas básicas de las cronologías estándar de <i>Abies religiosa</i> , obtenidas con el programa ARSTAN.....	34
4. Periodos en que ocurrieron hechos históricos importantes, posiblemente relacionados con liberaciones o supresiones en el crecimiento de los árboles de oyamel en los sitios analizados.....	59

Índice de figuras

Figura	Página
1. Mapa de distribución de los bosques de oyamel en el estado de Hidalgo.....	14
2. Ejemplo de plántulas de <i>Abies religiosa</i> encontradas en los sitios de muestreo.....	16
3. Ejemplo de extracción de una serie de crecimiento o “viruta” con el taladro Pressler.....	18
4. Equipo de medición VELMEX.....	19
5. Dendrograma que muestra la semejanza en la composición de especies y en la estructura del bosque de oyamel de los sitios de muestreo en el estado de Hidalgo.....	24
6. Diagrama de perfil semi-realista de los sitios integrados por el PNEC y ejido El Cerezo (grupo 1).....	25
7. Perfil semi-realista del bosque de oyamel de Pueblo Nuevo (grupo 2).....	26
8. Perfil semi-realista de la comunidad del ejido Xolostitla (grupo tres).....	27
9. Perfil semi-realista del bosque de oyamel del ejido Tecocomulco (grupo 4)..	28
10. Clases de altura y diámetro de las cinco poblaciones de <i>A. religiosa</i> del estado de Hidalgo, México.....	30
11. Correlación entre altura y diámetro de los individuos en los cinco sitios de estudio.....	31
12. Valores de correlación entre altura-edad y diámetro-edad de los individuos de las poblaciones de <i>Abies religiosa</i> analizadas.....	32
13. Altura de los individuos de <i>A. religiosa</i> con DAP < 2.5 cm en los cinco sitios de muestreo.....	33
14. Cronología de las series de crecimiento, con base en el ancho de anillo de los árboles de oyamel, en los sitios de muestreo del estado de Hidalgo...	35
15. Índice de ancho de anillo, línea de ajuste <i>spline</i> y promedio, en <i>A. religiosa</i> en los diferentes sitios de muestreo.....	37
16. Comparación de Índice de Ancho de Anillo entre sitios: A) poblaciones de oyamel de los sitios de muestreo y de la presa Jaramillo con <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco; B) el sitio cuatro que corresponde al ejido Xolostitla presentó los valores estadísticos más robustos; C) los sitios PNEC y ejido El Cerezo presentaron los valores de correlación más altos y estadísticamente significativos ($P < 0.01$).....	39
17. Porcentaje de cambio de crecimiento (liberaciones y supresiones) determinado a partir del promedio de crecimiento radial anual de <i>A. religiosa</i> y en periodos de cinco años, en los cinco sitios de estudio.....	42

18. Coeficientes de correlación de la precipitación total en los meses con lluvia en los sitios de estudio, con respecto al índice de ancho de anillo de madera temprana, tardía y total.....	46
19. Coeficientes de correlación de la precipitación total en los meses de sequía en los sitios de estudio, con respecto al índice de ancho de anillo de madera temprana, tardía y total.....	47
20. Coeficientes de correlación de la temperatura máxima, comparada con los índices de ancho de anillo de madera temprana, tardía y total en los sitios de estudio.....	48
21. Coeficientes de correlación de la temperatura mínima con respecto a los índices de ancho de anillo de madera temprana, tardía y total en los sitios de estudio.....	50
22. Coeficientes de correlación entre la temperatura promedio y el índice de ancho de anillo de la madera temprana, tardía y total, en los sitios de estudio.....	51

RESUMEN

El bosque de oyamel con más amplia distribución y cobertura de México, se distribuye en la Faja Volcánica Transmexicana. El dosel de este tipo de vegetación es dominado por *Abies religiosa* (oyamel). En la actualidad existen algunos estudios ecológicos a nivel poblacional sobre esta especie y sobre la comunidad vegetal que conforma, pero todavía existen huecos importantes en el conocimiento de aspectos biológicos básicos, que pueden ser de utilidad para establecer estrategias de manejo y conservación. Por esta razón, los objetivos del presente estudio se enfocaron a reconstruir la historia ambiental del bosque de oyamel, a partir del análisis de a) la estructura ecológica del bosque, b) la estructura ecológica y dendrocronológica de las poblaciones de *A. religiosa*; y c) la información a través de entrevistas y revisión de archivos históricos. El área de estudio incluyó cinco localidades con bosque de oyamel del estado de Hidalgo, localizadas a lo largo de un gradiente geográfico de disturbio antrópico. En cada localidad se colocaron cinco parcelas de muestreo de 1000 m², para obtener datos estándar a nivel comunitario (densidad, cobertura, frecuencia y área basal de especies de árboles y arbustos) y poblacional (densidad, área basal y altura de los individuos). En el estudio dendrocronológico se eligieron 20 individuos maduros y sanos en cada localidad, para extraer las muestras (series de crecimiento) y se recurrió a procedimientos estándar para la reconstrucción de las cronologías a partir del conteo de los anillos de crecimiento. Se obtuvieron datos del índice de ancho de anillo (IAA) y otras métricas. Las entrevistas fueron dirigidas a personas clave de cada localidad (personas con experiencia, dedicadas al trabajo en campo y al manejo del bosque de oyamel). Los archivos históricos del manejo del bosque se localizaron en el Archivo General de la Nación. En los resultados,

a nivel comunitario, se identificaron 31 especies de árboles y arbustos dominantes, pero la estructura del bosque difirió en algunas localidades, en particular entre las más lejanas geográficamente, corroborando el papel del disturbio antrópico y de las condiciones ambientales locales. A nivel de especie, se encontró que las poblaciones de *A. religiosa* son dinámicas o con predominio de individuos jóvenes (3), o bien, poblaciones normales (2): con predominio de individuos de tamaño intermedio. Los resultados del análisis dendrocronológico indicaron que existe correlación entre series de crecimiento, por lo que el oyamel es un buen indicador de cambios ambientales. La cronología más antigua fue de 166 años y la más reciente de 108 años. Las correlaciones altas entre cronologías corroboran la similitud en el patrón de crecimiento de los árboles. Además, se encontraron coincidencias entre supresiones y liberaciones en el crecimiento de los individuos y los años de sequía y humedad. Los valores de correlación entre crecimiento radial (IAA) y algunos meses del año con alta precipitación (abril, mayo y septiembre) y baja precipitación pluvial (octubre y marzo) fueron positivos y significativos. La integración de varias disciplinas del conocimiento permitieron ampliar el conocimiento sobre el estado actual de los bosques de oyamel del estado de Hidalgo y nos dan un panorama general de la historia ambiental de los mismos en el siglo XX y XXI, que pueden ser de gran utilidad para establecer programas de manejo y conservación de la especie y por ende, del bosque en México.

INTRODUCCIÓN

El bosque de *Abies religiosa* o bosque de oyamel tiene una distribución restringida en México, en forma análoga a un archipiélago y ocupa sólo 0.16% de la superficie del país (Flores-Mata *et al.*, 1971; Vázquez-García, 1993; Rzedowski, 1998). Es un bosque típico de la zona ecológica templada subhúmeda (*sensu* Toledo *et al.*, 1993), con características florísticas y ecológicas especiales, asociadas a factores climáticos y edáficos. Suele desarrollarse en zonas montañosas en altitudes entre 2,400 y 3,500 m (Rzedowski, 1978; Sánchez-González y López-Mata, 2005). Las áreas continuas más extensas de estos bosques se localizan en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT, *sensu* Ferrusquía, 1998), donde *A. religiosa* (Kunth) Cham. *et* Schltl., domina el estrato arbóreo superior.

El bosque maduro de oyamel es denso, mide de 20 a 40 m de alto; puede albergar diversas especies arbóreas, arbustivas y herbáceas debido a la topografía, a la intervención humana u otras causas (Challenger, 1998; Sánchez-González y López-Mata, 2005). Este tipo de bosque se destaca por sus funciones de protección contra la erosión, captura de carbono, captación de agua y regulación de la escorrentía (Hernández, 1985); además, ofrece beneficios económicos por tener la madera más rica en celulosa, empleada en la fabricación de papel fino que alcanza los precios más altos en el mercado (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2015).

Actualmente, las poblaciones de *Abies religiosa* o el bosque de oyamel que conforma, están disminuyendo en forma drástica, principalmente por causa de la tala immoderada, desmontes, incendios, pastoreo, contaminación ambiental, plagas y enfermedades (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998; Sánchez-González y López-Mata,

2005). Hasta el momento, no existen datos precisos de los cambios que ha tenido este tipo de vegetación con respecto a su estado original, porque los análisis a nivel local, por ejemplo, en las áreas naturales protegidas Parque Nacional el Chico (PNC) y Parque Nacional Los Mármoles o PNLM (CONANP, 2006, 2007); y también a nivel regional, como en la FVT (Sánchez-González *et al.*, 2005), incluyen datos parciales que no han considerado con detalle su composición florística, estructura y distribución (Ángeles-Cervantes y López-Mata, 2009; Razo-Zárate *et al.*, 2013).

Una de las áreas del conocimiento que puede ayudar a comprender los cambios que han ocurrido en los bosques de oyamel, es la Historia Ambiental, cuyo objetivo es el estudio de las sociedades humanas y la historicidad de los sistemas naturales (Padua, 2010, González de Molina y Toledo, 2011). Al esquematizar las actividades que los seres humanos han realizado e integrarlas al ambiente en distintas etapas de la historia (Meléndez, 2002), es posible documentar los cambios del pasado y determinar los factores antrópicos responsables de dichos sucesos (Gallini, 2009). De esta manera, permite comprender mejor las diferentes situaciones locales para establecer estrategias de conservación y uso sostenible apropiadas (Grau *et al.*, 2010); tal como lo han demostrado los estudios realizados en el estado de Hidalgo por López-Ramírez (2013) en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán y por Ortiz-Quijano (2015) en los bosques de haya del estado de Hidalgo.

Como parte integral de la historia ambiental, el análisis de la estructura de tamaños, diámetros y edades de los árboles, permite reconstruir la historia reciente, y definir la dinámica y estabilidad poblacional; lo cual adquiere mayor relevancia para especies incluidas en alguna categoría de riesgo ya que ayuda a establecer estrategias de uso,

manejo y conservación (Ortiz-Quijano, 2015). Si además de dichos parámetros, se estima la edad mediante el crecimiento radial de los árboles, se puede reconstruir con mayor detalle y certidumbre la historia contemporánea de los bosques (Rozas, 2002; Ortiz-Quijano *et al.*, 2018).

La dendrocronología es el estudio de la secuencia cronológica de los anillos de crecimiento anual de las especies arbóreas (Stokes y Smiley, 1968). La información obtenida a través del estudio de los anillos de crecimiento representa un registro de los cambios en las condiciones ambientales (Jagels *et al.*, 1994; Pumijumnong y Park, 1999), por ejemplo: presencia de enfermedades y plagas, déficit hídrico prolongado, cambio climático, daños causados por incendios, entre otros (Wilpert, 1991; Shortle *et al.*, 1995; Vaganov, 1996; Wimmer *et al.*, 1996; Bernal-Salazar y Terrazas, 2000). Existen varios estudios en distintas regiones con bosque de oyamel de la República Mexicana, en los que utilizan la dendrocronología para establecer la relación entre los cambios en el desarrollo de los anillos de crecimiento y la variación en las condiciones ambientales (Rincón y Swetnam, 1991; Martínez, 2011; Cerano-Paredes *et al.*, 2013).

ANTECEDENTES

Taxonomía de *Abies*

Las coníferas (Pinophyta) son árboles o arbustos dioicos o monoicos con la corteza rugosa o lisa, en placas grandes y gruesas con fisuras o en tiras largas y delgadas. En el mundo, existen entre 546 y 670 especies de este grupo de plantas (Eckenwalder, 2009; Farjon, 2010), distribuidas en 6 familias y 71 géneros. En México se distribuyen 94 especies de coníferas, clasificadas en cuatro familias (Cupressaceae, Pinaceae, Podocarpaceae y Taxaceae) y 10 géneros (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014), lo que representa sólo 0.4% del total de especies de plantas vasculares (23,314) en el país (Villaseñor y Ortiz, 2004, Villaseñor, 2016).

En el noroeste de México se concentra la mayor riqueza de coníferas, principalmente en los estados de Durango, Jalisco y Chihuahua, con 32, 31 y 29 especies, respectivamente. En el noreste, en la Sierra Madre Oriental, los estados con mayor número de especies son Coahuila con 28, y Nuevo León e Hidalgo con 24 cada uno (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). En Hidalgo, Veracruz, Puebla y Oaxaca, se concentra una alta riqueza de géneros de coníferas, ocho en total: *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Podocarpus*, *Taxodium* y *Taxus*.

El género *Abies* (Pinaceae), incluye especies de crecimiento arbóreo, algunos individuos alcanzan hasta 70 m de altura. Es uno de los géneros de coníferas más diversificados en México (Liu, 1971), con 8 (17%) de las 47 especies que existen en el mundo, e incluye nueve variedades (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). Una de las características encontradas en las coníferas mexicanas, es que poseen altos niveles de variabilidad morfológica intra-específica y bajos niveles de diferenciación inter-específica,

tal como ocurre en *Abies* (Jaramillo-Correa *et al.*, 2008; Strandby *et al.*, 2009; Aguirre-Planter *et al.*, 2012).

Las comunidades vegetales dominadas por especies de *Abies*, denominadas “bosque de oyamel”, suelen ser más densas en comparación con los bosques de *Pinus*, con alto volumen de germoplasma y con estratos arbustivo, herbáceo y rastrero bien definidos, que representan mayor riqueza biológica. De igual forma, el follaje abundante de los oyameles proporciona un ambiente de sombra y humedad que permite la proliferación de hongos, hepáticas, musgos y helechos (Rzedowski, 1978; Toledo *et al.*, 1993; Sánchez-González *et al.*, 2005).

El bosque de oyamel con más amplia distribución y cobertura en México se desarrolla en la FVT, en donde la especie dominante es *A. religiosa* (Sánchez-González *et al.*, 2005). La riqueza florística de este bosque incluye aproximadamente 76 familias, 222 géneros y 510 especies de plantas vasculares (angiospermas, pteridofitas y gimnospermas). Las familias más comunes: Asteraceae, Boraginaceae, Caryophyllaceae, Cruciferaeae, Ericaceae, Geraniaceae, Lamiaceae, Leguminosae, Onagraceae, Orchidaceae, Poaceae, Rosaceae, Scrophulariaceae y Solanaceae, incluyen más del 50% de los géneros y especies que conforman el bosque.

En el estado de Hidalgo se registran dos especies del género *Abies*. La especie más común y con mayor cobertura espacial es *A. religiosa*, se distribuye en el Parque Nacional El Chico (municipios de Mineral del Chico y Pachuca de Soto), en la Sierra de Pachuca (Mineral del Monte y Omitlán de Juárez) y en los municipios Cuautepéc de Hinojosa, Epazoyucan, Singuilucan y Tepeapulco (Calderón-Rzedowski y Rzedowski, 1979; Granados-Sánchez, 2000; Sánchez-González *et al.*, 2005; CONANP, 2006, 2007). La

otra especie, *Abies hidalgensis*, se distribuye en los municipios de Acaxochitlán, Agua Blanca de Iturbide, Tenango de Doria y en el Parque Nacional Los Mármoles, en el municipio de Zimapán (Dbreczy y Rácz, 1995, 2003; García, 2002).

Estudios con el género *Abies* en México

Existen varios estudios ecológicos de los bosques de *Abies religiosa* de México, sobresale el de Sánchez-Velásquez y Hernández-Martínez (1991), en el que determinaron las condiciones de altitud, pendiente y exposición del bosque en la región del Cofre de Perote, Veracruz, México; en dicho trabajo también determinaron la edad de los árboles. Por otra parte, Sánchez-González *et al.* (2005), analizaron la composición y estructura de los bosques de *A. religiosa* de la FVT (Cuadro 1) y evaluaron su semejanza en composición de familias, géneros y especies de plantas vasculares, aportando con ello, un panorama más amplio de la riqueza florística de este tipo de vegetación en el país.

Los estudios dendrocronológicos en México, se han enfocado principalmente al análisis de la influencia del clima sobre los anillos de crecimiento de *Abies* y de otras especies de Pinaceae. Martínez (2011) determinó el índice de crecimiento a partir de los anillos anuales de *A. religiosa* y *Pinus hartwegii* a lo largo de un transecto en la Faja Volcánica Transmexicana que abarco la zonas montañosas del Nevado de Colima, Pico de Tancítaro, Nevado de Toluca, Cerro Tláloc, La Malinche y Pico de Orizaba. Demostraron que los árboles de pino son más longevos que los de oyamel, y fue en esta última especie donde encontraron mayor variación en los índices de crecimiento y una tendencia de crecimiento más alta en los últimos tres años.

Cuadro 1. Estudios ecológicos y florísticos del bosque de oyamel de México

Autor y año	Estudios de composición, riqueza y estructura del bosque de <i>Abies</i> de México
Sánchez-González <i>et al.</i> (2005)	Composición florística: 76 familias, 222 géneros y 510 especies de plantas vasculares en 12 localidades distintas de la FVT
Sánchez-González <i>et al.</i> (2006)	Composición y distribución de familias, géneros y especies de plantas vasculares del bosque del Cerro Tláloc, Sierra Nevada
Encina-Domínguez <i>et al.</i> (2008)	Composición florística, estructura y aspectos ecológicos del bosque de <i>A. vejarii</i> , en la sierra de Zapalinamé, Coahuila.
Cuevas-Guzmán (2011)	Composición florística y diversidad de los bosques de <i>Abies</i> (<i>A. religiosa</i> var. <i>emarginata</i> , <i>A. religiosa</i> var. <i>religiosa</i> y <i>A. guatemalensis</i> var. <i>jaliscoana</i>) de Jalisco
Bautista (2013)	Estructura y arquitectura de brinzales en bosques de <i>A. religiosa</i> y <i>Pinus patula</i> en la región de Tlaxco, Tlaxcala
Pineda-López <i>et al.</i> (2013)	Estructura de los rodales de oyamel presentes en el ejido El Conejo, localizado en el Parque Nacional Cofre de Perote
Guerrero Hernández <i>et al.</i> (2014)	Flora de un bosque de <i>Abies</i> y de un bosque mesófilo de montaña en la zona occidente de Jalisco
González <i>et al.</i> (2016)	Diversidad y estructura arbórea en un bosque de <i>Abies vejarii</i> en el estado de Nuevo León
Zepeda-Gómez <i>et al.</i> (2018)	Riqueza y afinidades geográficas de la flora de un bosque de <i>Abies religiosa</i> de la Faja Volcánica Transmexicana

Bernal-Salazar y Terrazas (2000), analizaron la variación radial de las dimensiones de las traqueidas en *A. religiosa* e identificaron las variables climáticas que influyen sobre dicha variación, en la sierra El campanario, Michoacán. Encontraron que las temperaturas máximas afectan la acumulación y las características de las traqueidas y que la actividad del cambium vascular está relacionada con las temperaturas máximas. Por otra parte, Cerano-Paredes *et al.* (2013), mediante técnicas dendrocronológicas en *A. religiosa*,

reconstruyeron la variabilidad de la precipitación desde finales del siglo XIX hasta la primera década del siglo XXI, un periodo de 127 años.

Estudios con *Abies* en el estado de Hidalgo

Los estudios de *Abies* en Hidalgo, se derivan de análisis florísticos de la vegetación a nivel regional (Calderón-Rzedowski y Rzedowski, 1979; Sánchez-González *et al.*, 2005), donde se incluye información sobre su distribución y composición florística. Sin embargo, recientemente la SEMARNAT (2014), publicó información sobre la distribución y cobertura del bosque de oyamel en la entidad: el área que ocupa en la actualidad es de 7,268.44 ha, y se desarrolla en los municipios de Almoloya, Epazoyucan, Mineral del Chico, Mineral del Monte, Omitlán de Juárez, Pachuca de Soto, San Agustín Tlaxiaca y Singuilucan.

Otras investigaciones importantes relacionadas con el presente estudio son las siguientes:

En 1995, Hernández realizó un estudio florístico-fanerogámico en el Parque Nacional El Chico (PNEC). En su trabajo enlista un total de 530 especies de plantas, correspondientes a 264 géneros y 73 familias que habitan en los diferentes tipos de vegetación del PNEC, entre ellos, el bosque de oyamel.

Granados-Sánchez *et al.* (2000) en un estudio ecológico florístico en el municipio de Cuauhtepic de Hinojosa, Hidalgo, registraron la presencia de *A. religiosa* como especie dominante en el cerro denominado La Minilla. García (2002) realizó la caracterización cualitativa de los hábitats de ocho especies de coníferas que ameritaban protección en 18 municipios de Hidalgo, una de las especies estudiadas fue *Abies hidalgensis*.

Debreczy y Rácz (2003) reevaluaron los nuevos taxones de oyameles u abetos (*Abies*) reportados para México en 1995, mencionan en sus resultados que aún existen dudas sobre la identidad taxonómica de *A. hidalgensis*, considerada hasta ahora, como una nueva especie de oyamel para el estado de Hidalgo.

Por otra parte, los estudios dendrocronológicos en Hidalgo son escasos, entre ellos sobresalen los siguientes: Goche *et al.* (2011), estudiaron la variación en la densidad de la madera de *Pinus patula*, en tres localidades: El Aguaje, El Reparó y Tres Fracciones de Fondones, ubicadas en los municipios de Zacualtipán de Ángeles y San Agustín Metzquitlán; Ortiz (2015), presentó una propuesta para reconstruir la historia ambiental de *Fagus grandifolia* subsp. *mexicana* (haya), a través de la estimación de la edad de los árboles, el análisis de archivos y otras fuentes documentales, y con datos de la estructura poblacional y comunitaria de los hayedos de los municipios de San Bartolo Tutotepec, Tenango de Doria y Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo.

JUSTIFICACIÓN

La mayoría de los bosques de coníferas de México han sufrido una drástica disminución en su área de distribución, han desaparecido, han sufrido cambios en su composición y estructura, o incluso han sido sustituidos por bosques dominados por angiospermas (Sánchez-Velásquez y Pineda López, 1991; Pineda-López *et al.*, 2013). Las causas de esta reducción incluyen el constante incremento en la frecuencia de incendios, ocasionados tanto por fenómenos naturales como por el hombre y la tala inmoderada, ya sea para el aprovechamiento directo de la madera y productos secundarios, o para la expansión de la actividad agrícola y pecuaria. Además, el cambio climático representa

una amenaza para muchas especies de seres vivos (Sáenz-Romero *et al.*, 2012; González *et al.*, 2015).

En México hay 39 taxones de coníferas que se encuentran en alguna categoría de riesgo (en peligro, amenazadas o sujetas a protección especial) en la NOM-059-2010 (SEMARNAT, 2010). En el caso de *Abies* hay cinco especies dentro de dicha norma, pero *A. religiosa* y *A. hidalgensis*, no están incluidas; a nivel internacional, *A. religiosa* se considera en la categoría “preocupación menor” (LC) en la lista roja de la IUCN (IUCN, 2018).

En el estado de Hidalgo los estudios del bosque de oyamel solo hacen referencia parcial a su distribución y cobertura, por lo que es necesario contribuir a conocer con mayor profundidad este tipo de vegetación, desde diferentes perspectivas. En este sentido, la historia ambiental ha demostrado ser un área del conocimiento esencial para la implementación de estrategias de manejo y conservación de las especies y los bosques. La superficie ocupada por el bosque de oyamel, cuyo dosel es dominado por *Abies religiosa* está disminuyendo rápidamente, por lo que es adecuado contribuir a generar información básica útil para crear o modificar estrategias de uso y conservación de esta especie y, por ende, de la comunidad vegetal: el bosque de oyamel.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Reconstruir la historia ambiental reciente de los bosques de oyamel del estado de Hidalgo, mediante la integración del conocimiento de la estructura poblacional y las cronologías de los árboles de *A. religiosa*, la estructura del bosque y la información obtenida por medio de entrevistas y revisión de archivos históricos; con ello se aportara información básica para el diseño de estrategias adecuadas de manejo y conservación de este tipo de vegetación.

Objetivos particulares

- Conocer la composición y estructura arbórea y arbustiva de los bosques de oyamel del estado de Hidalgo.
- Definir la estructura poblacional de *Abies religiosa* en diferentes localidades del estado de Hidalgo.
- Estimar la edad de los árboles de *Abies religiosa* mediante técnicas dendrocronológicas y analizar la relación entre los anillos de crecimiento y las condiciones climáticas de cada localidad donde se desarrolla el bosque.
- Obtener información sobre los cambios más notables ocurridos en el bosque de oyamel de Hidalgo en el último siglo a través de entrevistas y revisión de archivos históricos.

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

Comprende el bosque de oyamel del estado de Hidalgo (Figura 1); en el Parque Nacional El Chico (PNEC), se encuentra el bosque más grande, cubre el 62.9% de la superficie del parque, en una extensión de 1,725 ha (Sánchez-González *et al.*, 2005; CONANP, 2006; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2015). En esta área natural protegida el bosque de oyamel se distribuye desde los 2,600 a los 3,086 m de altitud, en paisajes con pendiente elevada y con exposición hacia al sur, principalmente (Hernández, 1995). El resto de los sitios se localizan en los municipios de Cuautepec de Hinojosa (Ejido Tecocomulco), Epazoyucan (Ejido Xolostitla, Parque Peñas Cargadas), Mineral del Monte (ejido Pueblo Nuevo) y Pachuca (ejido El Cerezo).

Las condiciones ambientales en los sitios analizados forman parte de un gradiente de disturbio antrópico: incluyen desde un sitio con bajo o nulo disturbio y con extensión territorial elevada (zona núcleo del PNEC), hasta sitios en los que el grado de perturbación, así como la extensión territorial del bosque gradualmente disminuyen. Las características generales de los bosques de oyamel examinados fueron las siguientes:

Zona Núcleo del Parque Nacional El Chico. Posee una extensión territorial de 1,725.4 ha y constituye el bosque relicto de oyamel de mayor extensión dentro de la Cuenca del Valle de México, en el que se concentran alrededor de 545 especies de plantas, aunque en el PNEC también se desarrollan otros tipos de vegetación, como el bosque de *Quercus* y pastizales. El relieve es accidentado e incluye un gradiente de altitud que va de los 2,320 m en la porción norte, hasta los 3,090 m en la porción sur. El bosque se ubica entre las coordenadas extremas 20°10'10"-20°13'25" latitud norte y 98°41'50"-98°46'02"

longitud oeste, y está enclavado en la región centro sur-oriente de la República Mexicana, en el extremo occidental del sistema orográfico de la Sierra de Pachuca, porción austral de la Faja Volcánica Transmexicana. Comparte las jurisdicciones municipales de Mineral del Chico, Pachuca y Mineral del Monte. El tipo de suelo es cambisol-húmico-andosol ócrico-litosol y feozen háplico.

El clima predominante en el bosque de oyamel del estado de Hidalgo (incluidos todos los sitios de estudio) es, de acuerdo con García (1964): Cb (m) (w) (i') gw", templado sub-húmedo, con verano fresco y largo, temperatura media anual entre 12 y 18°C, y precipitación media anual superior a 1000 mm (Pavón y Meza, 2009).

Ejido El Cerezo. El ejido el Cerezo, municipio de Pachuca de Soto, limita al norte con la zona núcleo del Parque Nacional El Chico y presenta una extensión territorial de 360 ha. El bosque de oyamel en este ejido ocupa una porción del municipio de Pachuca de Soto y tiene una extensión de 365.57 ha.

Ejido Pueblo Nuevo, Hidalgo. El ejido de Pueblo Nuevo se localiza en el municipio de Mineral del Monte. Al igual que en el ejido El Cerezo, la cobertura del bosque de oyamel es de 1,783.14 ha dentro del municipio de Mineral del Monte.

Ejido Xolostitla. El ejido Xolostitla pertenece Epazoyucan, en este municipio, la cobertura del bosque de oyamel es de 162.78 ha.

Bosque de oyamel del Ejido Tecocomulco. El ejido Tecocomulco forma parte de los municipios de Cuautepéc y Singuilucan. El sitio de estudio se ubica dentro de los límites del municipio de Singuilucan. El área con bosque de oyamel es de aproximadamente 381.09 ha.

Estructura del bosque de oyamel

Para el análisis estructural tanto a nivel comunitario como poblacional, se colocaron en cada sitio de estudio cinco parcelas de muestreo permanentes de 20 x 50 m (0.1 hectárea) cada una, separadas entre sí por una distancia de aproximadamente 60 m. Las parcelas de muestreo se colocaron al azar, al menos a 30 m de distancia de áreas abiertas, para reducir el efecto de borde (Gutiérrez *et al.*, 2009).

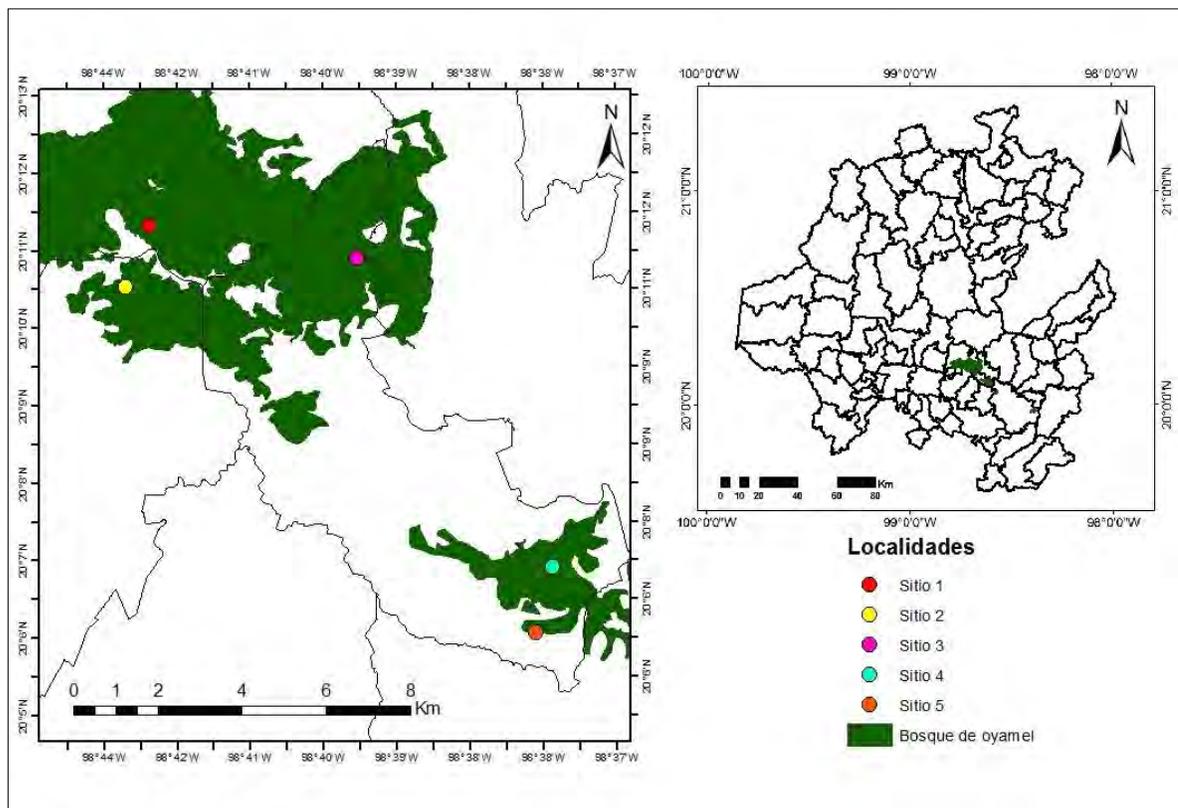


Figura 1. Mapa de distribución de los bosques de oyamel en el estado de Hidalgo.

La estructura del bosque se definió con base en el diámetro, la densidad y frecuencia de las especies con forma de vida arbórea y arbustiva (Rozas, 2002; Bianchi

et al., 2011). En cada parcela se estimó la densidad y el área basal (AB) de cada especie de árbol y arbusto con tallos >1.5 m de alto y >2.5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP a 1.3 m de altura). El área basal (AB) se calculó mediante la fórmula $[AB = \pi(DAP/2)^2]$. Una vez obtenidos los valores de AB y densidad (D), se estimó el valor de importancia relativa (VIR) de cada especie (Matteucci y Colma, 2002), mediante la fórmula $VIR = (\text{densidad relativa} + \text{área basal relativa} + \text{frecuencia relativa}) / 3$. Los valores de densidad de cada especie se expresaron en número de individuos por hectárea (Sánchez, 2004; Ortiz-Quijano, 2015).

La determinación de la especies de plantas se realizó con claves específicas para cada familia y género (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001; Valencia-A. *et al.*, 2017). La nomenclatura de las especies y autoridades taxonómicas se actualizaron conforme a la página web del proyecto TROPICOS (2018).

Además, se estimaron las siguientes variables ambientales: altitud (m) utilizando un GPS Map 60CS Garmin; cobertura total del dosel (%), por medio de un densitómetro de espejo cóncavo; orientación (puntos cardinales) utilizando una brújula; y pendiente (grados), calculada con un clinómetro marca Suunto (Pérez-Paredes *et al.*, 2014).

Estructura poblacional de *Abies religiosa*

Los valores estructurales (DAP y la altura total) de los árboles de *A. religiosa* en cada parcela se emplearon para definir su estructura poblacional (Ortiz-Quijano, 2015). Adicionalmente, se estimó la altura desde la base hasta el ápice o rama terminal del eje principal de todas las plántulas (< de 41 cm de alto) y juveniles pequeños y grandes (>

41 cm de alto y < 2.5 cm de DAP) de *Abies* enraizadas en las parcelas de muestreo (Figura 2).



Figura 2. Ejemplo de plántulas de *Abies religiosa* encontradas en los sitios de muestreo

El número de intervalos de clase de altura y de diámetro se estimó con base en la regla de Sturges: $k=1+3.322 (\log_{10}n)$, donde k es el número de intervalos y n es el número de individuos (Schmidt *et al.*, 2009). Con el propósito de realizar un análisis comparativo de la estructura poblacional entre los sitios, se eligió el mismo número y amplitud de intervalos de clase de altura y diámetro, tomando como referencia para hacer el cálculo a la localidad con mayor número de individuos (Pérez-Paredes *et al.*, 2014). La amplitud de los intervalos de clase (AI) se estimó con la fórmula $AI= R/k$, donde R es el rango (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2013).

La estimación de la relación entre la altura y el diámetro de los individuos se realizó con análisis de regresión; entre los modelos generados (lineales y no lineales), se eligió el que presentó el valor del coeficiente de determinación (r^2) más alto (Urban *et al.*, 2010).

Para definir si la estructura de tamaños (alturas) y/o diámetros de los individuos podían ser utilizados como indicadores adecuados de la estructura de edades de las poblaciones de oyamel, se estimó el grado de asociación entre edad-altura y edad-diámetro por medio del análisis de correlación lineal simple; todos los cálculos se realizarán con el programa STATISTICA versión 7.0 (StatSoft, 2004).

Análisis dendrocronológico

Obtención de series de crecimiento y conteo de anillos. Para la obtención de muestras de radios o series de crecimiento, en cada localidad se eligieron 20 árboles de oyamel con diámetro > 50 cm, sin evidencia de pudrición o enfermedad en la corteza. Además, se tomaron muestras de cinco árboles \leq de 50 cm de diámetro, con la finalidad de contar y medir los anillos de crecimiento más recientes. En cada individuo se extrajeron 2-3 núcleos de crecimiento, utilizando un taladro Pressler; las perforaciones se realizaron a una altura de entre 1 y 1.3 m (Figura 3). Las muestras se colocaron al sol para su secado, después se montaron en rieles de madera y se pulieron con lijas de distinto tamaño de grano (120 ásperas-1,200 finas), con la intención de resaltar los anillos de crecimiento y facilitar su conteo (Stokes y Smiley, 1968). Se usó el método de Applequist (1958), para la estimar la edad de los árboles, que consiste en contar el total de anillos desde la corteza hasta la médula. La cronología se obtuvo a partir de 129 series de crecimiento.



Figura 3. Ejemplo de extracción de una serie de crecimiento o “viruta” con el taladro Pressler.

En las series de crecimiento se localizó el año más antiguo y el inicio (madera temprana) y final (madera tardía) de cada una. La medición del grosor de los anillos se realizó en un sistema VELMEX (Figura 4), con precisión de 0.001 mm, se midió tanto el diámetro del anillo total como el de la madera temprana y tardía (Robinson & Evans, 1980).

La calidad del fechado y de la medición de las series de crecimiento fueron verificadas en el programa COFECHA Versión 6.06P (Holmes, 1983). Los datos de amplitud de los anillos (mm) se utilizaron para estimar el promedio anual por muestra y localidad (Escudero, 2002).



Figura 4. Equipo de medición VELMEX.

Estimación de crecimiento por influencia climática. Para estimar los periodos de liberación o supresión se utilizó la fórmula de porcentaje de cambio de crecimiento (% CC), sostenido por un periodo de cinco años (Rozas, 2004):

$$\%CC = [(M1-M2) / M1] \times 100$$

Donde:

%CC= Porcentaje de crecimiento entre los promedios de los cinco años precedentes y subsiguientes.

M1= Media aritmética de los diez años precedentes

M2: Media aritmética de los diez años subsiguientes

Cuando el valor obtenido es positivo, la tasa de crecimiento es alta en los años subsecuentes (liberación) y cuando es negativo, la tasa de crecimiento es baja (supresión). La fórmula %CC supone que los árboles tienen un tiempo de reacción de un año ante una perturbación y que el valor máximo del ancho del anillo es el de los años más cercanos, previos a un cambio brusco en el crecimiento (Lorimer y Frelich, 1989; Nowacki y Abrams, 1997).

Construcción de cronologías. Para estandarizar los valores de las series de crecimiento obtenidas y la construcción de las cronologías de cada sitio, se usó el programa ARSTAN (Cook & Holmes, 1984). El algoritmo del programa estima la mejor curva de ajuste para las series de crecimiento, con lo que se homogeniza la varianza y se maximiza la señal climática, eliminando las tendencias producidas por los factores biológicos (parasitismo, competencia, herbivoría). Con esto, la comparación entre los anillos de individuos de diferentes edades permite una mejor interpretación de la variabilidad ambiental común en una región determinada (Fritts, 1976; Cerano-Paredes *et al.*, 2013).

En el programa ARSTAN se obtienen los datos sobre el índice de ancho de anillo (IAA) o cronología residual (índice normalizado), con media = 1.0 y varianza homogénea (Cook y Holmes, 1984; Cook, 1987; Urrutia, 2002; Cerano *et al.*, 2013), que permitieron relacionar el crecimiento de los árboles con las variables ambientales.

Relación con el clima. Se realizó un análisis de correlación (lineal y/o no lineal) entre el índice de ancho de anillo y los valores de precipitación pluvial total anual, temperatura mínima, máxima y promedio anual, de los años más antiguos acorde con la cronología

obtenida, a partir de las estaciones meteorológicas cercanas a las localidades estudiadas.

Historia ambiental

Recopilación de información. La revisión de archivos consistió en seleccionar los documentos originales más adecuados para reconstruir la historia de los ejidos y del impacto ambiental que ha ocurrido a través de los años en los bosques de oyamel del estado de Hidalgo (López-Ramírez, 2013; Ortiz-Quijano, 2015). Se realizaron también recorridos en campo para observar las condiciones en las que se encuentran los bosques de oyamel y se hicieron entrevistas a pobladores clave. Se utilizó la técnica denominada microhistoria, desarrollada por Luis González y González (2004), que consiste en realizar entrevistas minuciosas (a través de las narraciones de quienes han vivido por largos años), para rastrear el pasado de las localidades y detectar de esta manera, los cambios ambientales ocurridos (Ortiz-Quijano, 2015).

RESULTADOS

Estructura del bosque de oyamel

Los datos de las parcelas de los cinco sitios indican la presencia de 31 especies de árboles y arbustos en el bosque, aunque sólo representan a las especies más comunes o de mayor importancia estructural. La especie con mayor valor de importancia relativa (VIR) en todas las parcelas fue *Abies religiosa*. La densidad y VIR más altos para dicha especie se presentaron en el ejido Xolostitla y Tecocomulco, respectivamente, y los más bajos (VIR= 50.75) en el ejido Pueblo Nuevo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especies de árboles y arbustos del bosque de oyamel, que presentaron los VIR más altos (> 3) en los cinco sitios de muestreo

Especies por sitio	Densidad ind/ha	Densidad relativa (%)	Área basal (m ² /ha)	Área basal relativa	Frecuencia relativa (%)	VIR
PNEC						
<i>Abies religiosa</i>	454	55.23	259966.32	96.06	10.64	53.98
<i>Juniperus monticola</i>	84	10.22	1314.53	0.49	10.64	7.11
<i>Prunus serotina</i>	58	7.05	934.92	0.35	10.64	6.01
<i>Lonicera mexicana</i>	50	6.08	291.29	0.11	8.51	4.9
<i>Ribes ciliatum</i>	40	4.87	111.48	0.04	8.51	4.47
<i>Quercus glabrescens</i>	26	3.16	6387.92	2.36	6.38	3.97
<i>Roldana angulifolia</i>	24	2.92	90.26	0.03	8.51	3.82
Ejido El Cerezo						
<i>Abies religiosa</i>	452	68.07	281749.12	96.08	18.52	60.25
<i>Juniperus monticola</i>	64	9.64	1419.16	0.48	11.11	6.69
<i>Alnus jorulensis</i>	4	0.60	11.98	0.004	3.70	5.79
<i>Quercus rugosa</i>	10	1.51	672.4	0.23	7.41	3.9
<i>Ribes ciliatum</i>	20	3.01	97.15	0.03	7.41	3.23
Ejido Pueblo Nuevo						
<i>Abies religiosa</i>	258	45.91	239040.09	91.20	15.15	50.75
<i>Quercus glabrescens</i>	66	11.74	6969.73	2.66	9.09	7.83
<i>Archibaccharis</i> sp.	96	17.08	422.31	0.16	3.03	6.76
<i>Prunus serotonina</i>	30	5.34	3607.61	1.38	12.12	6.28
<i>Lonicera mexicana</i>	28	4.98	135.28	0.05	9.09	4.71

Especies por sitio	Densidad ind/ha	Densidad relativa (%)	Área basal (m ² /ha)	Área basal relativa	Frecuencia relativa (%)	VIR
<i>Quercus rugosa</i>	24	4.27	1216.08	0.46	6.06	3.6
<i>Pinus teocote</i>	4	0.71	6979.26	2.66	6.06	3.15
Ejido Xolostitla						
<i>Abies religiosa</i>	600	86.95	202407.83	86.95	31.25	68.39
<i>Pinus teocote</i>	16	2.32	21405.22	9.2	12.5	8
<i>Quercus rugosa</i>	14	2.03	1776.2	0.76	18.75	7.18
<i>Prunus serotonina</i>	16	2.32	535.02	0.23	18.75	7.1
<i>Quercus laurina</i>	28	4.06	3218.25	1.38	6.25	3.9
Ejido Tecocomulco						
<i>Abies religiosa</i>	950	60.20	245762.43	86.67	11.63	52.83
<i>Quercus laurina</i>	236	14.95	14130.07	4.98	11.63	10.52
<i>Ribes ciliatum</i>	110	6.97	411.9	0.15	11.63	6.25
<i>Quercus crassifolia</i>	66	4.18	8268.87	2.92	11.63	6.24
<i>Lonicera mexicana</i>	88	5.57	668.71	0.24	11.63	5.81
<i>Pinus teocote</i>	10	0.63	11890.5	4.19	6.98	3.93
<i>Arbutus xalapensis</i>	32	2.02	791.33	0.28	9.30	3.87

El análisis de agrupamiento de los sitios de muestreo, con base en los datos del VIR de las especies, permitió reconocer cuatro grupos diferentes: el primero incluye a la zona núcleo del Parque Nacional El Chico y al ejido El Cerezo, el segundo al ejido Pueblo Nuevo, el tercero al ejido Xolostitla y el último grupo al ejido Tecocomulco (Figura 5).

Los grupos seleccionados en el dendrograma permitieron describir la variación en la composición de especies y en la estructura del bosque de oyamel en cuatro variantes, representadas en los diagramas de perfil semi-realista.

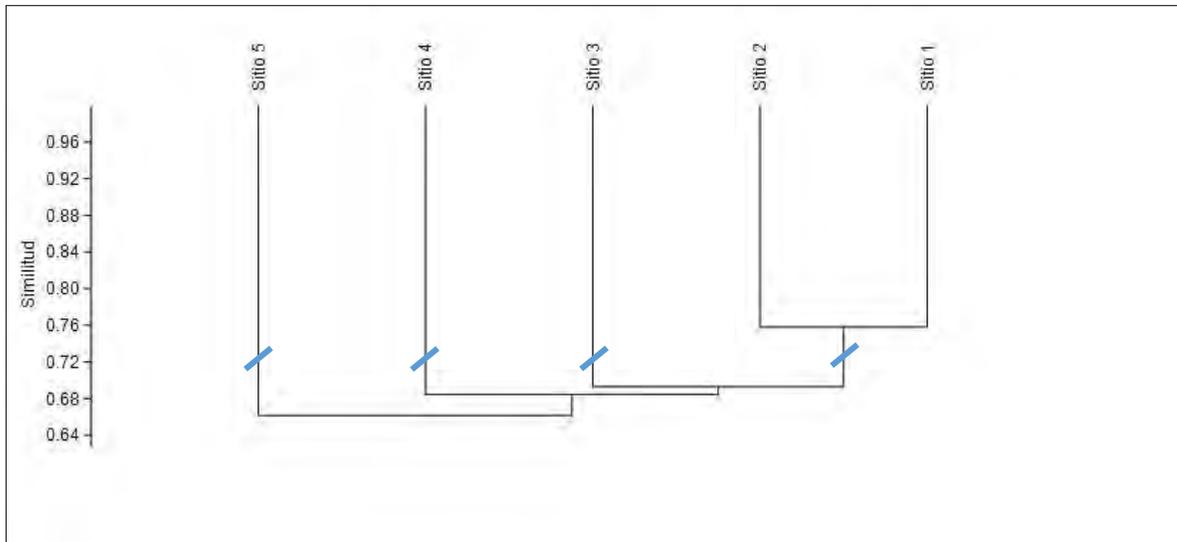


Figura 5. Dendrograma que muestra la semejanza en la composición de especies y en la estructura del bosque de oyamel de los sitios de muestreo en el estado de Hidalgo. Sitio 1: Parque Nacional El Chico, Sitio 2: ejido El Cerezo, Sitio 3: ejido Pueblo Nuevo, Sitio 4: ejido Xolostitla, Sitio 5: ejido Tecocomulco.

Grupo 1. Incluye a los dos sitios más cercanos desde el punto de geográfico (Parque Nacional El Chico y ejido El Cerezo) y con mayor riqueza de árboles y arbustos (23 especies). La especie con VIR más alto fue *A. religiosa*, las demás presentaron VIR bajos e incluso algunas de ellas fueron raras o aparecieron sólo bajo condiciones particulares dentro del bosque, como *Salix paradoxa* que fue común sólo en ambientes riparios, o *Rhamnus mucronata* y *R. serrata*, que sólo se encontraron en estos dos sitios. La especie dominante en el dosel fue *Abies religiosa*; *Alnus jorullensis*, *Cupressus lusitanica*, *Prunus serótina* y *Quercus* spp. fueron codominantes. Las especies arbustivas *Juniperus montícola*, *Lonicera mexicana*, *Ribes ciliatum* y *Roldana angulifolia*, fueron escasas, en especial bajo dosel denso (Figura 6). El promedio de diámetro en este grupo fue de 18.6

cm, mientras que el promedio en altura fue de 12.33 m, aunque algunos individuos de *A. religiosa* alcanzaron hasta 51 m de altura y diámetros de hasta 111 cm.

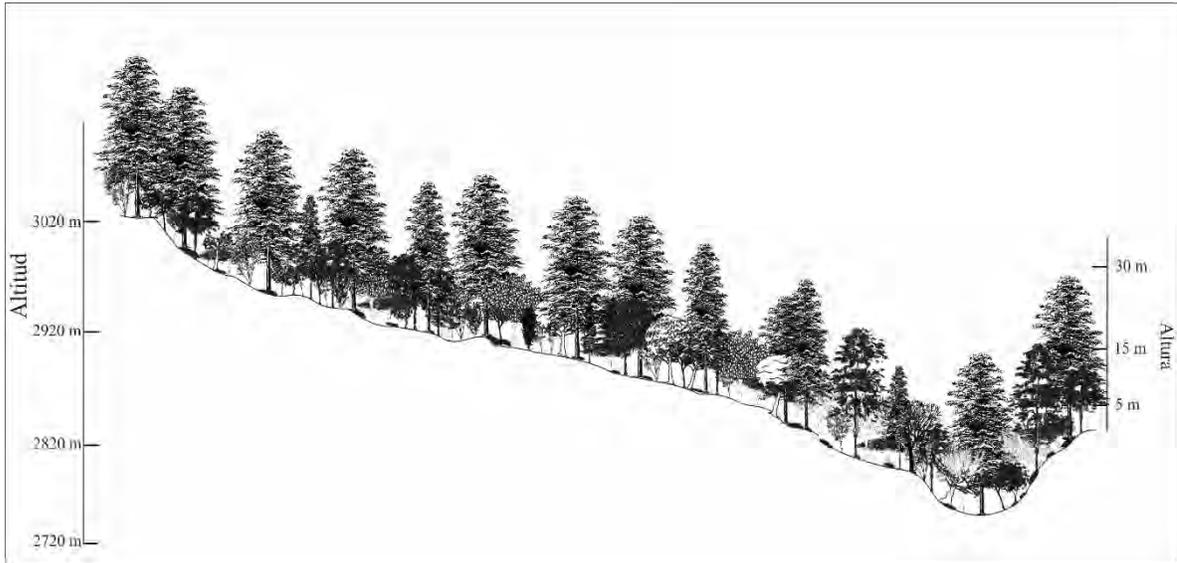


Figura 6. Diagrama de perfil semi-realista de los sitios integrados por el PNEC y ejido El Cerezo (grupo 1).

En estos dos sitios se encontraron el mayor número de tocones y de árboles caídos. La altitud en las parcelas de muestreo superó los 3,000 m, por lo que en estos sitios (grupo 1), el bosque se desarrolla en el extremo superior de su distribución altitudinal en Hidalgo.

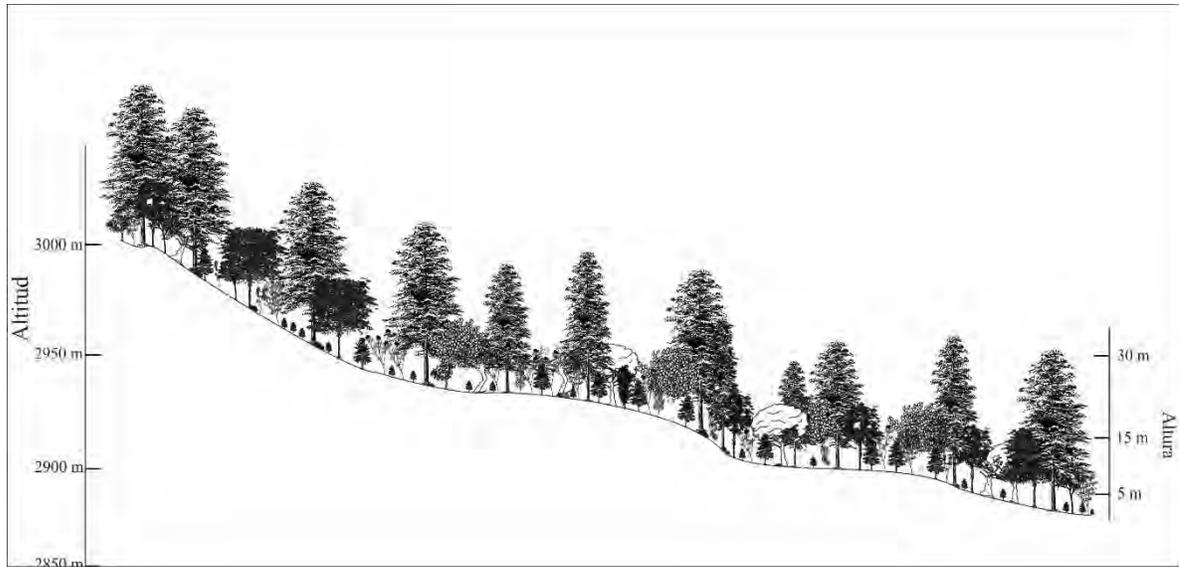


Figura 7. Perfil semi-realista del bosque de oyamel de Pueblo Nuevo (grupo 2).

Grupo 2. Este grupo incluye sólo el ejido Pueblo Nuevo. En este sitio se identificaron 18 especies de árboles y arbustos. Aunque *A. religiosa* fue la especie dominante, presentó el VIR más bajo comparado con el de los demás sitios. El bosque es abierto, con claros frecuentes. Las especies de árboles más comunes en el dosel fueron *Quercus glabrescens* y *Q. laurina*. En el sotobosque las especies más frecuentes fueron *Archibaccharis* sp. e individuos de las fases juveniles de *A. religiosa* (Figura 7). El diámetro y altura promedio de las especies de árboles fue de 17.8 cm y 32.9 m, respectivamente. Los árboles de oyamel fueron los más altos (hasta 45 m), y anchos (hasta 114 cm). Las señales de disturbio a causa de las actividades humanas fueron evidentes (pastoreo, tala, presencia de claros).



Figura 8. Perfil semi-realista de la comunidad del ejido Xolostitla (grupo tres).

Grupo 3. En este sitio (ejido Xolostitla) el bosque de oyamel presentó la riqueza de especies más baja (siete especies). Las especies dominantes en el dosel fueron el oyamel y dos especies de *Pinus*, y las codominantes fueron *Juniperus*, *Prunus* y *Quercus* (Figura 8). El promedio de altura y diámetro de los árboles fue de 8 m y 13 cm, respectivamente. Los árboles más robustos de *Abies* presentaron alturas de hasta 48 m y DAP de 113 cm. El manejo del bosque es notable, porque los ejidatarios realizan labores de limpieza de arbustos en zonas aledañas al centro recreativo del lugar.

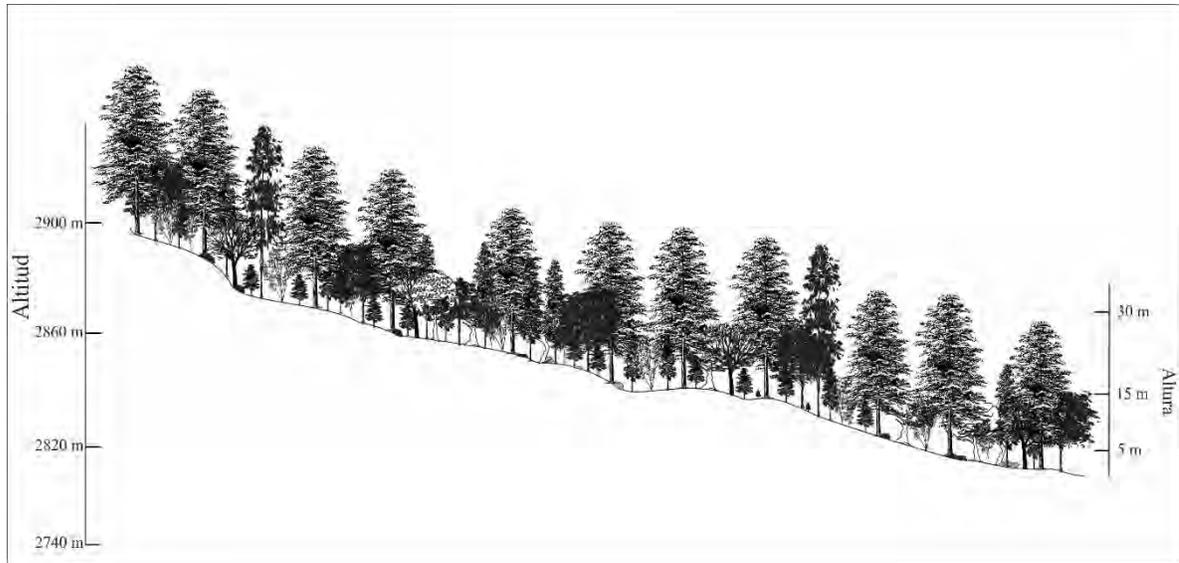


Figura 9. Perfil semi-realista del bosque de oyamel del ejido Tecocomulco (grupo 4).

Grupo 4. Incluye sólo al ejido Tecocomulco, que fue el sitio más lejano geográficamente y también el de menor semejanza florística y estructural con respecto a los demás sitios. Se identificaron 14 especies de árboles y arbustos; la especie dominante en el dosel fue *A. religiosa*, junto con *Pinus teocote*. Las especies codominantes fueron *Juniperus monticola* y *Quercus* spp. y en el subdosel *Arbutus xalapensis*, *Buddleja cordata*, *Lonicera mexicana* y *Ribes ciliatum*. Los indicios de actividades humanas en el sitio incluyen la apertura de brechas corta fuegos y de caminos hacia las localidades más cercanas. Aunque el aprovechamiento de oyamel está vedado, se realiza tala de especies de pinos en los alrededores. El promedio en altura de los individuos fue de 10.7 m y el diámetro de 12 cm; algunos árboles de oyamel presentaron alturas hasta de 50 m y diámetros de más de 110 cm (Figura 9).

Estructura de la población de *Abies religiosa*

La estructura de tamaños (altura) y diámetros en las poblaciones analizadas fue variable. Las poblaciones de *Abies religiosa* del Parque Nacional El Chico, ejido Xolostitla y ejido Tecocomulco presentaron una estructura en forma de J invertida, en la que predominaron individuos de las primeras clases de altura y diámetro (Figura 10), por lo que pueden considerarse como poblaciones dinámicas o en desarrollo. En cambio, las poblaciones del ejido El Cerezo y el ejido Pueblo Nuevo, presentaron una estructura de tamaños y diámetros diferente, en la que predominaron individuos de clases intermedias, para ambas características, por lo que pueden considerarse como poblaciones normales (Figura 11).

En la población del Parque Nacional El Chico, la densidad de *Abies religiosa* fue de 454 individuos/ha, y la altura y diámetro promedio fueron de 16.2 m y 27.5 cm, respectivamente. En el ejido El Cerezo la densidad del oyamel fue de 452 individuos/ha, en Pueblo Nuevo se contabilizaron 258 individuos/ha de *A. religiosa*, el promedio de altura y diámetro fue de 43.5 m y 28.4 cm, respectivamente.

En el ejido Xolostitla se registraron 600 individuos/ha de oyamel, la altura y diámetro promedio de los árboles fue de 12.3 m y 17.3 cm, respectivamente. La densidad más alta de individuos de *A. religiosa*, se presentó en el ejido Tecocomulco con 950 árboles/ha. La altura y diámetro promedio de los árboles fue de 15 m y 17 cm, respectivamente (Figura 11).

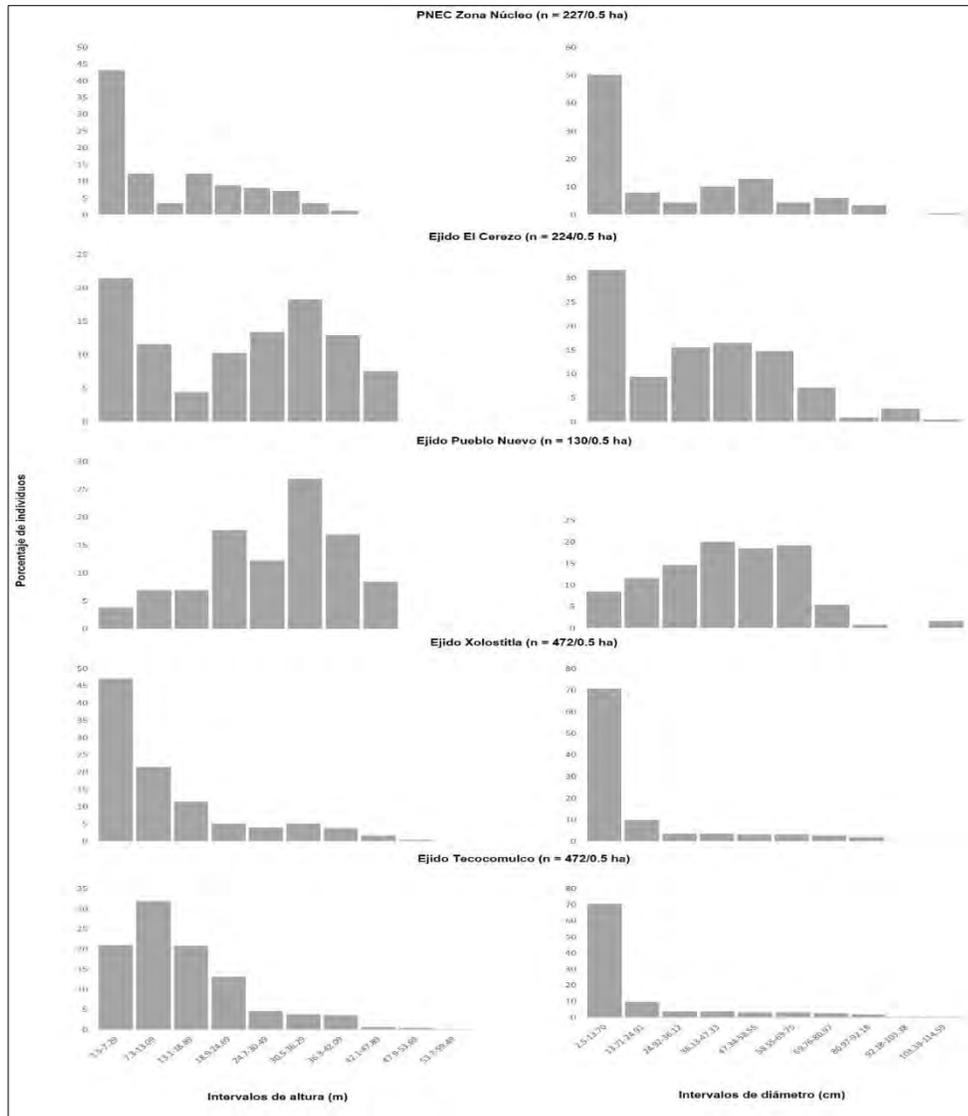


Figura 10. Clases de altura y diámetro de las cinco poblaciones de *A. religiosa* del estado de Hidalgo, México.

Los valores del índice de correlación entre la altura y diámetro de los individuos de las poblaciones analizadas fueron altamente significativos ($P < 0.0001$) en cuatro de los cinco sitios analizados (PNEC, ejido El Cerezo, ejido Xolostitla y ejido Tecocomulco) y también cuando se consideraron los datos de todos los sitios (Figura 11). En el ejido

Pueblo Nuevo, donde se registró la menor densidad de plantas de oyamel, el valor de correlación entre la altura y el diámetro de los individuos no fue significativo ($P > 0.05$).

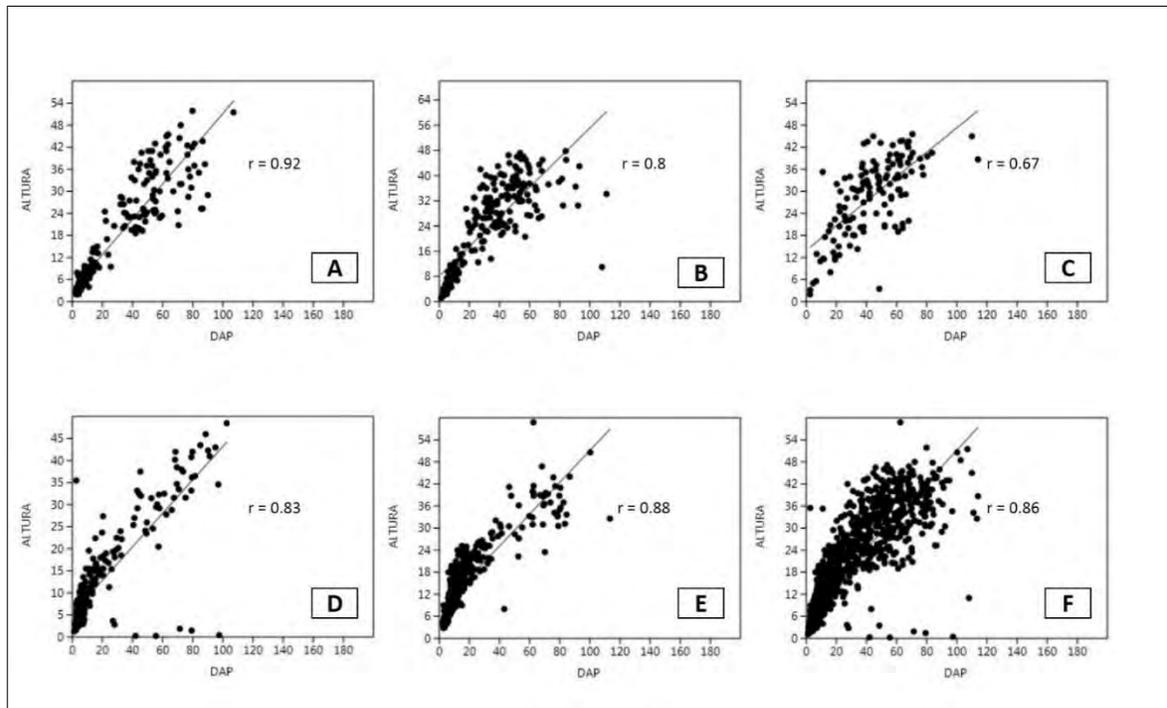


Figura 11. Correlación entre altura y diámetro de los individuos en los cinco sitios de estudio: A) Parque Nacional El Chico, B) ejido El cerezo, C) ejido Pueblo Nuevo, D) ejido Xolostitla, E) ejido Tecocomulco, F) con datos de todos los sitios.

Los valores de correlación entre la edad y el diámetro y entre la edad y la altura de los individuos de oyamel, no fueron estadísticamente significativos ($P > 0.05$), aunque el análisis se realizó solo con una fracción de los individuos: aquellos con $DAP > 33$ cm (Figura 12).

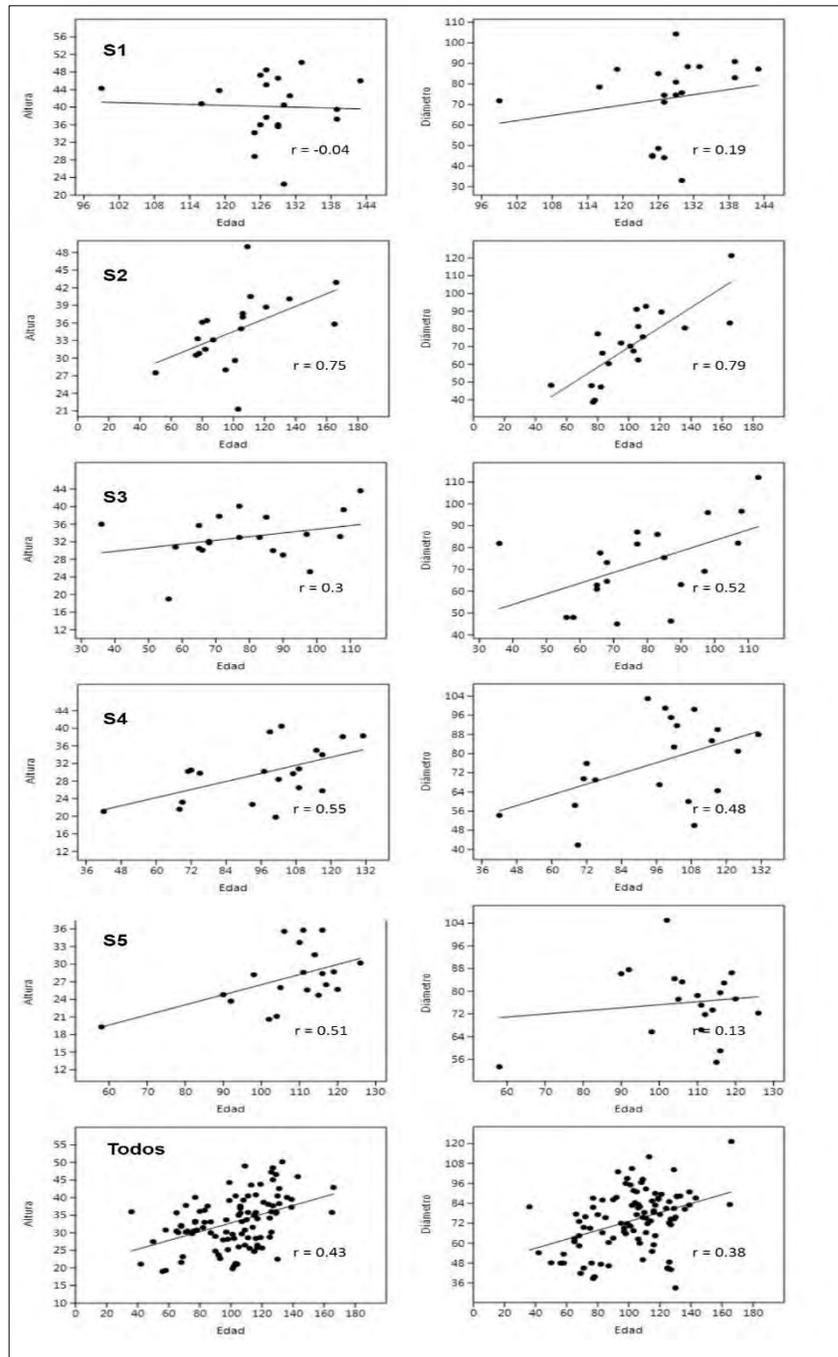


Figura 12. Valores de correlación entre altura-edad y diámetro-edad de los individuos de las poblaciones de *Abies religiosa* analizadas. Sitio 1: Parque Nacional El Chico, Sitio 2: ejido El cerezo, Sitio 3: ejido Pueblo Nuevo, 4: ejido Xolostitla y 5: ejido Tecocomulco.

Los individuos de *A. religiosa* con DAP < 2.5 cm dentro de las parcelas de muestreo, se dividieron en cinco categorías de altura. En todos los sitios se observó el predominio de plántulas en las dos primeras categorías, pero en los ejidos Xolostitla, Tecocomulco y el PNEC se encontró mayor heterogeneidad en la altura de los individuos. La presencia de claros en el bosque favoreció la presencia y abundancia de plántulas y árboles pequeños en el PNEC, El Cerezo y Pueblo Nuevo, en particular en este último sitio, donde se contabilizaron 911 individuos (Figura 13).

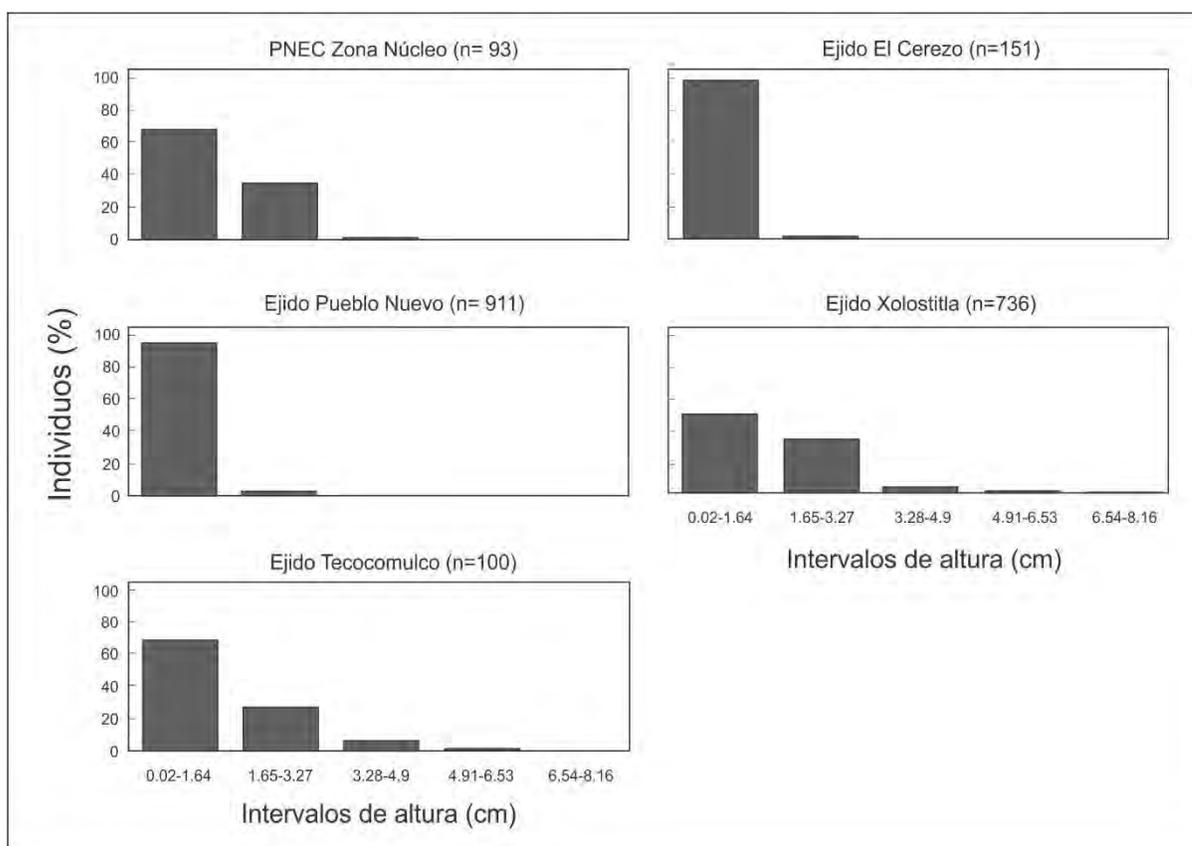


Figura 13. Altura de los individuos de *A. religiosa* con DAP < 2.5 cm en los cinco sitios de muestreo.

Análisis dendrocronológico

Estimación de edades. La obtención de cronologías se realizó en los cinco sitios entre el 27 de junio y el cinco de octubre de 2017. Se extrajeron 210 muestras de series de crecimiento procedentes de 100 árboles, 20 por sitio. Sin embargo solo 129 muestras de las series de crecimiento fueron adecuadas para el programa COFECHA, es decir, un poco más de 50% (Cuadro 3).

De acuerdo con los resultados obtenidos con el programa COFECHA, la sensibilidad media de *Abies religiosa* fluctúa entre 0.3 y 0.4. En cuanto a la autocorrelación entre series, los valores fueron de entre 0.5 y 0.6, por lo que la influencia ambiental sobre el desarrollo de las poblaciones de esta especie fue similar.

Cuadro 3. Estadísticas básicas de las cronologías estándar de *Abies religiosa*, obtenidas con el programa ARSTAN

Criterios	Localidades				
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5
Longitud de la cronología	1887-2016	1851-2016	1909-2016	1885-2016	1890-2016
Totalidad de años	140	166	108	132	127
Intervalo común	1932-2016	1970-2016	1980-2016	1974-2016	1958-2016
Número de árboles	14	16	14	16	14
Número de series	42	44	41	42	41
Series analizadas	21	32	25	28	23
Sensibilidad media	0.380	0.336	0.352	0.333	0.401
Desviación estándar	1.62	2.0	2.48	2.32	2.36
Correlación entre series	0.599	0.554	0.605	0.626	0.603
Auto correlación de primer orden	0.69	0.76	0.66	0.71	0.68

Sitio 1: Parque Nacional El Chico, Sitio 2: ejido El Cerezo, Sitio 3: ejido Pueblo Nuevo, Sitio 4: ejido Xolostitla, Sitio 5: ejido Tecocomulco.

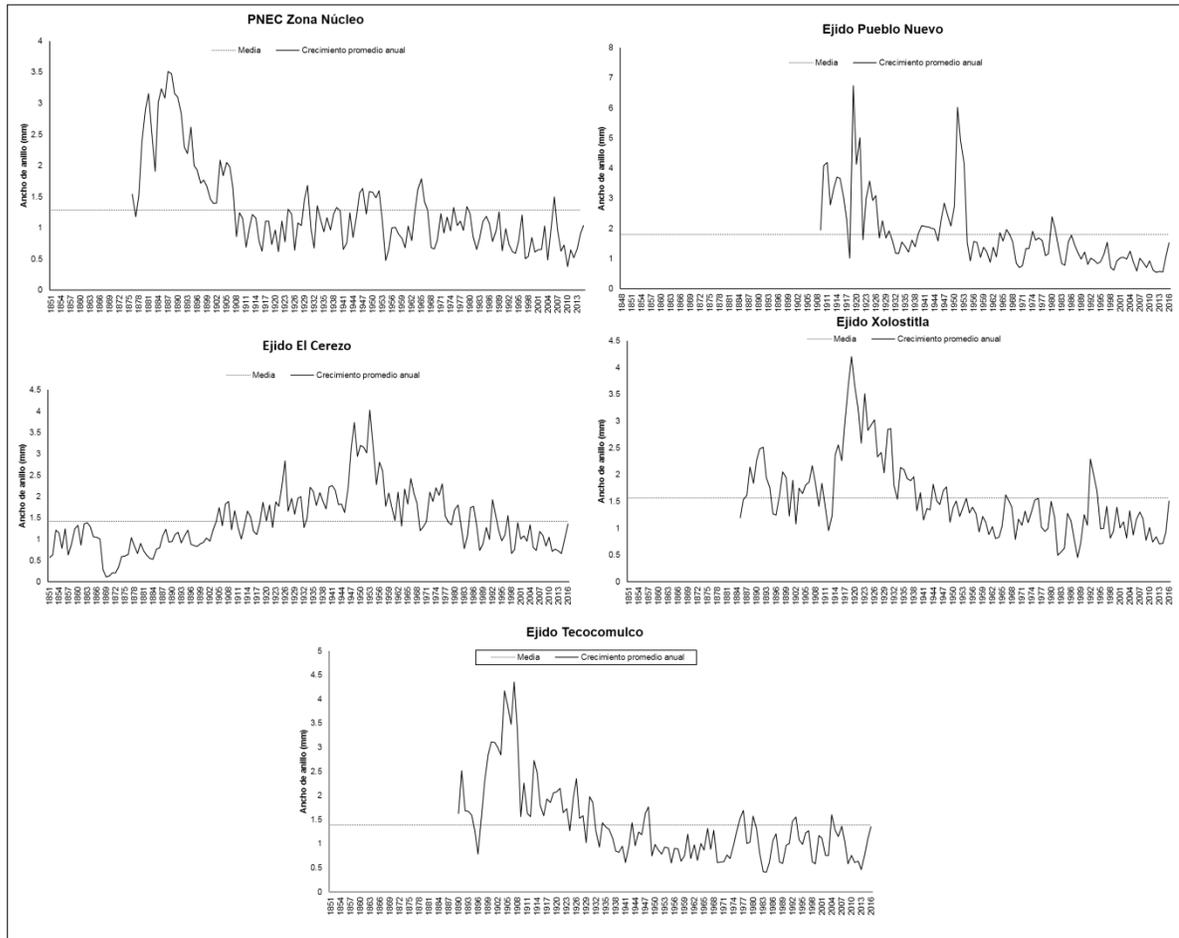


Figura 14. Cronología de las series de crecimiento, con base en el ancho de anillo de los árboles de oyamel, en los sitios de muestreo del estado de Hidalgo.

El sitio que presentó la cronología más amplia fue el ejido El Cerezo con 166 años, seguido de la zona núcleo del Parque Nacional El Chico con 140 años, el ejido Xolostitla con 132 años, el ejido Tecocomulco con 127 años y el ejido Pueblo Nuevo con 108 años (Figura 14).

Índice de ancho de anillo

El incremento y decremento en el ancho de anillo en los árboles de oyamel de Hidalgo son similares entre sitios en distintos años a lo largo de la cronología obtenida (Figura 15). Como en el ejido el Cerezo se obtuvo la cronología más larga (longeva), sólo en ella fue posible observar dos incrementos conspicuos en la década de 1850 y decrementos agudos en 1868 y en 1879, los cuales son los más severos de toda la cronología. En el PNEC el incremento en el ancho de anillo más notable fue en los años 1925, 1990 y 2016, sin embargo, el más evidente fue en 2007; en el ejido El Cerezo los incrementos más notorios fueron en 1852, 1862, 1877, 1926, 1966, 1972, 1992 y 2016; en el ejido Pueblo Nuevo en 1910, 1947, 1964, 1966, 1975, 1985, 2004 y 2016; y en Xolostitla en los años 1898, 1923, 1929, 1966, 1975, 1980, 1992, 2000 y 2016; en Tecocomulco ocurrieron crecimientos considerables en varios años: 1898, 1907, 1913, 1925, 1926, 1930, 1934, 1947, 1948, 1976, 1977, 1980, 1992 y 2000.

Con respecto a los decrementos en el ancho de anillo en los diferentes sitios, se encontró que en el PNEC ocurrieron en 1909, 1912, 1969, 1998 y el más severo fue en 2011; en el ejido El Cerezo, los años con menor crecimiento fueron en 1857, 1868, 1879 y 1998; en el ejido Pueblo Nuevo fue sólo en 1918 y 1922. En el ejido Xolostitla se registró poco crecimiento en 1902, 1932, 1982 y 1988; y en Tecocomulco en los años de 1896, 1949, 1969 y 1988 (Figura 15).

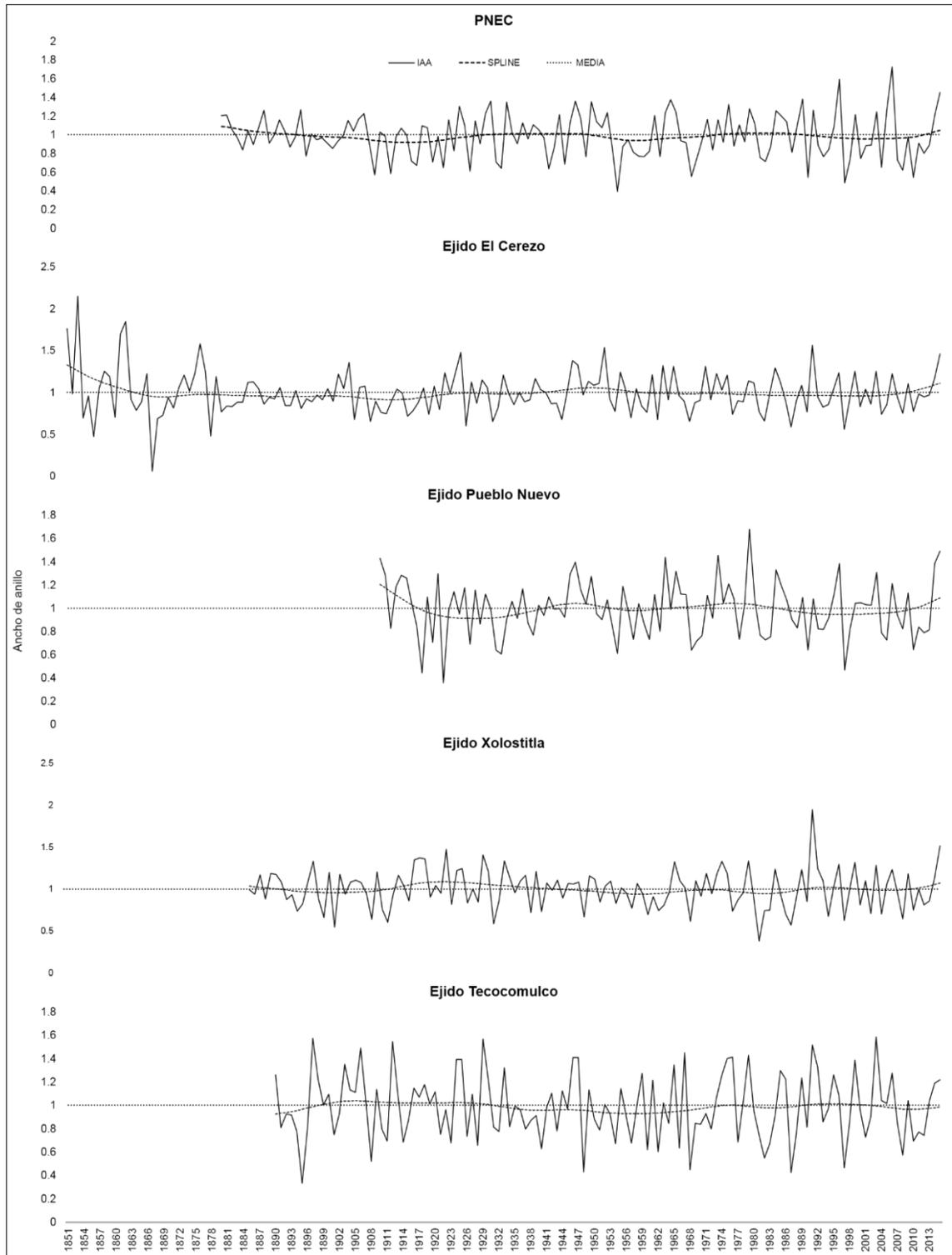


Figura 15. Índice de ancho de anillo, línea de ajuste *spline* y promedio, en *A. religiosa* en los diferentes sitios de muestreo.

Comparación entre cronologías

La correlación entre las cronologías obtenidas en el presente estudio y otra procedente de un sitio aledaño corroboran la similitud en el patrón de crecimiento del ancho de anillo de los árboles. La cronología de la localidad presa Jaramillo muestra una correlación altamente significativa ($r > 0.4$ y $P < 0.001$) con todos los sitios de muestreo. Las cronologías de los sitios PNEC, ejido El Cerezo, ejido Pueblo Nuevo, ejido Xolostitla y ejido Tecocomulco, también muestran una correlación altamente significativa entre sí ($r > 0.5$ y $P < 0.001$), como se puede observar en la Figura 16.

El patrón de incremento o decremento en el índice de ancho de anillo de los árboles de oyamel entre sitios coincidió en algunos años, o en años cercanos. El incremento en el ancho de anillo fue notorio en los años 1898, 1910, 1922, 1929, 1947, 1980, 1985, 1992 y 2007 en todos los sitios. Destacan también las coincidencias en el decremento en el ancho de anillo en los años 1902, 1912, 1922, 1926, 1932, 1949, 1956, 1969, 1983, 1988, 1998 y 2011 (Figura 16).

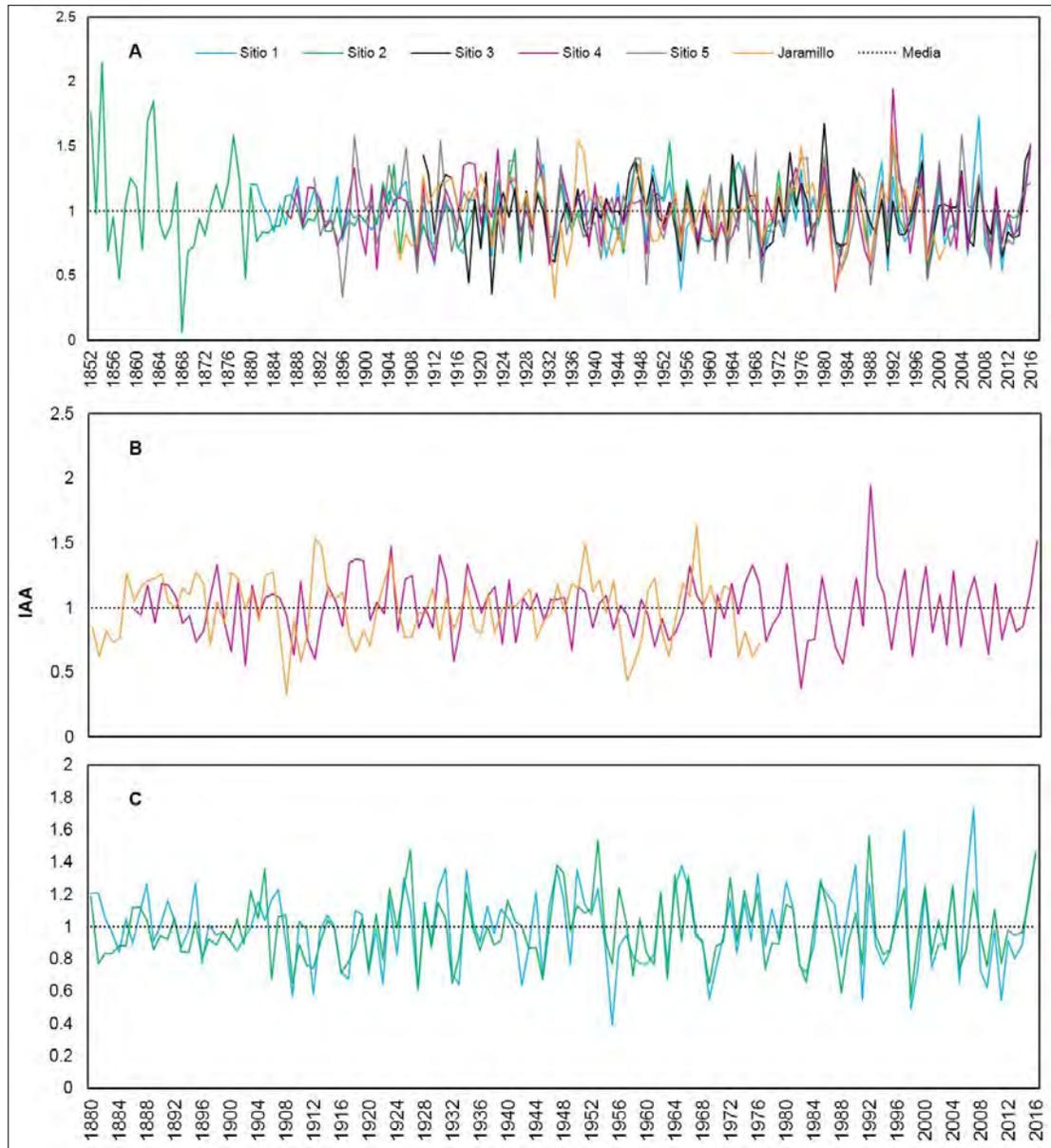


Figura 16. Comparación de Índice de Ancho de Anillo entre sitios: A) poblaciones de oyamel de los sitios de muestreo y de la presa Jaramillo con *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco; B) el sitio cuatro que corresponde al ejido Xolostitla presentó los valores estadísticos más robustos; C) los sitios PNEC y ejido El Cerezo presentaron los valores de correlación más altos y estadísticamente significativos ($P < 0.01$). Sitio 1: Parque Nacional El Chico, Sitio 2: ejido El Cerezo, Sitio 3: ejido Pueblo Nuevo, Sitio 4: ejido Xolostitla, Sitio 5: ejido Tecocomulco.

Liberaciones y supresiones en los anillos de crecimiento

Parque Nacional El Chico Zona Núcleo. El promedio de ancho de anillo de las 21 series analizadas fue de 1.29 mm/año (Desviación estándar, DE= 0.68 mm/año). Los porcentajes de CC indican que ocurrieron eventos de supresión durante más de cinco años seguidos en el periodo 1920-1930; de cinco años en 1880-1885 y 1960-1965, y cambios abruptos de menos de cinco años entre 1945 y 2005. Los periodos de liberación fueron variables, mientras algunos ocurrieron en intervalos de más de cinco años seguidos, como en 1890-1915; también hubo periodos cortos de 1935-1940, 1965-1970; y otros con liberaciones prolongadas en los periodos de 1990 y 2010. Los periodos de supresión más evidentes fueron en 1880 y 1945, con porcentaje de cambio de crecimiento (CC) de 63 y 50 respectivamente, mientras que los periodos de liberación más altos fueron en 2010 con CC= 35% (Figura 17).

Ejido El Cerezo. El promedio de ancho de anillo de las 32 series fue de 1.42 mm/año (DE= 0.69 mm/año). Los valores de %CC muestran que ocurrieron periodos de supresión por más de cinco años en 1915-1935, con tres supresiones en 1885-1890, 1900-1905 y 1945-1950; pero la supresión más prolongada fue en 1870 (CC= 55%). En cuanto a las liberaciones, las que fueron de más de 5 años fueron de 1955-1965, 1975-1985 y 1995-2010; en los periodos de 1860-1865 y de 1955-1960 las liberaciones también fueron evidentes, sobre todo en 1865, con CC= 44% (Figura 17).

Ejido Pueblo Nuevo. Fue el sitio que presentó el mayor promedio de ancho de anillo, con 1.8 mm/año (DE= 1.16 mm/año). Las supresiones relevantes ocurrieron entre 1935 y 1950. En los periodos 1965-1970 y 1995-2000 las supresiones fueron de poca intensidad, mientras que en 1910 ocurrió una supresión relevante. Las liberaciones de

más de cinco años ocurrieron entre 1915 y 1930, la liberación más prolongada fue en el periodo 1955-1960, pero hubo otras en 2005-2010, 1980 y 1990. La supresión y la liberación de mayor intensidad ocurrieron en 1950 y 1955, con CC= 41 y 61%, respectivamente (Figura 17).

Ejido Xolostitla. El promedio de ancho de anillo de las 28 series analizadas fue de 1.57 mm/año (DE= 0.71 mm/año). Las supresiones fueron en periodos cortos, las más evidentes ocurrieron en 1915, 1965 y 1990. Las liberaciones que se presentaron en periodos de más de cinco años fueron: 1925-1940, 1950-1960 y 1970-1980, y en periodos cortos en 1995-2000. El periodo de liberaciones prolongadas fue entre 1985 y 2010. La supresión más fuerte fue en 1885 (CC= 98%) y la liberación más intensa en 1880 (CC= 30.8%).

Ejido Tecocomulco. El promedio de crecimiento de ancho de anillo de este sitio fue de 1.38 mm/año (DE= 0.78 mm/año). Las supresiones más evidentes en periodos de más de cinco años fueron en 1890-1900, y en periodos cortos ocurrieron en 1940-1945, 1985-1990 y 1975. Las liberaciones que se presentaron en periodos largos fueron en 1905-1940, en periodos cortos en 2005-2010 y aisladas en 1950, 1980 y 1995. El año con supresión más pronunciada fue 1900 y la liberación más evidente fue en 1980, con CC= 60 y 48, respectivamente (Figura 17).

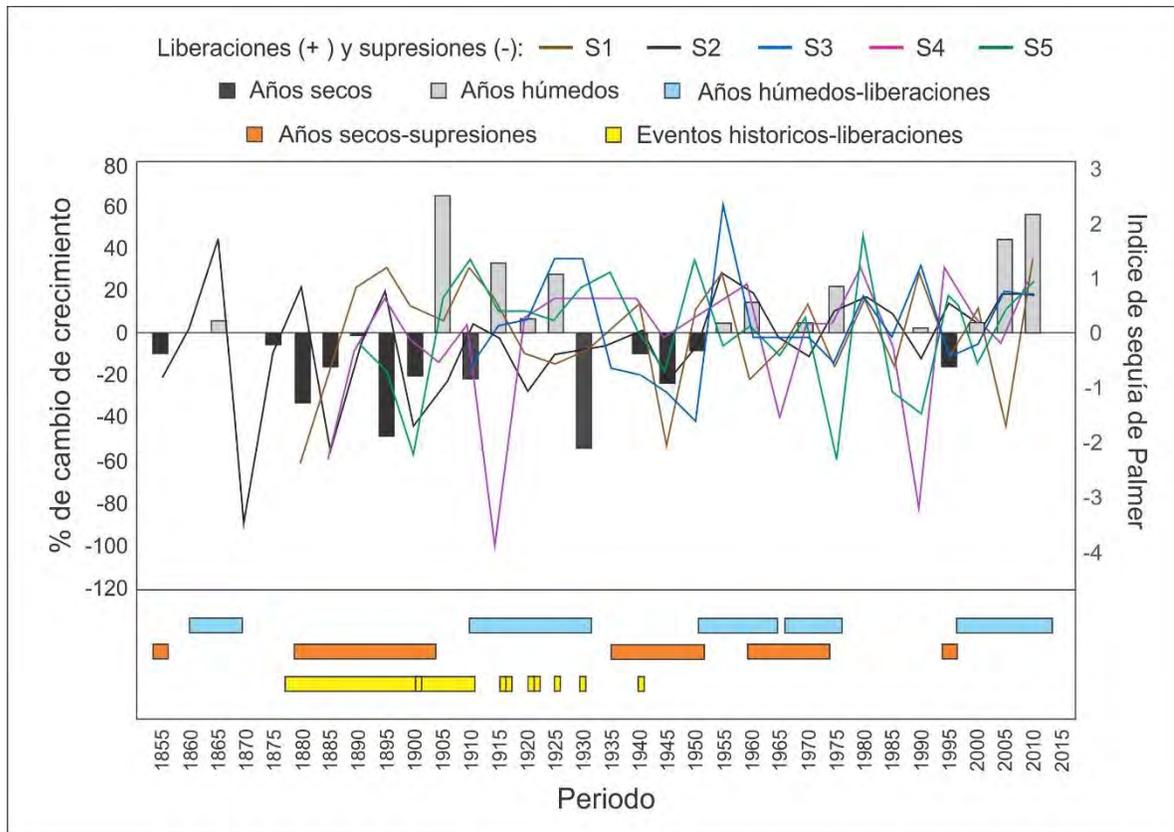


Figura 17. Porcentaje de cambio de crecimiento (liberaciones y supresiones) determinado a partir del promedio de crecimiento radial anual de *A. religiosa* y en periodos de cinco años, en los cinco sitios de estudio. Los rectángulos de color azul y naranja, indican años en que las liberaciones y las supresiones coincidieron con años húmedos y secos (Stahle *et al.* 2016), respectivamente. Los rectángulos de color amarillo, indican años en que ocurrieron hechos históricos importantes en los sitios de estudio relacionados con liberaciones. Sitio 1: Parque Nacional El Chico, Sitio 2: ejido El Cerezo, Sitio 3: ejido Pueblo Nuevo, Sitio 4: ejido Xolostitla, Sitio 5: ejido Tecocomulco.

La relación entre las supresiones y liberaciones observadas de todos los sitios con respecto a los años de sequía y humedad, obtenidos del Atlas de sequías de México (Stahle *et al.*, 2016), muestra que existen coincidencias en distintos periodos de las cronologías de todos los sitios o de algunos de ellos (Figura 17). Se identificaron seis

periodos de supresión que coincidieron con el atlas de sequías de México, que corresponden en orden cronológico a los años 1855 (ejido El Cerezo), posteriormente un periodo largo en 1875-1900, que incluye a El Cerezo, PNEC, ejido Xolostitla y ejido Tecocomulco; en 1910 hubo coincidencia entre los sitios Xolostitla, El Cerezo y Pueblo Nuevo; en la década de los 60's y principios de los 70's en todos los sitios ocurrió una supresión; finalmente en el año 1995 se encontró coincidencia sólo entre los sitios PNEC y ejido Pueblo Nuevo.

Los periodos o años de liberación que coincidieron con los valores de sequía y precipitación del Atlas Nacional fueron, en orden cronológico: en 1855 en el ejido El Cerezo; en la década 1915-1925 en todos los sitios; en 1955-1960 en todos los sitios; en el año 2000 en el PNEC y en los ejidos El Cerezo y Xolostitla; y en 2010 en todos los sitios (Figura 17).

Relación entre el índice de ancho de anillo y el clima

A continuación se describen los valores de correlación entre el índice de ancho de anillo de la madera temprana, tardía y total con respecto a las variables climáticas: precipitación total anual y temperatura mínima, máxima y promedio.

Precipitación abril-septiembre. En general, los valores de correlación entre el índice de ancho de anillo de la madera temprana, tardía y total, con respecto a los meses del año con mayor precipitación pluvial, fueron estadísticamente no significativos (Figura 18). Sin embargo, en cuatro de los cinco sitios analizados, los valores de correlación entre el índice de ancho de anillo de la madera temprana y total, con respecto a la precipitación pluvial del mes de abril, fueron estadísticamente significativos y positivos ($p < 0.05$), la

excepción fue el sitio 4 (ejido Xolostitla). Los valores de precipitación de algunos de los meses de la temporada de lluvias, mostraron correlación negativa significativa ($p < 0.05$) con respecto al IAA de la madera temprana, tardía o total: julio (sitio 2), septiembre (sitios 3 y 5). Es importante mencionar que se observó un patrón de respuesta similar en la mayoría de los sitios (excepto el sitio 4), en los valores del índice de correlación (positivos y negativos) aun cuando, la mayoría de estos no fueron estadísticamente significativos (Figura 18).

Precipitación octubre-marzo. Los valores de correlación entre el IAA (madera temprana, tardía y total) y los meses de la temporada seca del año, fueron en general no significativos estadísticamente (Figura 19). Los valores de correlación que fueron estadísticamente significativos ($P < 0.05$) y positivos fueron los siguientes: mes de noviembre con respecto al IAA de la madera temprana y total (sitio 2); mes de marzo con respecto al IAA de la madera, temprana, tardía y total (sitio 3); mes de octubre con respecto al IAA de la madera tardía y total (sitio 5); y mes de marzo con respecto a el IAA de la madera tardía (sitio 5). Se observó una respuesta semejante en los valores de los índices de correlación entre sitios, dado que la gran mayoría fueron positivos (significativos o no). Resalta el mes de marzo, por presentar en todos los sitios, valores de correlación positivos altos (Figura 19), independientemente de que fueran estadísticamente significativos, o no significativos.

Por otra parte, del análisis de la relación entre la precipitación de la temporada de lluvias (abril-septiembre), de la temporada de secas (octubre-marzo) y de la precipitación total anual acumulada, con respecto a los IAA de la madera temprana, tardía y total, sólo se

obtuvieron valores estadísticamente significativos en dos sitios para la temporada de secas: en el sitio 1, para el IAA de la madera temprana ($r= 0.24$, $P<0.05$), tardía ($r= 0.21$, $P<0.05$) y total ($r= 0.24$, $P<0.05$); y en el sitio 5 para el IAA de la madera temprana ($r= 0.22$, $P<0.05$), tardía ($r= 0.37$, $P<0.01$) y total ($r= 0.27$, $P<0.05$).

Temperatura máxima. Los valores de los coeficientes de correlación entre el IAA de la madera temprana, tardía y total, con respecto a la temperatura máxima de los meses del año en los diferentes sitios analizados, no muestran un patrón de respuesta consistente. Sin embargo, la mayoría de los valores de los índices de correlación son negativos, en particular en el primer semestre del año, excepto en la población de *Abies* del ejido Xolostitla (Sitio 4), en donde los valores de correlación estimados fueron positivos en todos los meses (Figura 20).

Sólo en dos sitios se estimaron valores de correlación estadísticamente significativos entre las variables de interés: en el sitio 4 los valores de correlación entre temperatura máxima y el IAA de la madera temprana, fueron positivos y estadísticamente significativos en febrero ($P<0.01$), marzo ($P<0.01$), abril ($P<0.01$), mayo ($P<0.04$), junio ($P<0.02$), julio ($P<0.008$), septiembre ($P<0.01$), octubre ($P<0.03$), noviembre ($P<0.01$) y diciembre ($P<0.04$). En el sitio 5, los valores de correlación entre temperatura máxima y el IAA de la madera tardía, fueron negativos y estadísticamente significativos sólo en abril ($P<0.024$) y mayo ($P<0.003$); y entre la temperatura máxima y el IAA total ($P<0.04$) en el mes de mayo (Figura 20)

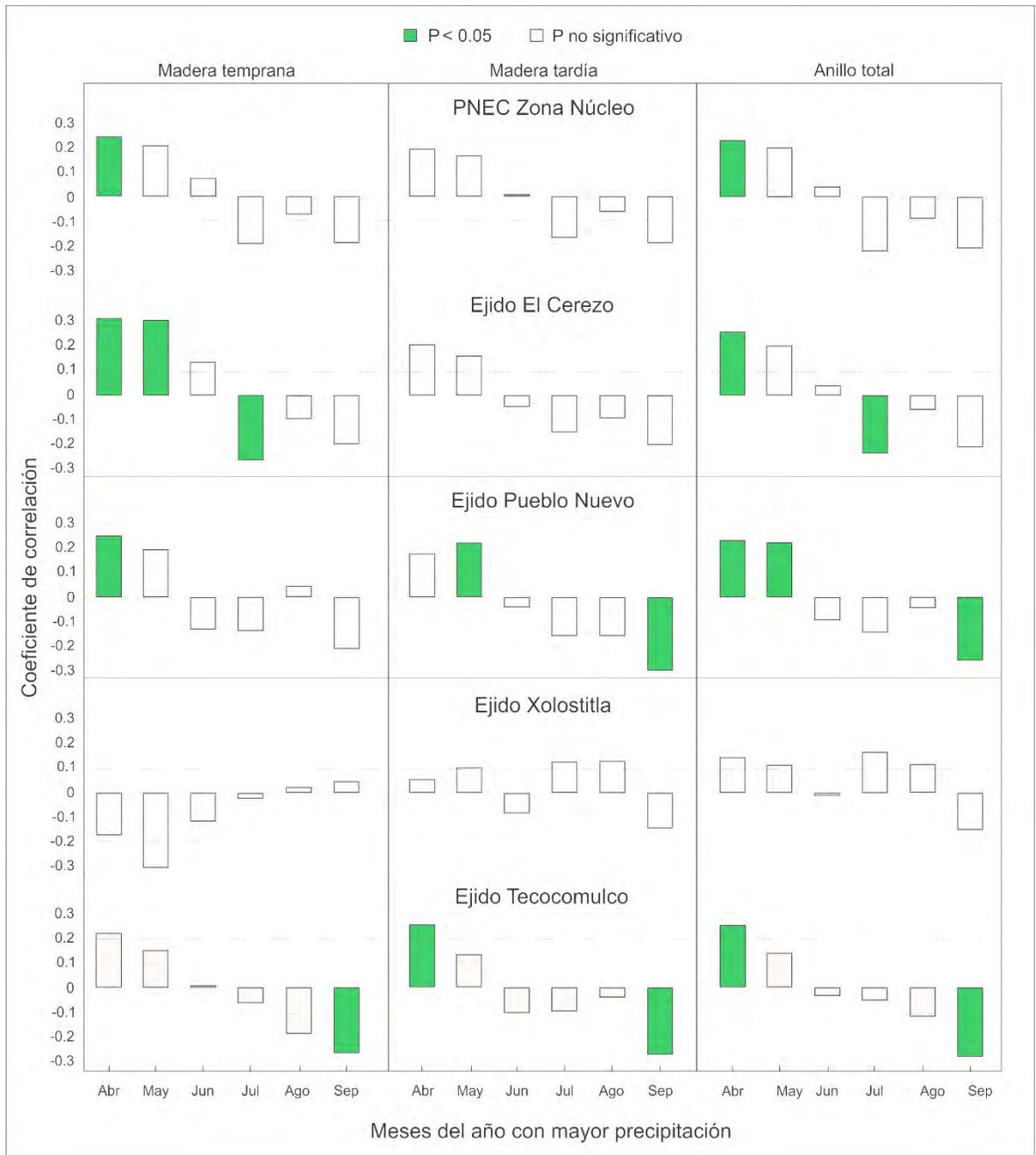


Figura 18. Coeficientes de correlación de la precipitación total en los meses con lluvia en los sitios de estudio, con respecto al índice de ancho de anillo de madera temprana, tardía y total.

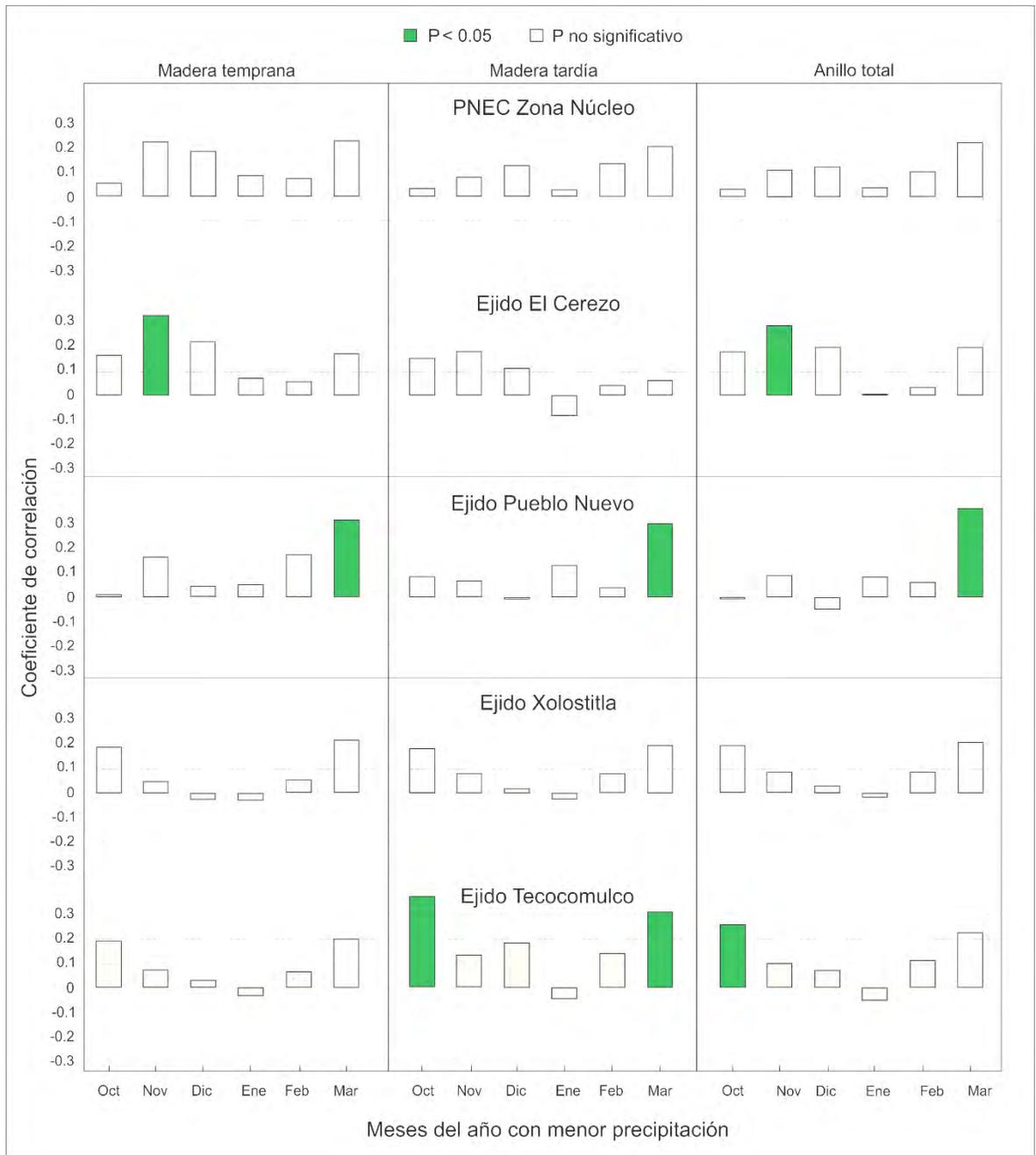


Figura 19. Coeficientes de correlación de la precipitación total en los meses de sequía en los sitios de estudio, con respecto al índice de ancho de anillo de madera temprana, tardía y total.

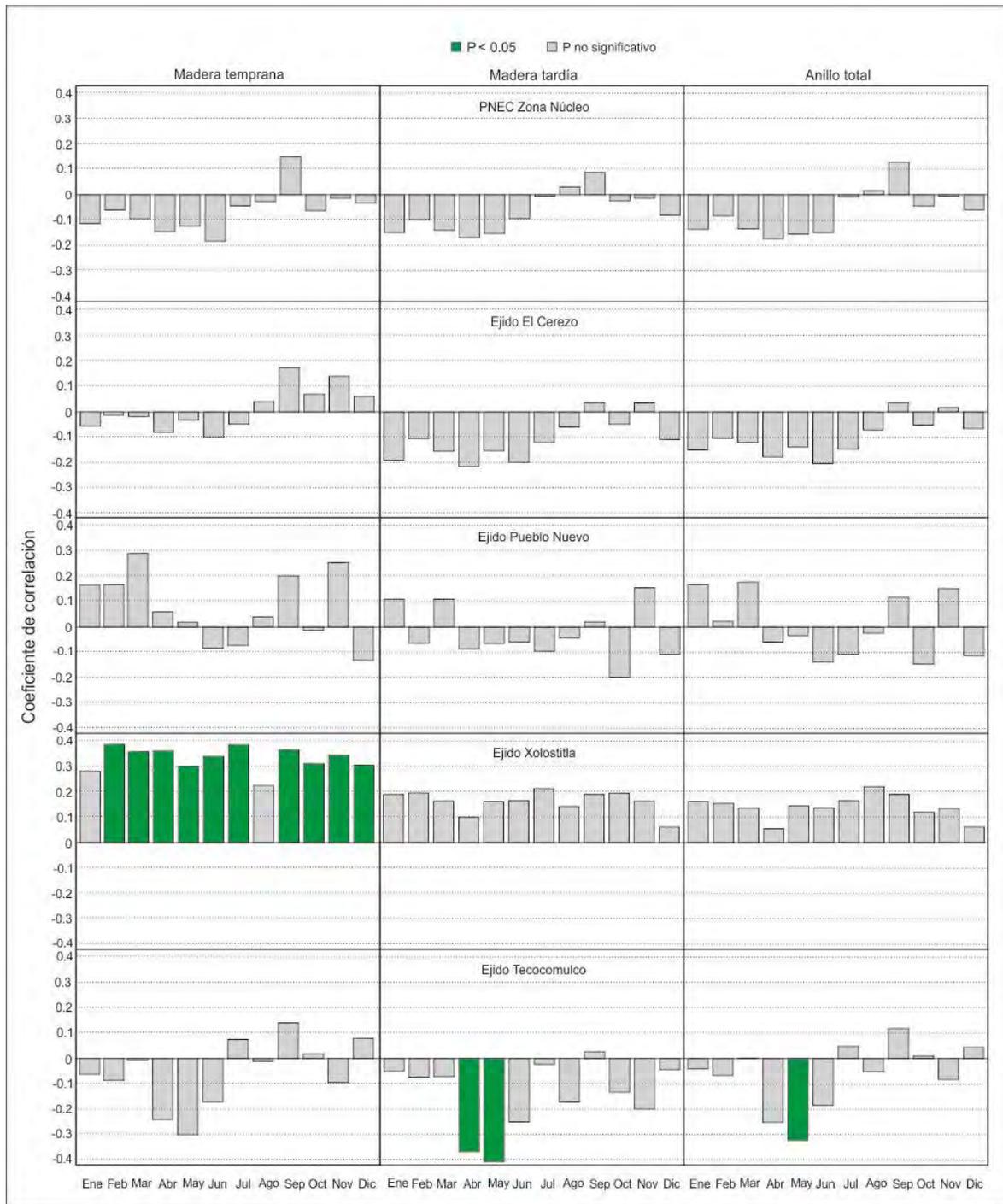


Figura 20. Coeficientes de correlación de la temperatura máxima, comparada con los índices de ancho de anillo de madera temprana, tardía y total en los sitios de estudio.

Temperatura mínima. La mayoría de los valores de los coeficientes de correlación estimados a partir de la temperatura mínima y el IAA (madera temprana, tardía y total),

fueron estadísticamente no significativos. Además, no se observó alguna tendencia, dado que los valores de correlación difieren entre sitios y en el sentido de la relación (positiva o negativa). Solo en el sitio 2 se estimaron valores de correlación estadísticamente significativos ($P < 0.05$) y negativos entre el IAA de la madera temprana, tardía y total, con respecto a la temperatura mínima del mes de abril. En el sitio 4, solo uno de los valores de correlación fue estadísticamente significativo ($P < 0.05$) y negativo: el del mes de abril con respecto al IAA de la madera tardía (Figura 21).

Temperatura promedio. Los valores de los coeficientes de correlación entre la temperatura promedio y el IAA, no muestran alguna tendencia o patrón entre los sitios analizados; pues difieren en el sentido de la relación (negativa o positiva) y pocos son estadísticamente significativos. Los sitios en lo que se estimaron valores significativos fueron los siguientes: en el sitio 1 la temperatura promedio del mes de abril se relaciona negativamente con el IAA total ($P < 0.05$), en el sitio 4 la temperatura promedio de los meses de enero, febrero, marzo, agosto, noviembre y diciembre se relaciona positiva y significativamente ($P < 0.05$) con el IAA de la madera temprana; y en el sitio 5, existe correlación positiva significativa entre la temperatura del mes de noviembre y el IAA de la madera temprana y total (Figura 22).

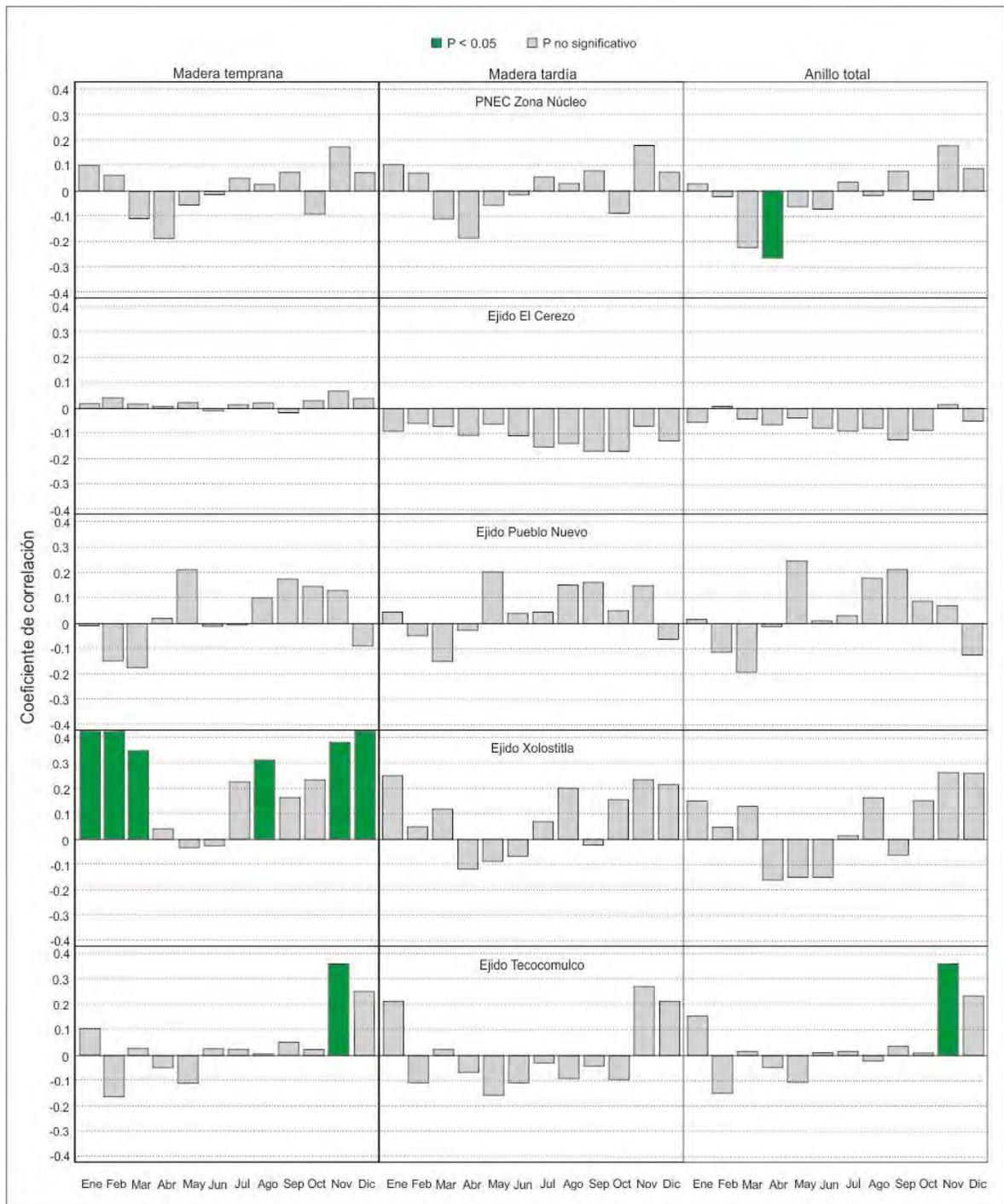


Figura 21. Coeficientes de correlación de la temperatura mínima con respecto a los índices de ancho de anillo de madera temprana, tardía y total en los sitios de estudio.

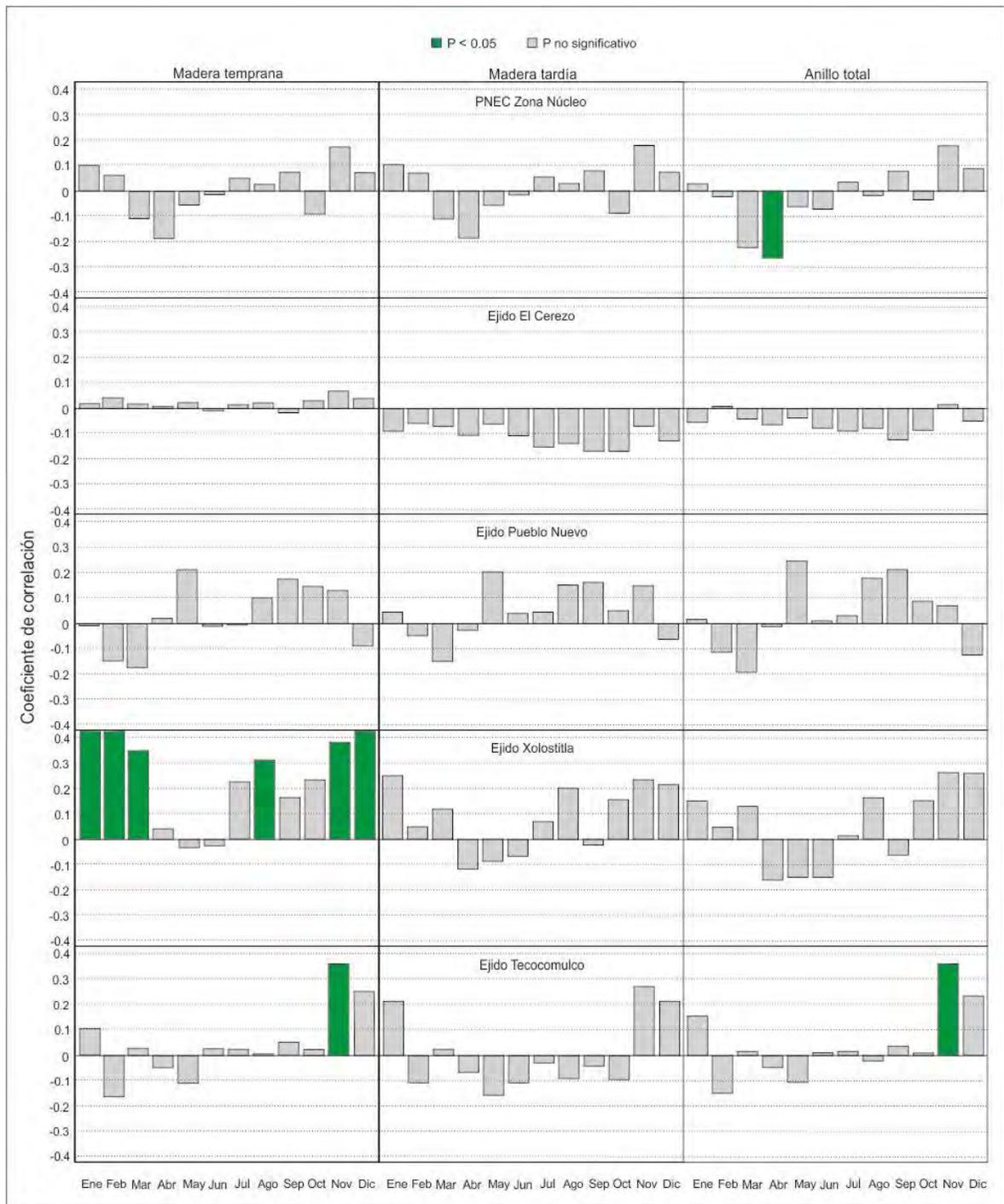


Figura 22. Coeficientes de correlación entre la temperatura promedio y el índice de ancho de anillo de la madera temprana, tardía y total, en los sitios de estudio.

Historia del uso del bosque de oyamel del estado de Hidalgo

La historia de los sitios con bosque de oyamel analizados en el estado de Hidalgo, permite discriminar con claridad dos regiones. La primera incluye al bosque del Parque Nacional El Chico y sus alrededores, en el que hubo un fuerte impacto por tala cuando los pueblos pidieron dotación de tierras, y la segunda región está conformada por las regiones de Almoloya, Cuautepec y Epazoyucan, en donde la repartición de tierras se realizó de manera pacífica, o por lo menos, sin el fuerte impacto registrado en la región de El Chico.

En la región de El Chico existe una larga historia de asentamientos humanos; de acuerdo con documentos del Archivo General Agrario se cuenta que cuando los conquistadores españoles llegaron a la región y descubrieron las ricas vetas argentíferas en los alrededores de Pachuca, concentraron a los habitantes que estaban diseminados en un lugar al que se denominaba El Cerezo, con el fin de que apoderarse de los terrenos para realizar libremente la explotación del metal. Para que los habitantes desplazados pudieran subsistir, el Gobierno Virreinal les proporcionó tierras de cultivo, pero siendo estas escasas y habiendo bosques cercanos, los dotó de éstos para que explotaran la leña, carbón y pastos para su ganado. Así lograron sobrevivir por más de 300 años, sin crecimiento poblacional evidente y sin impactar el medio de manera evidente. Otro documento señala que el 06 de agosto de 1579, el virrey Martín Enríquez de Almanza les proporcionó tierras a los pueblos de San Francisco Acayuca, La Estanzuela Cosamaluapan, Cerezo, Santiago y otras rancherías esparcidas en los montes y cañadas de Cosamaluapan, sujetos de la cabecera del pueblo de Acayuca de la jurisdicción del Real y Minas de Pachuca (AGA, 1917).

Mucho tiempo después, cuando el general Rafael Cravioto ocupó la gubernatura de Hidalgo, con el pretexto de deslinde de tierras baldías, denunció como tales los bosques con que se había dotado a esos pueblos y los expropió (AGA, 1926), fueron terrenos con los que él y sus hermanos, de una manera abusiva, establecieron la hacienda El Zoquital. Rafael Cravioto fue gobernador del estado de Hidalgo de 1877 a 1881, lo sucedió su hermano, Simón Cravioto, de 1881 a 1885, y después otro hermano, Francisco Cravioto, de 1885 a 1889. Después, regresó a la gubernatura Rafael y la dejó hasta 1897. Cuando esto ocurrió subió al poder Pedro Ladislao Rodríguez (1897-1911) a quien acudieron los pobladores para quejarse del robo que habían sufrido por parte de los hermanos Cravioto. Rodríguez prometió recuperar montes y terrenos, sin embargo, se autotituló “inspector de bosques” y las tierras se quedaron en poder del gobierno del estado (AGA, 1921).

Estos abusos ocurrieron a pesar de que desde 1902, Miguel Ángel De Quevedo había formado la Junta Central de Bosques, cuyo objetivo principal fue la conservación de los mismos (Quevedo, 1943). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados al establecer leyes de protección de los bosques, se cometieron arbitrariedades en varios lugares. A finales de 1921, después de que se dieron los movimientos armados de la Revolución Mexicana y que De Quevedo tuvo que salir del país porque fue amenazado de muerte por Victoriano Huerta (Quevedo, 1943), fundó a su regreso la Sociedad Forestal Mexicana; junto con varios ingenieros, trabajaron para establecer leyes de protección de los bosques que culminaron en la Ley de 1926, con la que se pretendía regular la tala, es decir, enseñar a los pueblos a talar de manera “racional”.

Sin embargo, cuando El Cerezo y otros poblados aledaños exigieron la devolución de sus tierras, se taló el bosque de manera intensa con el fin de que los solicitantes

recibieran terrenos sin arbolado. Así, en la documentación encontrada en el Archivo General Agrario se dice que: “En una carta del 13 de enero de 1926, el Presidente del Comité Particular Ejecutivo del pueblo del Cerezo, se queja a la procuraduría de pueblos y dio aviso del abuso que estaba ocurriendo por parte de los propietarios de los predios que fueron impuestos como dotadores de ejidos, pues estaban realizando una tala arrasante, con el deliberado propósito de dejar tanto las tierras como los bosques en las peores condiciones, a fin de que la dotación en nada beneficiara a los usufructuarios” (AGA, 1926). El 12 de febrero siguiente, el procurador de pueblos expuso que:

“Dado que el pueblo El Cerezo pidió restitución, los afectables principiaron una tala inmoderada para que, en caso de que se diera la restitución, las tierras quedaran completamente explotadas y así rendir pocos beneficios al pueblo dotado. Los interesados acudieron a esta procuraduría para que se detuviera la explotación inmoderada y habiendo efectuado una visita de inspección el 11 y 12 de enero de este año en curso y comprobando los hechos denunciados, me dirigí a las autoridades del Estado, las que suspendieron dicha explotación. Sin embargo, como hay varios pueblos que rodean Cerezo, éstos subrepticamente seguían explotando los bosques, acabando con el renuevo, validos de la escasa vigilancia. Me trasladé al Chico los días 4 y 5 de los corrientes para entrevistar al Inspector de Bosques de la Secretaría de Agricultura y Fomento y recorrer los bosques objeto de los hechos denunciados (AGA, 1926b).”

De acuerdo con los documentos, ocurrió lo mismo en el poblado de Carboneras: las cartas muestran que los taladores fueron los descendientes de los hermanos Cravioto. Así, los habitantes de Carboneras solicitaron la devolución de sus tierras el 06 de junio

de 1921, pues se quejaron de que la hacienda de El Zoquital se había apropiado de sus tierras desde 1877. El poblado colindaba al norte y al este con esta hacienda, al sur con Pueblo Nuevo y al oeste con Mineral del Chico. En ese entonces contaba con numerosos manantiales (500 litros por segundo). Los vecinos se quejaron de que nunca habían podido aprovechar el bosque que se suponía era de su propiedad, por las constantes invasiones de los dueños de El Zoquital, que en complicidad con autoridades locales y aun de los agentes forestales de la Secretaría de Agricultura y Fomento, habían seguido talando de manera inmoderada los terrenos de la ranchería (POEH, 1924). El 24 de septiembre de 1926 se resolvió dotar al pueblo con 1,850 ha de El Zoquital. Pompeyo Cravioto alegó que ya les habían quitado 2,324 ha para Atotonilco el Grande, 2,703 ha para Amajac, 919 ha para Santorum, 2,260 ha para Cerro Colorado, 2,560 ha para El Xathe y 150 ha para Pueblo Nuevo, es decir, un total de 10,917 ha y que ahora pretendían quitarles la parte boscosa del sur, que los vecinos seguramente desmontarían, como había ocurrido con Pueblo Nuevo. Entonces se les hizo ver que todavía contaban con 10,880 ha, pues la hacienda había tenido una extensión de 24,852 ha y, además, se hacía constar que los vecinos de Carboneras no eran los que habían talado de manera inmoderada.

Otro pueblo que solicitó la restitución de sus tierras fue el de La Estanzuela; decían ser dueños del rancho La Laguna que habían heredado desde tiempos inmemoriales, pero que les había sido arrebatado por los dueños de la hacienda La Concepción (AGA, 1916). Al parecer, a este ejido se le entregaron tanto tierras de la parte boscosa, situada al norte de Pachuca, como tierras para cultivo situadas al sur de la ciudad. Se señaló que en la parte boscosa predominaban el tlaxcal, el oyamel y el ocote,

que buena parte de sus habitantes se dedicaba a la explotación de los montes cercanos, bien en corte de madera o en fabricación de carbón, y que el resto prestaba sus servicios en las minas de la región y, como siempre que se entregaban tierras boscosas y desde que existió el Departamento de Bosques, primero, y la Sociedad Forestal Mexicana después, se solicitaba a los ejidatarios que la existencia de los bosques y arbolados era necesaria para asegurar las mejores condiciones climáticas y meteorológicas del país, y necesarios para conservar una de las principales fuentes naturales de riqueza pública, de manera que se les pedía que realizaran la explotación en común de los terrenos forestales y que se cumpliera de manera exacta con las leyes en la materia (AGA, 1922).

Aunque a lo largo de la historia ha existido tala en todas las regiones del área de estudio, en los bosques de Epazoyucan (Peñas Cargadas, perteneciente a Xolostitla y Nopalillo), Almoloya y Cuauhtepic, la cesión de tierras ocurrió con mayor parsimonia. En una entrevista realizada al señor Julián Cruz Chávez (ejidatario), en agosto de 2017, narró que Xolostitla fue fundado por un español de nombre Trinidad Samperio, quien era dueño de la hacienda Huerta Grande, productora de pulque, cuyas tierras fueron tomadas para entregar al pueblo cuando llegó el agrarismo. Los habitantes de Xolostitla, poseen tierras de cultivo en una parte plana (en donde se encuentra establecido el pueblo), en las que siembran maíz, frijol y cebada para autoconsumo, y son dueños también del bosque de Peñas Cargadas. De acuerdo con don Julián, hace muchos años sí se talaba, pero desde hace 30 formaron un parque turístico que el pueblo se encarga de administrar y de cuidar. Los oyameles ocupan el 70 % del parque, 20% es pino ocote y 10% tlaxcal y encinos. Antes se cortaba el encino para vías y el oyamel para muebles. Actualmente utilizan el oyamel, pero solo el que tiene plaga y solo con permiso ante CONAFOR. Les

dan 2,900 árboles anuales para reforestar. El presidente del comisariado es Miguel Ortiz, quien representa a 175 ejidatarios y quien trabaja con apoyo de dos secretarios, un tesorero y un consejo de vigilancia. En Peñas Cargadas hay manantiales, cuyas aguas son utilizadas en las cabañas y los baños. De acuerdo con la documentación analizada, efectivamente hubo una hacienda llamada La Huerta cuyas tierras solicitaron los habitantes de Xolostitla el 24 de enero de 1930. Las tierras se les entregaron sin ninguna discusión porque para entonces ni siquiera se logró saber el lugar de residencia del propietario (POEH, 1930), por lo que no ocurrieron agresiones como en las comunidades cercanas a El Chico. En 1941 se les entregaron 136 ha más de bosque, que habían pertenecido a esta hacienda (POEH, 1941).

El 6 de enero de 1930 los vecinos de la Ranchería El Nopalillo acudieron al Gobierno del Estado de Hidalgo para solicitar dotación de tierras ejidales. En ese entonces la ranchería estaba diseminada entre El Nopalillo (54-80-00 ha) y Las Ánimas (14-20-00 ha), al sur se encontraba el Rancho Coporillo, de José Contreras; al norte la hacienda El Guajolote, de Rafael Amador; al este, la hacienda Tecuaco y rancho La Peñuela; al oeste el rancho Coporillo y rancho Huerta Chica de Isaac Samperio. Los dueños de estos ranchos y haciendas alegaban que sus tierras no eran lo suficientemente grandes como para ser repartidas. El de la hacienda El Guajolote, por ejemplo, dijo que la mayor parte de sus tierras eran de monte alto y que solo una pequeñísima parte eran tierras de labor. También se encontraba la hacienda de Cuasacualco, propiedad de Javier Ramírez Aguilar, con 271 ha de monte alto, 14 ha de tierra de temporal con maguey y 2 ha de pastizales. Se expropiaron tierras de El Guajolote, Cuasacualco y Coporillo. Se entregan a El Nopalillo 394 ha, de las cuales 271 ha eran de bosque y se les dieron “en la

inteligencia de que los ejidatarios para la explotación del monte alto que entra en la dotación se sujetarán en todo y por todo a las disposiciones legales vigentes de la Federación y del Estado quedando obligados a fomentarlo y a no destruirlo” (POEH, 1932). En el caso de Almoloya y Cuauhtepic se les entregaron tierras de cultivo y bosques provenientes de la Hacienda San Francisco, Ocotepic y de la Hacienda Tepantitla, respectivamente. Aunque en todos los casos los propietarios trataron de evitarlo y se defendieron con diferentes argumentos, finalmente las tierras fueron entregadas de manera pacífica y sin daños por tala inmoderada (Cuadro 4, Figura 17).

Cuadro 4. Periodos en que ocurrieron hechos históricos importantes, posiblemente relacionados con liberaciones o supresiones en el crecimiento de los árboles de oyamel en los sitios analizados

Periodo	Lugar	Evento o suceso	Actividades	Liberaciones
1877-1911	PNEC y zonas cercanas	Aprovechamiento intensivo por los Cravioto para entrega de tierras sin recursos.	Tala excesiva de árboles	S1
1902	Hidalgo	Junta Central de Bosques para lograr la conservación por Miguel Ángel de Quevedo	-	-
1916	La Estanzuela	Demanda a dueños de la Hacienda la Concepción, devuelta en 1922	Tala inmoderada	S1, S3, S5
1917	Cuautepec	Entrega de 735 ha de tierras de cultivo y bosque de la Hacienda Tepantitla	-	-
1921	Carboneras	Demanda a los Cravioto, Hacienda el Zoquitla, devuelta en 1926	Tala inmoderada	S3
1922	Almoloya	Entrega de 700 ha para cultivo y bosques de la Hacienda San Francisco Ocotepc	-	-
1926	El Cerezo	Demanda a los Cravioto, dueños de la Hacienda El Zoquitla	Tala inmoderada	S3, S4, S5
1930	Xolostitla, Epazoyucan	Entrega de tierras sin problema por desconocimiento del propietario	-	-
1941	Xolostitla, Epazoyucan	Entrega de 136 has adicionales de bosques	-	-

DISCUSIÓN

Estructura del bosque de oyamel

En el presente estudio sólo se analizaron las especies de arbustos y árboles con mayor importancia estructural en el bosque de oyamel, por lo que la riqueza florística fue relativamente baja, comparada con la estimada en otros trabajos que consideraron el total de la flora vascular, realizados en el mismo tipo de vegetación en distintas entidades del país, como por ejemplo en el Estado de México (Sánchez-González *et al.*, 2005; Sánchez-González *et al.*, 2006; Zepeda-Gómez *et al.*, 2018), Jalisco (Cisneros-Lepe, 2005), Veracruz (Narave-Flores, 1985) y Coahuila (Encina-Domínguez *et al.*, 2008). En cambio, los valores estructurales de las especies (VIR) fueron similares a los obtenidos en otros estudios con *A. religiosa* realizados en Jalisco y Tlaxcala (Bautista, 2013) y con *A. vejarii* en Coahuila (Encina-Domínguez *et al.*, 2008).

La mayoría de las especies de arbustos y árboles con importancia estructural, identificadas en el presente estudio, pueden considerarse como representativas del bosque de oyamel de la Faja Volcánica Transmexicana. Sin embargo, las diferencias en los valores estructurales de algunas de ellas entre sitios de muestreo (presente estudio) o entre regiones (otros estudios), puede estar relacionado con las condiciones ambientales particulares (locales) que existen en cada sitio: altitud, exposición, pendiente, grado de perturbación (Sánchez-González *et al.*, 2005; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2015; Endara y Herrera, 2016).

A nivel local, el análisis de agrupamiento permitió reconocer cuatro variantes del bosque de oyamel, que presentan diferencias apreciables entre sí con respecto a los valores estructurales de las especies dominantes, la distancia geográfica y el grado de

perturbación; lo cual se representó en los perfiles semi-realistas. El bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico y del ejido El Cerezo, destacan por la mayor riqueza de árboles y arbustos codominantes y por la dominancia de árboles de *Abies religiosa* robustos (de altura y diámetro considerables). En algunos estudios se ha sugerido que los árboles de *Abies* alcanzan su óptimo desarrollo en altitudes elevadas, entre 3,200 y 3,400 m (Sánchez-González *et al.*, 2006; Encina-Domínguez *et al.*, 2008), conformando bosques mono-específicos. Sin embargo, ninguno de los parches con bosque de oyamel en el estado de Hidalgo, se distribuye en la altitud referida (el intervalo que ocupan oscila entre 2,320 y 3,090 m), por lo que deben ser otros los factores ambientales que expliquen la amplia variación encontrada entre sitios con respecto a los valores de dominancia (VIR) en el dosel de *Abies religiosa* (Sánchez-González *et al.*, 2005; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2015; Zepeda-Gómez *et al.*, 2018).

En el caso de bosque de oyamel del ejido Pueblo Nuevo, por ejemplo, la escasa densidad de árboles de *Abies* podría estar relacionada con la existencia de claros abundantes, que resultan del aprovechamiento forestal, del cambio de uso del suelo, de la apertura de caminos, veredas y del desarrollo turístico fomentado por los ejidatarios en la zona. En este bosque se encontraron además, especies de plantas indicadoras de disturbios recientes, como *Archibaccharis* sp., *Baccharis conferta* y *Roldana* spp. (Rzedowski, 1978; García-Sánchez *et al.*, 2014; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2015). También fue uno de los bosques situados a menor altitud, con los individuos de oyamel menos robustos y con un dosel codominado por especies de árboles representativos de otros tipos de vegetación aledaños, como el bosque de *Quercus* o el bosque de *Pinus* (Rzedowski, 1978; Sánchez-González *et al.*, 2003; Endara y Herrera, 2016).

El bosque de Xolostitla presentó la menor riqueza de especies, lo cual puede estar relacionado con el disturbio de origen antrópico originado por las labores de limpieza (deshierbe), que realizan los ejidatarios para fomentar el ecoturismo. En este ejido se observaron los claros más grandes dentro del bosque causados por las actividades de limpieza, pero fue el sitio en donde el oyamel presentó el VIR más alto, posiblemente a causa de la eliminación de otras especies de árboles y arbustos codominantes, en sitios donde el bosque está poco perturbado (Endara y Herrera, 2016).

En los ejidos de Tecocomulco, El Cerezo y en el Parque Nacional El Chico, el bosque mantiene una alta riqueza de especies de arbustos y árboles, lo cual podría deberse a que comparte taxones con otras asociaciones vegetales con las que colinda geográficamente, como el bosque de *Pinus* y de *Quercus* (Rzedowski, 1978; Sánchez González *et al.*, 2005; Encina-Domínguez *et al.*, 2008). A pesar de ello, algunos árboles de oyamel fueron robustos, quizás porque la perturbación antrópica fue escasa, no se observó actividad turística y el aprovechamiento del oyamel fue fortuito.

En todas las localidades analizadas, el VIR de *Abies religiosa* fue mayor de 50%, lo cual podría ser considerado como un indicador de la etapa sucesional o del grado de perturbación del bosque. Por ejemplo, en los sitios con mayor evidencia de disturbios antrópicos (ejidos Pueblo Nuevo y Tecocomulco) se registró el VIR más bajo, en cambio, en los sitios menos afectados (El Cerezo, Parque Nacional El Chico y Xolostitla), el VIR fue más elevado.

Estructura poblacional de *Abies religiosa*

En la mayoría de los sitios analizados resalta la presencia de un alto porcentaje de plantas pequeñas (juveniles), es decir, con un patrón de distribución de alturas y diámetros de los individuos en forma de “J” invertida. Por ello, las poblaciones se consideraron como dinámicas o en etapa de regeneración natural activa, donde dominan los individuos juveniles (Agurauja *et al.*, 2008). El mismo patrón de desarrollo se ha observado en otras poblaciones de *Abies religiosa* en otras regiones de México (Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 1991; Pineda-López *et al.*, 2013).

La supervivencia de las plántulas es una de las fases más importante en el ciclo de vida de los árboles, los individuos pequeños son potencialmente más susceptibles a plagas, enfermedades e incendios (Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 1991). En el caso de *Abies religiosa*, no hay registros de consumo parcial o total de sus semillas o plántulas por herbívoros (Ángeles-Cervantes y López-Mata, 2009), pero las semillas pierden viabilidad el mismo año de su dispersión, por lo que no existe un banco de las mismas en el suelo forestal.

Los resultados obtenidos por Lara-González *et al.* (2009) indican que la densidad de individuos de *Abies* es más alta en los claros que en la sombra (sotobosque), por lo que es posible que los espacios abiertos favorezcan su regeneración (Challenger y Caballero, 1998). En el bosque del ejido Pueblo Nuevo en particular, la alta densidad de individuos de oyamel de talla pequeña (en altura y diámetro), podría estar relacionada con la apertura constante de claros (mayor entrada de luz). El régimen de disturbio antrópico en este sitio, dirigido hacia la extracción (tala) de otras especies de árboles, dado que el oyamel está en veda, estaría favoreciendo la supervivencia de árboles de

Abies de edades (tallas) avanzadas, por lo que la alta frecuencia de individuos de talla pequeña (tanto en altura como en diámetro), podría ser indicativo de la presencia de disturbios constantes más que de una población dinámica, como se ha mencionado en otros estudios (Ortiz-Quijano, 2015).

Con respecto a la correlación entre altura y diámetro, en la mayoría de los estudios con especies arbóreas y en particular con oyamel, se ha corroborado la existencia esta relación alométrica, por lo que el diámetro puede ser considerado como un buen predictor de la altura de los árboles de *Abies* y viceversa (Li *et al.*, 2015; Ortiz-Quijano *et al.*, 2016). Sin embargo, no se encontró asociación estadísticamente significativa de la edad con respecto al diámetro y la altura de los individuos de oyamel, a diferencia de otros estudios realizados con diferentes especies de árboles, donde si han estimado correlación positiva significativa alta (Vospersnik *et al.*, 2010; Ortiz-Quijano *et al.*, 2016; Dey *et al.*, 2017).

En el análisis estadístico, en el presente estudio, no se consideraron los valores de diámetro y altura de los individuos jóvenes y solo se incluyeron datos de individuos adultos (> de 30 cm de diámetro), que presentan un patrón de crecimiento en diámetro y altura más lento y diferente al de los individuos juveniles (Vospersnik *et al.*, 2010; Ortiz-Quijano *et al.*, 2016), por lo que los resultados obtenidos son sesgados.

Análisis dendrocronológico

Las cronologías obtenidas son las más antiguas encontradas en *A. religiosa* en el estado de Hidalgo, pero no las más longevas, pues en las poblaciones de *Fagus grandifolia* subsp. *mexicana* de la entidad, se obtuvo una cronología de 167 años (Ortiz-Quijano *et al.*, 2018). A pesar de que en el presente estudio la cronología más larga fue

de 166 años, el periodo común entre los cinco sitios fue de sólo 36 años (1980-2016). Este corto periodo de años coincidentes indica que la cantidad de árboles longevos colectados fue menor, lo cual podría atribuirse a la compleja historia de actividades humanas en el área, que incluyen la tala ilegal y cambios extensivos en el uso de suelo, que sugieren que el bosque de oyamel actual se encuentra en etapa de regeneración (sucesión secundaria), como se ha observado en otros bosques de coníferas (Carlón-Allende *et al.*, 2018). La excepción fue el sitio de muestreo o localidad 1, con un intervalo común de 84 años entre sus series de crecimiento. La observación de un periodo común entre sitios en las últimas tres décadas, podría implicar que el efecto del cambio climático está influyendo de manera más directa sobre las poblaciones de oyamel en tiempos recientes, tal como se ha observado en distintas especies de árboles en varias regiones del planeta (Hackett-Pain *et al.*, 2016; Rohner *et al.*, 2016; Ortiz-Quijano *et al.*, 2018).

Las cronologías de las poblaciones de oyamel resultaron relativamente cortas (50-100 años), aun cuando el muestreo de las series de crecimiento de los árboles estuvo dirigida hacia los de mayor grosor; por lo que es importante resaltar que no siempre existe correlación positiva entre el grosor del tronco de los árboles y la edad, pues son múltiples los factores ambientales que pueden modificar esta relación (Dutca *et al.*, 2014). Los sitios de muestreo se encontraban bajo un plan de manejo, que permite aprovechar la madera sin “dañar” al bosque, pues suelen cortarse los individuos enfermos y seniles. Esto implica que los árboles longevos son talados continuamente, lo cual provoca la pérdida de información para reconstruir la historia del bosque a través de los anillos de crecimiento (Carlón-Allende *et al.*, 2018; Ortiz-Quijano *et al.*, 2018). Este hecho resalta

en particular en el ejido Pueblo Nuevo, donde el “manejo” o extracción de individuos explica por qué se obtuvo la cronología más corta.

En la población de *Abies* del PNEC, se esperaba encontrar individuos longevos, dada su condición de zona núcleo del Área Natural Protegida (Parque Nacional). Sin embargo, se encontraron arboles con tallos de diámetro considerable, pero no tan longevos, e individuos con tallos delgados pero de edad avanzada. La presencia de individuos de tallos delgados de edad avanzada, podría ser resultado de la competencia vegetal en el dosel en un bosque con poco disturbio, pues es posible que la escasa entrada de luz y la cantidad de nutrimentos del suelo repercutan o afecten el crecimiento radial de los árboles (Neumann, 2001).

La sensibilidad intermedia-alta de *Abies religiosa*, detectada a partir de las series de crecimiento, indica que puede ser utilizada en estudios dendrocronológicos, pues sus poblaciones son buenas indicadoras de los cambios en las condiciones ambientales, a diferencia de otras especies arbóreas menos sensibles estudiadas en el estado de Hidalgo, como *F. grandifolia* subsp. *mexicana* (Ortiz-Quijano, 2015; Ortiz-Quijano *et al.*, 2018).

Relación entre el crecimiento de los árboles de oyamel y el clima

El crecimiento de los árboles está fuertemente influenciado, entre otros factores, por el clima. Durante varias décadas se han realizado esfuerzos para comprender mejor las relaciones entre las condiciones climáticas y el crecimiento de los árboles. En el contexto del cambio climático la cuantificación de estas relaciones ha ganado importancia (Rohner *et al.*, 2016). En el presente estudio, los valores de correlación entre el

crecimiento radial (definido a través del IAA) y el clima fueron significativos, en particular con la precipitación pluvial, más que con la temperatura (máxima, mínima o promedio).

Los valores de correlación se comportaron, en general, de manera similar entre sitios de muestreo, hecho que también se ha observado en un gran número de estudios con *A. religiosa* y otras especies de coníferas (Génova, 1988; Pompa-García y Domínguez-Calleros, 2015; Carlón-Allende *et al.*, 2016; Carlón-Allende *et al.*, 2018) y angiospermas (Rohner *et al.*, 2016 Takahashi y Takahashi, 2016), en diferentes regiones de América y del planeta, lo cual sugiere una respuesta poblacional a escala regional (macro-climática), más que local.

La influencia positiva y significativa de la precipitación pluvial en el inicio de la temporada de lluvia en los meses marzo, abril y mayo (observada en cuatro de los cinco sitios analizados), en el crecimiento radial de los árboles de oyamel, se ha encontrado también en otros estudios realizados en México (Carlón-Allende *et al.*, 2016; Carlón-Allende *et al.*, 2018). Con respecto a la relación negativa significativa entre el crecimiento radial de *Abies* en algunas de las poblaciones analizadas y los meses de julio y septiembre, los resultado podría ser el reflejo de la influencia de condiciones ambientales locales (altitud, exposición, topografía, frecuencia de disturbios), o bien de factores climáticos, como la disminución de la precipitación pluvial y/o el aumento de la temperatura durante la temporada previa invierno-primavera.

Pompa-García y Domínguez-Calleros (2015) mencionan que en *A. religiosa*, existe correlación positiva alta entre el IAA y la temporada de lluvias, pero la respuesta al estrés hídrico causado por la baja precipitación en la estación seca, es débil. En el presente estudio se observó una tendencia semejante, dado que durante la temporada

de sequía (con excepción de enero), la precipitación tuvo un efecto positivo significativo en el crecimiento radial de los árboles en los meses de octubre-noviembre y marzo sólo en algunas localidades. Sin embargo, se observó una tendencia general positiva (significativa y no significativa) que se ajusta bien a lo que mencionan Carlón-Allende *et al.* (2016), en el sentido de que es común observar que el crecimiento radial está asociado con la precipitación pluvial durante los meses más fríos del año, en especies arbóreas que se desarrollan en ambientes templados (Birdsey y Pan, 2011).

De acuerdo con Rohner *et al.* (2016), en la región Central de Europa la disminución en el crecimiento a causa de la precipitación, en particular de los meses de marzo a junio es un fenómeno común. El estrés por sequía causado por la baja precipitación puede intensificarse con el incremento de la temperatura conforme se acerca la primavera, lo cual podría explicar la tendencia negativa en las correlaciones entre el IAA y la temperatura máxima en los meses de invierno-primavera en algunas de las poblaciones de oyamel analizadas. Bernal-Salazar y Terrazas (2000), mencionan que la temperatura elevada afecta la actividad del cambium vascular en *A. religiosa*. Es decir, el ancho de los anillos de crecimiento está influenciado por la temperatura máxima. En el presente estudio la relación entre el IAA y la temperatura máxima fue negativa en la mayoría de las localidades y en estas, sólo fue significativa para los meses de abril y mayo. Carlón-Allende *et al.* (2016) y Carlón-Allende *et al.* (2018), obtienen resultados similares con respecto al efecto negativo de la temperatura alta sobre el crecimiento radial en *A. religiosa* y en *Pinus pseudostrobus*, pero encuentran un espectro más amplio de respuesta en ambas especies, en el sentido de que los meses significativos fueron enero, febrero, abril, mayo y junio. En este caso, la respuesta negativa en el crecimiento de *A.*

religiosa y *P. pseudostrobus* puede estar asociado con el incremento en la tasa de evapotranspiración y la pérdida de humedad almacenada en el suelo bajo condiciones de temperatura muy alta (Carlón-Allende *et al.*, 2016).

A diferencia de las otras variables climáticas, la temperatura mínima y promedio, no mostraron un efecto evidente sobre el crecimiento radial de los árboles de oyamel. Sin embargo, los valores de correlación significativos y negativos entre la temperatura mínima del mes de abril y el IAA, en dos de los sitios, también se han observado en otros estudios con *A. religiosa* y *P. pseudostrobus* (Bernal-Salazar, 2000; Carlón-Allende *et al.*, 2016; Carlón-Allende *et al.*, 2018).

La relación entre el crecimiento radial (IAA) y el clima en la población de oyamel del ejido Xolostitla fue diferente a la de los demás sitios, pues la precipitación pluvial no contribuyó y la temperatura máxima sí influyó de forma positiva y significativa en el crecimiento de los árboles. Estos resultados sugieren que el crecimiento de los individuos podría estar relacionado con factores ambientales locales más que regionales. La formación de los anillos anuales de crecimiento en los árboles, es el resultado de la interacción de un elevado número de variables ambientales locales y regionales, como por ejemplo la edad, tamaño y estado de salud de los árboles, la frecuencia y amplitud de los disturbios, la topografía, exposición, latitud y altitud donde se desarrollan las poblaciones, entre muchos otros factores (Hackett-Pain *et al.*, 2016).

El uso de parámetros climáticos como la temperatura y precipitación son de uso común para la evaluación del crecimiento radial de los árboles. Sin embargo, en México la información climática instrumental disponible es reducida (de aproximadamente 70 años), lo cual limita conocer el comportamiento climático histórico (Cerano-Paredes *et al.*,

2013). Acorde con lo anterior, los datos climáticos utilizados en el presente estudio presentan sesgos, debido a que existen pocas estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de muestreo analizados y porque se encontraron vacíos en la información (periodos de tiempo sin datos climáticos), por lo que es interesante encontrar patrones de respuesta en el crecimiento radial de los árboles de *Abies religiosa*, aun con estas restricciones en la información.

Los datos del Atlas Nacional de Sequias, más robustos y completos, permitieron corroborar la existencia de un patrón de respuesta de las poblaciones de oyamel a las condiciones climáticas, a nivel regional. Por ejemplo, en varios de los sitios se obtuvieron resultados congruentes entre las supresiones en el crecimiento de los árboles y los años de sequía registrados en el país, en distintos periodos de tiempo (Stahle *et al.*, 2016).

Los bosques templados del planeta (incluidos los de México) son el resultado de una historia compleja de disturbios antrópicos y naturales (Busby *et al.*, 2008). Sin embargo, en la mayoría de ellos se carece de información detallada de la historia ambiental, lo cual imposibilita determinar o “reconstruir”, cómo ha cambiado la composición y estructura de estos bosques y/o de las poblaciones de árboles que los componen a través del tiempo. En el presente estudio, la integración de diferentes disciplinas o áreas del conocimiento (ecología de poblaciones, ecología de comunidades, dendrocronología, entrevistas y revisión de archivos históricos) para reconstruir la historia ambiental de los bosques de oyamel del estado de Hidalgo, fue de gran utilidad. Los resultados obtenidos proporcionan un panorama adecuado de los cambios que han ocurrido en esta comunidad vegetal. No existe evidencia modificaciones abruptas en la composición y estructura de estos bosques, al menos en los últimos 100 años, porque

los cambios en las condiciones ambientales, que incluyen los disturbios naturales y los provocados por las actividades humanas, han sido moderados. Los cambios climáticos ocurridos en el pasado (por ejemplo, las sequías) han tenido poco efecto en el crecimiento y regeneración de las poblaciones de *Abies religiosa*, la especie dominante estructural de bosque de oyamel. Es probable que el cambio climático afecte, en el futuro cercano, el crecimiento radial y la regeneración de las poblaciones de oyamel, pues de acuerdo con los resultados obtenidos es una especie sensible a los cambios en la precipitación pluvial en particular.

CONCLUSIONES

- Se identificaron 31 especies de árboles y arbustos representativos de la estructura del bosque de oyamel del estado de Hidalgo. La especie con valor de importancia relativa más alto en todos los sitios fue *A. religiosa*, con valores superiores en el bosque del ejido Xolostitla e inferiores en el ejido Pueblo Nuevo.
- El análisis de agrupamiento permitió distinguir cuatro grupos o variantes estructurales, que representaron distintas etapas de regeneración del bosque de oyamel, el grupo 1, incluyó el bosque del parque nacional El Chico y del ejido El Cerezo, ambos se desarrollaban en condiciones fisiográficas similares y presentaron alta riqueza de especies; el grupo dos es el bosque del ejido Pueblo Nuevo, que presentó señales de disturbio antrópico y baja riqueza de especies, el tercer grupo formado por el bosque del ejido Xolostitla tuvo el menor número de especies y evidencias de manejo. El último grupo, formado por el bosque del ejido Tecocomulco, presentó un número intermedio de especies.
- La estructura de tamaños (altura) y diámetros de los individuos de *A. religiosa* permitió definir a las poblaciones como dinámicas (El Chico, ejido Xolostitla, ejido Tecocomulco) es decir, con predominio de individuos jóvenes; y como normales (ejido El Cerezo y Pueblo Nuevo), con preponderancia de individuos de tamaños intermedios.
- Los valores de correlación entre el diámetro y la altura de los individuos fueron significativos en cuatro de los cinco sitios, la excepción fue la población del ejido Pueblo Nuevo. Las correlaciones entre edad y diámetro, y entre edad y altura, no

fueron significativas, porque la estimación se basó sólo en individuos con diámetros mayores de 40 cm.

- El análisis de la estructura poblacional indicó que en todos los sitios predominan los individuos de talla pequeña, de las primeras dos categorías de tamaño, pero en El Chico y en los ejidos Xolostitla y Tecocomulco las tallas de los individuos fueron más heterogéneas.
- El valor de sensibilidad media de *A. religiosa* indica que es una especie adecuada en estudios dendrocronológicos, los valores de auto-correlación entre series mostraron que los individuos de todos los sitios fueron sensibles a la influencia ambiental.
- Las cronologías obtenidas incluyeron un rango de 166 años, sin embargo, el periodo común entre los cinco sitios fue de sólo 36 años (1980-2016).
- Las correlaciones entre cronologías, con base en el índice de ancho de anillo fueron significativas, lo cual sugiere que las poblaciones han respondido en forma conjunta a los cambios en las condiciones ambientales a nivel regional (o macro-climáticas).
- Los años con liberaciones en el crecimiento de la especie coincidieron con cinco periodos históricos, de acuerdo al Atlas Nacional de sequías, mientras que las supresiones coincidieron en 10 periodos.
- Se definieron cinco periodos coincidentes de liberaciones y supresiones en los anillos de crecimiento entre sitios, con base en los datos del Atlas de Sequías de México, los eventos históricos documentados en el archivo general de la nación y las entrevistas.
- Se estimaron algunas correlaciones significativas entre el índice de ancho (IAA) de anillo y variables climáticas. En particular, la asociación con la precipitación pluvial fue

positiva y significativa. Es decir, favoreció el crecimiento radial de los árboles de oyamel en cuatro de los cinco sitios.

- Los resultados indican que la temperatura máxima afecta de manera negativa el crecimiento radial de *A. religiosa*. En cambio, la temperatura mínima y la temperatura promedio no tienen un efecto evidente en el desarrollo de esta especie.
- La historia ambiental del bosque de oyamel de Hidalgo permitió reconocer dos regiones: la del Parque Nacional El Chico y sus alrededores, en donde ocurrió un impacto fuerte sobre la vegetación por tala, cuando los pueblos pidieron dotación de tierras; y la otra región fue Epazoyucan, Almoloya y Cuauhtepic, en donde la entrega de tierras no tuvo un impacto fuerte sobre el bosque.

BIBLIOGRAFIA

- AGA. Archivo General Agrario. 1915. Carpeta de La Estanzuela, exp 23/1553, legajo 1, folio 75, 6 de julio de 1916.
- AGA. Archivo General Agrario. 1917. Carpeta de Carboneras, expediente 23/1553, legajo 1, 16 de agosto de 1917.
- AGA. Archivo General Agrario. 1921. Carpeta de El Cerezo, expediente 23/ 1692, legajo 1, 18 de abril de 1921.
- AGA. Archivo General Agrario. 1922. Carpeta de La Estanzuela, expediente 24/1553, legajo 5, 22 de diciembre de 1922.
- AGA. Archivo General Agrario. 1926a. Carpeta de El Cerezo, expediente 23/ 1692, legajo 1, 26 de julio de 1926.
- AGA. Archivo General Agrario. 1926b. Carpeta de El Cerezo, expediente 23/1692, legajo 2.
- Aguirre-Planter E., Jaramillo-Correa J.P., Gómez-Acevedo S., Khasa D.P., Bousquet J. y Eguiarte L.E. 2012. Phylogeny, diversification rates and species boundaries of Mesoamerican firs (*Abies*, Pinaceae) in a genus-wide context. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 62: 263-274.
- Agurauja R., Zobel M., Zobel K. y Moora M. 2008. Conservation of the endemic fern lineage *Diellia* (Aspleniaceae) on the Hawaiian Islands: can population structure indicate regional dynamics and endangering factors? *Folia Geobotánica* 43: 3-18.

- Ángeles-Cervantes E. y López-Mata L. 2009. Supervivencia de una cohorte de plántulas de *Abies religiosa* bajo diferentes condiciones de post-incendio. Boletín de la Sociedad Botánica de México 84: 25-33.
- Bautista S.C. 2013. Estructura del bosque y arquitectura de brinzales de *Abies religiosa* en Tlaxco, Tlaxcala. Tesis de Maestría, Postgrado Forestal, Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados.
- Bernal-Salazar S. y Terrazas S.T. 2000. Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en *Abies religiosa*. Madera y Bosques 6 (1): 73-86.
- Busby P.E., Motzkin G. y Foster R.D. 2008. Multiple and interacting disturbances lead to *Fagus grandifolia* dominance in coastal New England. Journal of the Torrey Botanical Society 135 (3): 346-359.
- Birdsey R. y Pan Y. 2011. Ecology: drought and dead trees. Nature Climate Change 1: 444-445.
- Calderón de Rzedowski, G. y Rzedowski J. (eds). 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Segunda Edición. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406 pp.
- Carlón-Allende T., Mendoza M. E., Pérez-Salicrup D.R., Villanueva-Díaz J. y Lara A. 2016. Climatic responses of *Pinus pseudostrobus* and *Abies religiosa* in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Central Mexico. Dendrochronologia 38: 103-116.

- Carlón-Allende T., Villanueva-Díaz J., Mendoza M.E., and Pérez-Salicrup D.R. 2018. Climatic signal in earlywood and latewood in conifer forests in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Tree-Ring Research* 74(1): 63-75.
- Cerano-Paredes J., Méndez-González J., Amaro-Sánchez A., Villanueva-Díaz J., Cervantes-Martínez R. y 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.
- Challenger A. y Caballero J. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México, Pasado, presente y Futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre, S.C., México, D.F.
- Cisneros-Lepe A. 2005. Estructura, composición florística y diversidad de los bosques de *Abies* en el estado de Jalisco, México. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Autlán de Navarro, Jalisco. 101 pp.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2006. Programa de Conservación y Manejo. Parque Nacional El Chico, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., 182 pp.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2007. Estudio previo justificativo para la modificación del decreto por el que se pretende recategorizar el Parque Nacional Los Mármoles como Área de Protección de Flora y Fauna. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., 89 pp.

- Cuevas-Guzmán R., Cisneros-Lepe E. A., Jardel-Peláez E.J., Sánchez-Rodríguez E. V., Guzmán-Hernández L., Núñez-López N. M y Rodríguez-Guerrero C. 2011. Análisis estructural y de diversidad en los bosques de *Abies* de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1219-1233.
- Dey D.C., Dwyer J. y Wiedenbec J. 2017. Relationship between tree value, diameter, and age in high-quality sugar maple (*Acer saccharum*) on the Menominee Reservation, Wisconsin. *Journal of Forestry* 115(5): 397-405
- Dbreczy Z. y Rácz I. 2003. A re-assessment of the new taxa of firs (*Abies* Mill.) reported from Mexico in 1995.
- Dutcă I., Negruțiu F., Loras F., Maher K., Blujdea V.N.B. y Ciuvăt A.L. 2014. The Influence of Age, Location and Soil Conditions on the Allometry of Young Norway Spruce (*Picea abies* L. Karst.) Trees. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 42(2): 579-582.
- Eckenwalder J. E. 2009. *Conifers of the world: the complete reference*. Timber Press, Portland. 720 pp.
- Encina-Domínguez J.A., Encina-Domínguez F.J., Mata-Rocha E. y Valdes-Reyna J. 2008. Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Biológica Mexicana* 83: 13-24.
- Endara A.E.R. y Herrera T.F. 2016. Deterioro y conservación de los bosques del Nevado de Toluca y el rol de los actores locales. *CIENCIA ergo-sum* 23(3): 247-254.

- Farjon A. 2010. A handbook of the world's conifers. BRILL, Leiden. 1111 pp.
- Farjon A. 2013. *Abies religiosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T39592A2929657. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T39592A2929657>.
- Ferrusquía-Villafranca I. 1998. Geología de México: una sinopsis. En: Ramammoorthy T.P., Bye R., Lot A. y Fa. J. Comp. Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución, pp. 3-108. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Flores-Mata G., Jiménez L.J., Madrigal S.X., Moncayo R.F. y Takaki T.F. 1971. Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
- Gallini S. 2009. Historia, ambiente, política: el camino de la historia ambiental en América Latina. *Nómadas* 30: 92-102.
- García M.H. 2002. Caracterización de hábitats que ameritan protección en el estado de Hidalgo. Tesis en Ingeniería Forestal con Orientación en Silvicultura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 256 pp.
- García E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Instituto de geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 90 pp.
- García-Sánchez C.A., Sánchez-González A. y Villaseñor J.L. 2014. La familia Asteraceae en el Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana* 106: 97-116.

- Génova R. 1988. Comparación de tres series dendrocronológicas del Valle de Conangles (Pirineo central). *Orsis* 3: 105-120.
- Gernandt D.S. y Pérez de la Rosa J.A. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: S126-S133.
- González H.A., Pérez M.R., Moreno S.F., Ramírez O.G., Rosales M.S., Cano P. A., Guerra de la Cruz V. y Torres E.M.C. 2015. Variabilidad de la temperatura local en bosques de coníferas por efectos de la deforestación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (31): 22-39.
- González C.R., Treviño G.E.J. González T.M.A., Duque M.A. y Gómez C.A. 2017. Diversidad y estructura arbórea en un bosque de *Abies vejarii* Martínez en el sur del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(45): 36-65.
- Goche-Télles J.R., Velázquez-Martínez A., Borja de la R.A., Capulín G.J. y Palacios M.C. 2011. Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schlttdl. et Cham de tres localidades de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(7): 71-78.
- Grau H.R., Villalba R., Carilla J., Gil-Montero R., Araoz E., Masse G. y de Membiela, M. 2010. Environmental history and forest regeneration dynamics in a degraded valley of north-west Argentina's cloud forests. En: *Tropical Montane Cloud Forests, Science for Conservation and Management*. Eds. L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena, y L.S. Hamilton. Cambridge University Press. Cambridge, pp. 597-604.

- Granados-Sánchez D., Germán-H.R. y López-Ríos G.F. 2000. Estudio ecológico florístico del municipio de Cuauhtepac de Hinojosa, Hidalgo. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 6 (2): 103-112.
- Guerrero Hernández R., González-Gallegos J.G. y Castro-Castro A. 2014. Análisis florístico de un bosque de *Abies* y el bosque mesófilo de montaña adyacente en Juanacatlán, Mascota, Jalisco, México. *Botanical Sciences* 92 (4): 541-562.
- Hackett-Pain A.J., Cavin L., Friend A.D. y Jump A.S. 2016. Consistent limitation of growth by high temperature and low precipitation from range core to southern edge of European beech indicates widespread vulnerability to changing climate. *European Journal of Forest Research* 135 (5): 897-909.
- Hernández M.E. 1985. Distribución y utilidad de los *Abies* de México. *Boletín del Instituto de Geografía* 15: 75-118.
- Hernández R.M. del R. 1995. Estudio florístico-fanerogámico del Parque Nacional El Chico, estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jagels, R., Hornbeck J. y Marden S. 1994. Drought and cold stress-induced morphometric changes in tree rings of red spruce. *Technical Bulletin Maine Agricultural and Forest Experiment Station*, 19 pp.
- Jaramillo-Correa J.P., Aguirre-Planter E., Khasa D.P., Eguiarte L.E., Piñero D., Furnier G.R. y Bousquet J. 2008. Ancestry and divergence of subtropical montane forest

isolates: molecular biogeography of the genus *Abies* (Pinaceae) in southern México and Guatemala. *Molecular Ecology* 17: 2476-2490.

Lara-González R., Sánchez-Velásquez L.R. y Corral Aguirre J. 2009. Regeneration of *Abies religiosa* in canopy gaps versus understory, Cofre de Perote National Park, Mexico. *Agrociencia* 43: 739-747.

Li Y.-q., Deng X.-w., Huang Z.-h., Xiang W.-h., Yan W.-d., Lei P.-f., Zhou X.-l. y Peng C.-h. 2015. Development and evaluation of models for the relationship between tree height and diameter at breast height for Chinese-fir plantations in subtropical China. *PLoS ONE* 10(4): e0125118. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125118>.

Liu T.S. 1971. A monograph of the genus *Abies*. Department of Forestry College of Agriculture, National Taiwan University, Taipei. 608 pp.

López-Ramírez M. del C. y Cuevas-Cardona M. del C. 2014. Historia ambiental de una región de México: la laguna de Metztlán y sus alrededores, 1872-1949. *Historia 2.0, Conocimiento Histórico en Clave Digital* 4(7): 37-60.

Martínez M.G. 2011. Índice de anillos de crecimiento en coníferas del Eje Neovolcánico Transversal de México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, estado de México, México, 76 pp.

Meléndez D.S.S. 2002. La historia ambiental: aportes interdisciplinarios y balance crítico desde América Latina. *Cuadernos Digitales: Publicación electrónica en Historia, Archivística y Estudios Sociales*, Escuela de Historia, Universidad de Costa Rica.

- Narave-Flores H. 1985. Vegetación del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Biótica* 10: 35-64.
- Neumann M. y Starlinger F. 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forest. *Forest Ecology and Management* 145: 91-106.
- Ortiz-Quijano A.B. 2015. Historia ambiental de los bosques de haya (*Fagus grandifolia* subsp. *mexicana*) del estado de Hidalgo, México. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Ortiz-Quijano A.B., Sánchez-González A., López-Mata L. y Villanueva-Díaz J. 2016. Population structure of *Fagus grandifolia* subsp. *mexicana* in the cloud forest of Hidalgo State, Mexico. *Botanical Sciences* 94(3): 483-497.
- Ortiz-Quijano A.B., Cuevas-Cardona C., Villanueva-Díaz J., López-Mata L. y Sánchez-González A. 2018. Dendrochronological reconstruction of environmental history of *Fagus grandifolia* subsp. *mexicana* in Hidalgo, Mexico. *Tree Ring Research* 74(1): 108-119.
- Padua J.A. 2010. The Theoretical Foundations of Environmental History. *Estudios Avanzados* 24 (68): 81-101.
- Pavón N.P. y Meza M. 2009. Cambio climático en el estado de Hidalgo: clasificación y tendencias climáticas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. 44 pp.
- Pineda-López M. del R., Ortega-Solís R., Sánchez-Velásquez L.R., Ortiz-Ceballos G. y Vázquez-Domínguez G. 2013. Estructura poblacional de *Abies religiosa* (Kunth) Schltl. Et Cham., en el ejido el Conejo del Parque Nacional Cofre de Perote,

- Veracruz, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.11.058 pp. 375-385.
- Pumijumng, N. y Park W. 1999. Vessel chronologies from teak in Northern Thailand and their climatic signal. IAWA Journal 20(3): 285-294.
- POEH. 1924. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, 24/09/1926, p. 3.
- POEH. 1930. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, 24/01/1930, p. 9.
- POEH. 1932. Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, 16/06/1932, pp. 304-306.
- POEH. 1941. Periódico oficial del Estado de Hidalgo, 08/07/1941, p. 310.
- Quevedo, M.A. 1943. Relato de mi vida, México, edición particular.
- Pompa-García M. y Domínguez-Calleros P.A. 2015. Respuesta de madera temprana y tardía a la sequía en una conífera mexicana bajo dos condiciones ecológicas. Ecosistemas 24 (2): 37-42.
- Razo-Zárate R., Gordillo-Martínez A.J., Rodríguez-Laguna R., Maycotte-Morales C.C. y Acevedo-Sandoval A. 2013. Escenarios de carbono para el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 9 (1): 17-21.
- Rincón E. y Swetnam T.W. 1991. Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacán, Mexico. Tree-Ring Research 51: 15-28.
- Rodríguez-Laguna R., Razo-Zárate R., Fonseca-González J., Capulín-Grande J. y Goche-Telles R. 2015. Regeneración natural post-incendio de *Abies religiosa* (H.B.K)

- Schl. Et Cham, en el Parque Nacional "El Chico" Hidalgo. Revista Iberoamericana de Ciencias 2(2): 11-22.
- Rohner B., Weber P. y Thürig E. 2016. Bridging tree rings and forest inventories: How climate effects on spruce and beech growth aggregate over time. Forest Ecology and Management 360: 159-169.
- Rozas V. 2002. Estructura y patrones de regeneración del roble y el haya en un bosque maduro del litoral occidental de Cantábrica. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 11: 109-138.
- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México.
- Rzedowski J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En Ramammoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución, Instituto de Biología, UNAM, México, pp. 129-145.
- Sáenz-Romero C., Rehfeldt G.E., Duval P. y Lindig-Cisneros A. 2012. *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. Forest Ecology Management 275: 98-106.
- Sánchez-Velásquez L.R., Pineda-López Ma. del R. y Hernández-Martínez A. 1991. Distribución y estructura de la población de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham., en el Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México. Acta Botánica Mexicana 16: 45-55.
- Sánchez G.A. 2004. Análisis sinecológico, florístico y biogeográfico de la vegetación del norte de la Sierra nevada, México. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, Estado de México.

- Sánchez-González A. y López-Mata L. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra de Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 74: 47-71.
- Sánchez-González A. y López-Mata L. 2005. Plant species richness and diversity along an altitudinal gradient in the Sierra Nevada, Mexico. *Diversity and Distributions* 11: 567-575.
- Sánchez-González A., López-Mata L. y Granados-Sánchez D. 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltld. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín del Instituto de Geografía* 56: 62-76.
- Sánchez-González A., López-Mata L. y Vibrans H. 2006. Composición y patrones de distribución geográfica de la flora del bosque de oyamel del Cerro Tláloc, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69: 67-78.
- Shortle W.C., Smith K.T., Minocha R., Alexeyev V.A. y Stott P. 1995. Similar patterns of change in stemwood calcium concentration in red spruce and Siberian fir. *Journal of Biogeography* 22: 467-473.
- Stahle D.W., Cook E.R., Burnette D.J., Villanueva J., Cerano J., Burns J.N., Griffin D., Cook B.I., Acuña R., Toberson M.C.A., Szejner P. y Howard I.M. 2016. The Mexican Drought Atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras. *Quaternary Science Review* 149: 34-60.

- Strandby U., Christensen K.I. y Sørensen M. 2009. A morphometric study of the *Abies-religiosa-hickelii-guatemalensis* complex (Pinaceae) in Guatemala and Mexico. *Plant Systematics and Evolution* 280: 59-76.
- Stokes M.A. y Smiley T.I. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press, Chicago, 73 pp.
- Takahashi K. y Takahashi H. 2016. Effects of climatic conditions on tree-ring widths of three deciduous broad-leaved tree species at their northern distribution limit in Mont St. Hilaire, eastern Canada. *Journal of Forest Research* 21: 178-184.
- Toledo V.M., Carabias J., Toledo C. y González-Pacheco C. 1993. La Producción Rural en México: Alternativas Ecológicas. Fundación Universo Veintiuno y Prensa de Ciencias, México, D.F.
- TROPICOS. 2018. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org> (consultado junio, 2018).
- Urban J., Rebrošová K., Dobrovolný L. y Schneider J. 2010. Allometry of four European beech stands growing at the contrasting localities in small-scale area. *Folia Oecologica* 37: 103-112.
- Vaganov E.A. 1996. Cells of tree rings reflect the rise in air temperature during this century. *Doklady Biological Sciences* 351: 582-584.
- Valencia-A. S., Flores-Franco G., Jiménez-Ramírez J. y Mora-Jarvio M. 2017. Distribution and diversity of Fagaceae in Hidalgo, Mexico. *Botanical Sciences* 95 (4): 660-721.

- Vázquez-García J.A. 1993. Cloud forest archipelagos: preservation of fragmented montane ecosystems in tropical America. En Hamilton L. S., Juvik J. O. y Scatena F. N. (eds.). Proceedings International Symposium on Tropical Montane Cloud Forest, East West Center, UNESCO (Int. Hydrol. Program. IITF), San Juan, Puerto Rico, pp. 203-216.
- Villaseñor J.L. y Ortiz E. 2014. Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad Supl. 85: S134-S142.
- Villaseñor, J.L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad 87: 559-902.
- Vospertnik S., Monserud M.A. y Sterba H. 2010. Do individual-tree growth models correctly represent height: diameter ratios of Norway spruce and Scots pine? Forest Ecology and Management 260(10): 1735-1753.
- Wilpert K-von. 1991. Intraannual variation of radial tracheid diameters as monitor of site specific water stress. Dendrochronologia 9: 95-113.
- Wimmer R., Grabner M., Schay E. y Halbwachs G. 1996. How useful is xylem anatomy as an indicator for SO₂ pollution? IAWA Journal 17(3): 266-267.
- Zepeda-Gómez C., Burrola-Aguilar C. y Estrada-Zúñiga M.E. 2018. Riqueza y afinidades geográficas de la flora de un bosque de *Abies religiosa* de la Faja Volcánica Transmexicana. Caldasia 40(1): 54-70.