

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



IMPACTO DE DESCORTEZADORES EN EL INCREMENTO RADIAL DE *Pinus teocote* Schltdl. et Cham Y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

Tesis

Que presenta JESÚS ÁNGEL LÓPEZ SÁNCHEZ como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2016

IMPACTO DE DESCORTEZADORES EN EL INCREMENTO RADIAL DE *Pinus teocote* Schltdl. et Cham Y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

Tesis

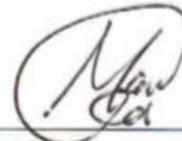
Elaborada por JESÚS ÁNGEL LÓPEZ SÁNCHEZ como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



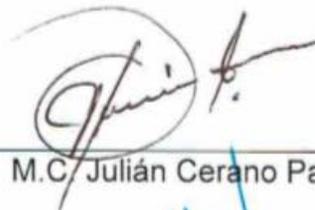
Dr. Jorge Méndez González
Asesor Principal



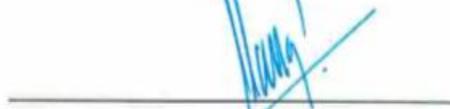
Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor



Dr. Mario Alberto García Aranda
Asesor



M.C. Julián Cerano Paredes
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Posgrado

Saltillo, Coahuila, México,

Diciembre 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, salud y ser la fé para seguir adelante

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada y hacer posible mis estudios de Maestría.

Al equipo del Laboratorio de Dendrocronología (INIFAP CENID-RASPA), Dr. José Villanueva Díaz, Julián Cerano Paredes, Rosalinda Cervantes, Vicenta Constante, al Sr. Luis, por el apoyo brindado y la convivencia.

A los maestros asesores de esta investigación, Dr. Jorge, Mc. Julián, Dr. Alejandro y Dr. Mario, que hicieron posible este trabajo a través de sus enseñanzas, conocimientos y el tiempo para la mejora y complemento de la información.

DEDICATORIAS

A mis padres, *Yolanda Sánchez Morales* y *Francisco López Rodríguez*, por el apoyo incondicional que me han brindado, por el amor, confianza y consejos para lograr el éxito en cada uno de mis proyectos.

A mis hermanos:

Hilario

Alex

Flor

Augusto

Abel

Alicia

Álvaro

Artemio

Armin

Neydi

Patricia

Por la compañía y motivación para cumplir con mis objetivos.

A mi hijo, *Carlos Jhonatán López Aguilar*, por ser mi motor principal en cada escalón de mi vida.

Índice general

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
Lista de cuadros.....	vii
Lista de figuras.....	viii
Resumen	ix
Abstract.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis de trabajo.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Características del área de estudio	4
Descripción de las especies de estudio.....	5
Características de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	5
Características de <i>Pinus teocote</i> Schltdl. et Cham.....	6
Inicios de la dendrocronología.....	7
Anillos de crecimiento de los árboles	8
Dendrocronología	9
Estudios dendrocronológicos.....	11
Reconstrucciones de precipitación.....	11
Reconstrucciones de temperatura.....	14
Reconstrucciones de incendios.....	14
Brote de plagas forestales.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19

Descripción del área de estudio	19
Muestreo en campo	20
Análisis dendrocronológico	21
Análisis de crecimiento e incremento radial de <i>P. teocote</i> y <i>P. menziesii</i>	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
Diámetro y edad de <i>Pinus teocote</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i>	23
Crecimiento e incremento del ancho de anillo de <i>P. teocote</i> y <i>P. menziesii</i> ..	24
Índice del ancho de anillo de <i>Pinus teocote</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i>	29
CONCLUSIONES	34
REFERENCIAS	35

Lista de cuadros

Cuadro 1. Características promedio de la vegetación arbórea de los sitios de estudio.	19
Cuadro 2. Resultados de la prueba t-Student en diámetro y edad de <i>Pinus teocote</i> en Nuevo León y <i>Pseudotsuga menziesii</i> en Coahuila.	24
Cuadro 3. Resultados de la prueba t-Student del ancho de anillo en la cronología total y en los últimos 10 años en árboles sanos e infestados de <i>Pinus teocote</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i>	25
Cuadro 4. Resultados de la prueba t-Student del incremento del ancho de anillo antes y después del brote de plagas en árboles sanos e infestados de <i>Pinus teocote</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i>	28
Cuadro 5. Resultados de la prueba de t-Student del índice del ancho de anillo en la cronología total y en los últimos 10 años en árboles sanos e infestados de <i>Pinus teocote</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i>	29
Cuadro 6. Estadístico de ajuste del modelo de crecimiento a área basal en <i>Pinus teocote</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i>	31

Lista de figuras

- Figura 1.** Ubicación geográfica de los sitios de estudio en la comunidad La Peñita, Santiago, Nuevo León y Ejido Santa Rita, Arteaga, Coahuila, México. 20
- Figura 2.** Ancho de anillo usando la cronología total en *Pinus teocote* (A) y *Pseudotsuga menziesii* (B). 26
- Figura 3.** Incremento del ancho de anillo antes y después de la aparición de plagas (2011) en *Pinus teocote* (A - B) y *Pseudotsuga menziesii* (C - D). 288
- Figura 4.** Porcentaje de reducción del índice del ancho de anillo (IAA) en la cronología total (A - B) y últimos 10 años (C - D) en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* (Pt) y *Pseudotsuga menziesii* (Pm). 30
- Figura 5.** Área basal observada y estimada en árboles sanos (A - C) e infestados (B - D) de *Pinus teocote* (Pt) y *Pseudotsuga menziesii* (Pm). 322
- Figura 6.** Incremento en área basal en función de la edad en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* (A) y *Pseudotsuga menziesii* (B). 333

Resumen

IMPACTO DE DESCORTEZADORES EN EL INCREMENTO RADIAL DE *Pinus teocote* Schltdl. et Cham Y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

POR

JESÚS ÁNGEL LÓPEZ SÁNCHEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ – ASESOR

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2016

Los estudios dendrocronológicos permiten datar sucesos importantes que influyen en el crecimiento de un árbol. El objetivo del presente estudio fue comparar a través de técnicas dendrocronológicas, el impacto de insectos descortezadores sobre el crecimiento radial en *Pinus teocote* Schldtl. et Cham y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Se analizaron núcleos de crecimiento de 52 árboles de *P. teocote* (26 sanos y 26 infestados) y 72 de *P. menziesii* (36 sanos y 36 infestados), ubicados en la Sierra Madre Oriental. Los datos analizados fueron: ancho de anillo e índice de ancho de anillo, para toda la cronología, antes y después de la aparición de la plaga. Mediante pruebas de t-Student se comparó el ancho de anillo de árboles (sanos e infestados) antes y después del ataque de insectos descortezadores. El incremento radial promedio acumulado en *P. teocote* fue mayor en árboles infestados (1.86 mm/año) que en árboles sanos (1.30 mm/año); para *P. menziesii*, los árboles sanos incrementaron más (3.01 mm/año) que los infestados (1.81 mm/año). En conclusión, cada especie responde de forma diferente al ataque de insectos descortezadores, y esto parece ser una forma de preservar la especie. La dendrocronología es una herramienta útil para evaluar la productividad de los bosques ya que proporciona datos precisos de edad e incremento anual de los árboles.

Palabras clave: Ancho de anillo, dendrocronología, descortezadores, incremento radial, *Pinus teocote*, *Pseudotsuga menziesii*.

Abstract

BARK BEETLE IMPACT ON RADIAL GROWTH OF *Pinus teocote* Schltdl. et
Cham Y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

BY

JESÚS ÁNGEL LÓPEZ SÁNCHEZ

MASTERS IN SCIENCE IN ENGINEERING OF PRODUCTION SYSTEMS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ – ADVISER

Saltillo, Coahuila, México,

December 2016

Dendrochronological studies allow to date important events that influence the growth of a tree. The objective of this study was to compare through dendrochronological techniques, the impact of bark beetles insects on the radial growth in *Pinus teocote* Schltdl. et Cham. (*Pt*) and *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (*Pm*). For this purpose, increment cores of 52 trees of *Pt* (26 healthy and 26 infested) and 72 of *Pm* (36 healthy and 36 infested) were analyzed of two sites located in the Sierra Madre Oriental. The analyzed data were: ring width and ring width index, of the whole chronology, but also before and after bark beetles were registered. Through t-Student tests, the ring width of (healthy and infested) trees was compared before and after the attack of bark beetles. The accumulated radial increase in *Pt* was higher in infested trees (1.86 mm/year) than in healthy trees (1.30 mm/year); in *Pm*, healthy trees increased more (3.01 mm/year) than the infested ones (1.81 mm/year). In conclusion, each species responds differently to the attack of bark beetles insects, and this seems to be a way of preserving the species. Dendrochronology is a useful tool for evaluating forest productivity as it provides accurate data on age and annual increase of trees.

Key words: Ring-width, Dendrocronology, bark beetles, radial increase, *Pinus teocote*, *Pseudotsuga menziesii*.

INTRODUCCIÓN

La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, es uno de los principales problemas ambientales que alteran el sistema climático y ecológico que a su vez origina: incendios, inundaciones, plagas forestales, etc., incluso la temperatura media de la superficie de la tierra ha aumentado 0.61 °C y se estima que ascenderá hasta 4 °C para finales de este siglo (IPCC, 2014), representando un factor influyente en la fisiología de las plagas forestales, por ser organismos de sangre fría, haciendo que respondan rápidamente a sus ambientes climáticos (Menéndez, 2007), estos más el cambio en la precipitación, frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, están teniendo efectos importantes en el estado de salud de los bosques del mundo (FAO, 2007), alterando la dinámica y biología de las plagas forestales incluso modificando su desarrollo, supervivencia y reproducción (Swetnam *et al.*, 1985; Hawkins *et al.*, 2013).

En México, las plagas que más afectan los bosques de coníferas son los insectos descortezadores del género *Dendroctonus* (Coleoptera, Curculionidae, Scolytidae), existiendo alrededor de 158 especies (Chamberlin, 1939), habitan y se reproducen en la corteza interna de los árboles (FAO, 2007), se alimentan del floema y cambium vascular provocando la muerte de su hospedero (Sánchez *et al.*, 2007). La influencia de éstos y otros factores tales como, competencia y clima, son reflejados en el ancho de anillo de crecimiento de los árboles (Swetnam *et al.*, 1985; Camarero *et al.*, 2002; Hawkins *et al.*, 2013), manifestándose en anillos estrechos o muy anchos (Schweingruber *et al.*, 1990).

Las secuencias de anillos generadas por el árbol durante su crecimiento es estudiada por la dendrocronología (Fritts, 1976), ciencia que data o fecha la edad de los árboles (Schweingruber *et al.*, 1990), ésta ha contribuido al estudio de problemas ecológicos, hidrológicos, climáticos y arqueológicos (Villanueva *et al.*, 2000; Villanueva *et al.*, 2009), y muy pocos incluyen evaluaciones de cambios ecológicos en comunidades forestales (Alvarado *et al.*, 1998).

Los métodos dendrocronológicos se han utilizado en varias especies forestales para realizar estudios del incremento radial de los árboles afectados por diferentes tipos de plagas, en descortezadores: Mast y Veblen (1994) en *Picea engelmanni* y *Abies lasiocarpa*; Zhang et al. (1999) en *P. menziesii*, *Abies lasiocarpa* y *Picea engelmannii*; Rolland y Lempérière (2004) en *Picea abies*; Hawkins et al. (2013) en *Picea engelmanni*, *Picea mariana*, *Abies lasiocarpa* y *Pseudotsuga menziesii*. Estudios en defoliadores: Swetnam y Linch (1989) en bosques mixtos de coníferas (*Pseudotsuga menziesii*, *Pinus ponderosa*, *Abies concolor*, *Abies lasiocarpa* y *Picea engelmannii*); Alfaro et al. (1985) en *Pseudotsuga menziesii*; Muzika y Liebhold (1999) en *Pinus rigida* y *Quercus sp.*; Camarero et al. (2002) en *Abies alba*. Estudios en Ips: Grigaliúnas y Zolubas (2006) en *Picea abies*, la mayoría de los estudios evidencian una reducción significativa en el crecimiento radial de los árboles huéspedes.

Los insectos descortezadores son unas de las principales plagas que afectan los bosques de todo el mundo, la susceptibilidad del arbolado después de los cambios drásticos en el clima y el ecosistema (Castello *et al.*, 1995), pero existe cierta incertidumbre de cómo y cuánto afectan estas plagas en el crecimiento ó productividad forestal.

Objetivo general

Determinar el impacto de los insectos descortezadores al incremento radial de *Pinus teocote* en Nuevo León y *Pseudotsuga menziesii* en Coahuila.

Objetivos específicos

1. Desarrollar una cronología de árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* en Nuevo León y *Pseudotsuga menziesii* en Coahuila, mediante técnicas dendrocronológicas.
2. Medir el ancho de anillo, determinar el incremento radial, área basal en toda la longitud de la cronología y después del brote de insectos descortezadores y generar el índice del ancho de anillo mediante técnicas dendrocronológicas en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*.

Hipótesis de trabajo

Los árboles sanos (sin presencia de descortezadores) de *Pinus teocote* en Nuevo León y *Pseudotsuga menziesii* en Coahuila incrementan más en radio que los árboles infestados.

REVISIÓN DE LITERATURA

Características del área de estudio

Los estados de Nuevo León y Coahuila se encuentran en la provincia fisiográfica, Sierra Madre Oriental, en la subprovincia Gran Sierra Plegada y de acuerdo a Alanís et al. (1996), la vegetación que se encuentra en la Sierra Madre Oriental son matorral espinoso y mezquital (*Pithecellobium-Acacia-Cercidium*) bosques de pino (*Pinus-Juníperus*), bosque de otras coníferas (*Pinus-Pseudotsuga-Abies*), bosque de pino-encino (*Pinus y/o Quercus*), bosque de encino (*Quercus*), y matorral submontano (*Acacia*). La vegetación de bosque formado por *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite*, *Abies vejari* y *Picea mexicana* en el estrato arbóreo; por *Arctostaphylos pungens*, *Quercus emoryi*, *Quercus.hypoxanta*, *Arbutus xalapensis*, *Cercocarpus mojadensis*, *Juniperus monosperma*, *Rhus virens*, *Yucca carnerosana*, *Gymnosperma glutinosum* y *Dasyilirion spp.* en el estrato medio; y por *Bromus spp.*, *Vulpia octaflora*, *Geranium mexicanum*, *Hibiscus cardiophyllus* y *Bouteloua spp.* en el estrato herbáceo. De acuerdo con la clasificación de climas de Köeppen modificada por García (1978), la Sierra Madre Oriental presenta un clima del tipo C(E)x' que corresponde al tipo semifrío subhúmedo con lluvias escasas todo el año, con precipitaciones invernales mayores a 18 %. La superficie territorial del estado de Nuevo León es de 6,361,021.0 ha, que representa un 3.3 % de la superficie del país, de las cuales 5,196,346 ha están consideradas como superficie forestal, ubicándose en el décimo lugar a nivel nacional y representando un 81.68 % del total de la superficie total del estado (Capo et al., 2007), está dedicada a las actividades de aprovechamiento de recursos forestales maderables (pino, mezquite, barreta, oyamel y, en menor proporción el encino) y no maderables (nopal, paixtle, y en menor proporción el sotol, el maguey y la lechuguilla). En la producción maderable, el aprovechamiento de comunes tropicales (mezquite, barreta) aportó 64.3 %, el de coníferas 31.2 %, y el de latifoliadas 4.5 %. En la producción no maderable, el aprovechamiento de fibras representó 95% del total de la producción no maderable, el de heno 2.32 %, el de pino 1.62 %, y el de otros 1.06 %

(SEMARNAT, 2003). La superficie forestal bajo manejo técnico, en el año 2003, fue de 237,489.428 ha, de las cuales un 99 % corresponde a superficie bajo aprovechamiento de recursos forestales maderables y 1 % de no maderables. Los principales factores de deforestación y degradación de los recursos forestales del estado son: sobrepastoreo, deforestación (Cambios de uso de suelo), sobreexplotación de la cubierta vegetal, usos agrícolas sobreintensivos (agroquímicos, laboreo inadecuado), desechos (Bio) industriales, incendios y plagas forestales. (SEMARNAT, 2003).

El estado de Coahuila cuenta con una extensión territorial de 151,578.37 km², ocupando el tercer lugar en superficie, equivalente al 7.8 % del total nacional. El 88.85 % (13,468,254 hectáreas) de su extensión corresponde a terrenos forestales; de los cuales, el 86.4 % (11, 636,842 ha) presenta vegetación de zonas áridas; mientras que la superficie arbolada es de 444,121 hectáreas (3.3 % de la superficie forestal); y, 1, 387,291 hectáreas (10.3 %) tiene otros tipos de cubierta forestal. El aprovechamiento de recursos forestales no maderables de mayor importancia incluyen la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*), orégano (*Lippia graveolens*); cortadillo (*Nolina cespitifera*), mezquite (*Prosopis spp.*); y sotol (*Dasyilirion cedrosanum*). En los que respecta la producción maderable, se encuentran el oyamel, pino y cedro blanco. Se asume que la degradación de los recursos forestales ha sido por daño humano directo (cambio de uso del suelo, daños al arbolado y vegetación arbustiva, extracción de leña, materiales para construcción, alimentos, etc.), aprovechamientos forestales maderables y no maderables sin bases técnicas y/o en exceso, sobrepastoreo (principalmente en ecosistemas áridos, por cabras y bovinos), incendios naturales o provocados, erosión hídrica, daños por insectos y plantas parásitas (CONAFOR, 2004; SEMARNAT, 2003).

Descripción de las especies de estudio

Características de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco, es una especie endémica del continente americano que se extiende desde la Columbia Británica en Canadá hasta las

montañas del sur de México (Domínguez, 1994), en el territorio de México las poblaciones de esta especie se encuentran fragmentadas, encontrándose rodales o manchones aislados mayormente dominantes y mezclados con otras especies (*Arbutus*, *Abies*, *Cupresus*, *Pinus*, *Populus*, *Prunus*, *Quercus*, *Juniperus* y *Alnus*) (Domínguez *et al.*, 2004). La distribución natural de *Pseudotsuga menziesii*, pinabete (Abeto Douglas) en México incluye la porción norte de la Sierra Madre Occidental, en los estados de Chihuahua, Durango, Sonora y Zacatecas y en la parte norte de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas (Domínguez, 1994). En el centro del país en la parte oriente del Eje Neovolcánico en los estados de Hidalgo, Tlaxcala y Puebla (Domínguez *et al.*, 2004), además en pequeños rodales en el estado de Oaxaca (Del Castillo *et al.*, 2004), recientemente se ha tenido un nuevo registro en el estado de Guanajuato (Villagómez y Bello, 2015).

Por la baja reproducción de sus semillas y tomando en cuenta que es muy escaso se ha incluido en la NOM-059-SEMARNAT-2010, bajo la categoría de protección especial, lo que prohíbe su aprovechamiento comercial (Ventura *et al.*, 2010).

P. menziesii se desarrolla en sitios sombríos y húmedos, preferentemente en laderas de cañadas, barrancas o valles protegidos, regularmente en exposición norte, noreste y noroeste. Forman bosques entre altitudes de 1,500 a 3,600 msnm en climas templados y fríos y se adapta a una gran variedad de suelos como regosol, feozem, leptosol y cambisol (Rzedowski, 1978). Posee excelentes propiedades en su madera, en edad adulta su madera es dura y de textura fina, fácil de trabajar, presenta resistencia moderada a la pudrición por lo que puede usarse sin tratamiento, además, posee buena capacidad de poda natural por lo que los nudos son de diámetro pequeño (Mullins y McKnight, 1981).

Características de *Pinus teocote* Schltdl. et Cham

Pinus teocote Schltdl. et Cham. o comúnmente llamado pino colorado, pino chino, pino real, ocote (Critchfiel y Little, 1971), es una especie que se

distribuye ampliamente de forma natural en México (Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Nayarit, San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, México, Morelos, Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tlaxcala, Tamaulipas y Queretaro) y Oeste de Guatemala (Perry, 1991).

Los bosques de *P. teocote* forman rodales puros y algunas veces asociados con otras especies como *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. ocarpa*, *P. patula*, *P. pinceana*, *P. ponderosa*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. chihuahuana*, *P. cembroides*, *engelmannii*, *P. lawsonii* y *Abies religiosa* (Rzedowski, 1978; Perry, 1991). Se encuentra en elevaciones de 1 000 a 3 000 msnm, desarrollándose en un medio físico muy variado con suelos bien drenados (aunque mejor en suelos francos y franco-arcillosos) en climas subhúmedos a húmedos, con diferentes precipitaciones de acuerdo al área de distribución, con temperaturas que varían entre 8 y 35 °C (Dvorak y Donahue, 1993).

La madera de este pino es fuerte y de buena calidad, se utiliza principalmente para construcciones y como combustible, así como también es una especie que produce abundante resina (Martínez, 1948). Produce madera de buena calidad, por lo que se usa para aserrío, celulosa, papel, cajas de empaque, pilotes para minas, durmiente, en construcciones, además es usual para carbón, postes y muebles para el hogar (Gómez, 1988).

Inicios de la dendrocronología

En el Occidente de América del Norte, la dendrocronología comenzó en el año 1901 con una percepción intuitiva del astrónomo Andrew Allicott Douglass, ya que estaba interesado en la naturaleza cíclica de la actividad solar (manchas solares) y su relación con el clima terrestre, lo que llevó a visionar los anillos de crecimiento que forman anualmente los árboles, como un proxy o indicador de las variaciones climáticas del pasado, con el planteamiento de que en un ambiente semiárido el crecimiento de los árboles depende principalmente de la disponibilidad de agua en forma de precipitación más que otros factores físicos o ecológicos, en el que si se tenía precipitación baja, el crecimiento de los

árboles sería bajo, reflejándose en una curva de crecimiento (Cook y Kairiukstis, 1989). Su método implicó la preparación de una curva de crecimiento de los árboles (*Pinus ponderosa*), con edad promedio de casi 350 años, y algunos con más de 500 años y a partir de estos primeros trabajos, los anillos de crecimiento de muchas especies leñosas han resultado ser una herramienta de gran utilidad para reconstruir la variabilidad climática a escala de siglos o milenios (Douglass, 1914).

En Europa occidental también se comenzó en el siglo XIX aunque diez años más tarde que en América del Norte (Baillie, 1982; Schweingruber, 1983), aunque la dendrocronología había sido utilizada más ampliamente para estudiar los efectos de la contaminación industrial sobre el medio ambiente. El análisis de los anillos de los árboles ya estaba siendo utilizada para reconocer y cuantificar daños forestales por la contaminación atmosféricas (Stoeckhardt, 1871).

En Sudamérica las primeras cronologías fueron desarrolladas por Schulman (1956) en las coníferas *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera) en Chile y *Araucaria araucana* en Chile y Argentina. A inicios de 1970 trabajó con el ciprés de la cordillera en una reconstrucción preliminar de precipitación de Santiago de Chile, la cual abarcó hasta el año 1010 A.C.

Anillos de crecimiento de los árboles

Existen diferentes tipos de arreglos estructurales importantes que definen el borde de un anillo de crecimiento: i) diferencias notables en el diámetro de los vasos en el leño temprano respecto de los del tardío en dos anillos contiguos, ii) presencia de fibras o traqueidas del leño tardío cuyas paredes son aplastadas radialmente y más gruesas respecto a las fibras o traqueidas del leño temprano y iii) presencia de una banda marginal continua de parénquima axial (Roig, 2000).

Fritts (1976), menciona que los anillos de crecimiento de los árboles son el resultado de un crecimiento anual que inicia en primavera y culmina en verano, por lo que, un anillo de crecimiento se presenta cada año, éstos contienen

información acerca del conjunto de factores ambientales que influyen sobre la dinámica y evolución de los bosques. En Gymnospermas, las traqueidas de la madera temprana tienen un diámetro radial mayor y una membrana secundaria más fina que las de la madera tardía (Gemmell, 1969), la primera cumple con la función principal del transporte, la segunda cumple dos funciones: el transporte y la resistencia mecánica, que juntos evitan el embolismo (Bernal y Terrazas, 2000).

Además la relación entre el clima y el ancho de anillos ocurre debido a que el crecimiento de la planta está influenciado por diversas condiciones ecológicas, las cuales varían a través del ciclo de vida de la planta y en ciertos períodos pueden afectar el crecimiento y la forma de muchas estructuras de la misma. Las condiciones limitantes específicas que pueden afectar el crecimiento de la planta pueden clasificarse como factores externos (agua, temperatura, luz, dióxido de carbono, oxígeno y sales minerales) así como, en internos (cantidad de nutrientes disponibles, minerales, reguladores de crecimiento, enzimas y agua) (Fritts, 1976).

Dendrocronología

La palabra dendrocronología, proviene del griego *dendros* que significa árbol, *cronos* tiempo y *logos* ciencia o conocimiento, etimológicamente, es la ciencia de datar o fechar (determinar la edad) los árboles (Tomazello *et al.*, 2001). Puede tener diferentes significados, y a su vez puede ser ciencia, técnica o herramienta, dependiendo del investigador o el enfoque del estudio (Speer, 2010).

En una definición estricta, es la ciencia de la datación de maderas utilizando sus anillos anuales y en una definición amplia, es la ciencia que fecha los anillos anuales de crecimiento de los árboles, analizando su estructura e investigando la información registrada en ella para aplicaciones a cuestiones ambientales e históricas (Tomazello *et al.*, 2001).

Gutiérrez (2008) define a la dendrocronología como una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los

anillos de crecimiento anuales de los árboles, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento.

La dendrocronología es una ciencia que permite reconstruir la variabilidad climática y ambiental empleando los anillos de crecimiento anual de los árboles (Fritts, 1976).

El término dendrocronología se refiere a la ciencia de la datación de los anillos de los árboles y el estudio de su estructura para interpretar la información sobre eventos ambientales e históricos y procesos (Schweingruber, 1995).

La dendrocronología es una de las técnicas de registro ambiental más importantes para una variedad de procesos ambientales naturales y monitorear los cambios causados por el hombre al medio ambiente como la contaminación (Speer, 2010).

La dendrocronología es una disciplina que estudia los cambios ambientales del pasado analizando los anillos de crecimiento anual de los árboles, basándose en que el crecimiento radial de las especies leñosas es rítmica y de forma anual de acuerdo a condiciones ambientales determinadas por las estaciones del año. Por lo que cada anillo de crecimiento se le puede asignar un año calendario específico (Stokes y Smiley, 1968).

Grissino (2016) sostiene que la dendrocronología es la ciencia que utiliza los anillos de los árboles datando su año exacto de formación para analizar los patrones temporales y espaciales de los procesos en las ciencias físicas y culturales.

Dentro de la dendrocronología han sido desarrollados muchos subcampos y posteriormente nombrados manteniendo la base de la palabra “dendro” y añadiendo un prefijo secundario para describir el campo específico que se estudia, por mencionar algunos: dendroclimatología utiliza la variación en la estructura del anillo de los árboles y el ancho para inferir información sobre el clima pasado, dendroarqueología utiliza la fecha del anillo de árbol externo de una viga para estudiar el momento y el proceso de construcción arqueológica, dendrohidrología que es la reconstrucción del nivel de agua o flujo de corriente,

dendroecología característica funcional de los ecosistemas, procesos de sucesión a través del establecimiento y muerte de árboles, dendropirocronología aparición de los incendios, dendroentomología brotes de insectos, dendrosismología actividades sísmicas, dendroglaciología actividad glacial, dendrovulcanología acontecimientos volcánicos, etc.(Speer, 2010).

Estudios dendrocronológicos

Reconstrucciones de precipitación

En el estado de Durango, México se hizo una reconstrucción de precipitación para el periodo invierno - primavera utilizando la especie de *Pseudotsuga menziesii* en el que se hallaron eventos extremadamente secos en los periodos de 1540 - 1579, 1751 - 1765, 1798 - 1810, 1850 - 1860 y 1950 - 1965, aunque la peor sequía de finales de 1300's al presente ha durado de 1540 - 1579 (Cleaveland *et al.*, 2003). Los valores indican, que la sequía para la década de 1950 fue la más severa en el siglo XX, pero fue igualada y superada en severidad por la sequía prolongada de las décadas de 1850 y 1860, la sequía más severa que impactó al estado de Durango en los últimos 600 años, ocurrió en los periodos de 1560 - 1570, 1850 - 1860 y 1950 - 1960 (Stahle *et al.*, 1999). Utilizando anillos de crecimiento de pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) en Coahuila se hizo una reconstrucción de precipitación invierno - primavera de 410 años (1595 a 2004), los períodos secos detectados, fueron: 1784 - 1794, 1850 - 1857, 1860 - 1884 y 1945 - 1962, Se detectaron sequías recurrentes con frecuencia de 50 a 60 años. Los períodos húmedos observados en este estudio ocurrieron en periodos de 1620 - 1639, 1647 - 1661, 1672 - 1685, 1766 - 1780, 1900 - 1916 y 1966 - 1994. Muchos de estos episodios húmedos estuvieron presentes de manera simultánea en otras reconstrucciones de precipitación para el norte de México (Constante *et al.*, 2009)

Villanueva y McPherson (1999) en estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del Norte de México encontraron respuestas climáticas similares. Este resultado fundamenta la hipótesis, de que la respuesta de los árboles a condiciones climáticas extremas (años húmedos y

secos) se presenta aún en sitios geográficamente distantes. En general, la precipitación reconstruida fue muy similar entre las montañas estudiadas. Los periodos húmedos y secos más importantes durante los últimos 150 años, se presentaron en los periodos de 1847 - 1850, 1905 - 1922 y 1983 - 1988.

Santillán et al. (2010) analizando el potencial para reconstrucción climática de *Pinus pincea* Gordon en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro, encontró que esta especie es sensible al clima específicamente en Zacatecas, Hidalgo y Querétaro, ya que éste responde de manera significativa al periodo común de precipitación estacional enero - julio (invierno - primavera). Se desarrolló una reconstrucción de precipitación de 219 años (1782 - 2000), para Sierra Las Alazanas en *Pseudotsuga menziesii*, reconstruyendo extensas sequías para Saltillo, Coahuila, en los periodos de 1860 - 1870's, 1950's, 1970's y en los 1990's (Pohl et al., 2003).

Biondi (2001) en una cronología de *Pinus hartwegii* de 400 años de longitud, procedente del Nevado de Colima, indica que la precipitación del verano debido al monzón, es la que más influye en el crecimiento de la especie. Therrel et al. (2002) con el uso de cronologías de árboles de las regiones centro y norte de México, definió el inicio del periodo de lluvias en estas regiones y su relación con el monzón mexicano.

El análisis dendrocronológico del pino piñonero (*Pinus lagunae* Passini) de la Sierra de La Laguna, Baja California Sur permitió obtener una reconstrucción total de 165 años (1833 a 1997). En la serie reconstruida se aprecia un periodo de sequía prolongada de 1939 a 1958, así como su relación con el fenómeno de El Niño, lo cual podría suponer que la gran sequía que sucedió en el suroeste de Estados Unidos inició antes en Baja California Sur (Díaz, 2002).

En un estudio de reconstrucción de 350 años de precipitación (invierno-primavera) en el sureste de Chihuahua, utilizando *Pseudotsuga menziesii*, indicó gran variabilidad interanual, decenal y multidecenal de los patrones de precipitación para la región. Se reconstruyeron sequías severas para los periodos 1695 - 1715, 1753 - 1760, 1785 - 1792, 1798 - 1806, 1819 - 1830, 1841 - 1870, 1890 - 1897, 1906 - 1912, 1924 - 1941, 1971 - 1977 y 1994 - 2005,

aunque las sequías más prolongadas ocurrieron en los periodos 1695 - 1715, 1841 - 1870 y 1924 - 1941. Las últimas tres décadas del siglo XX y los años corrientes de la primera década del siglo XXI (1971 - 2005) indicaron un periodo de intensa sequía para la región, con impactos en lo ecológico (Cerano, 2009).

Así mismo, para la reconstrucción de la precipitación de invierno-primavera desde 1647 a 1992 para la región de Chihuahua, Díaz (2002) empleo seis cronologías de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii*. En la serie reconstruida, los 5 años más secos en orden de severidad corresponden a 1974, 1954, 1742, 1980 y 1820, siendo el periodo más largo de sequía en la serie de 346 años de 1948 a 1956.

Las cronologías de anillos de árboles en México son particularmente sensibles a la precipitación y aquellas derivadas de la región norte, registran la influencia de Niño - Oscilación del Sur (ENSO) y del Monzón. Una red de cronologías de anillos de *Pseudotsuga menziesii* con una extensión de más de 300 años, se ha desarrollado en sitios de la Sierra Madre Occidental y Oriental (Stahle *et al.*, 1998; Villanueva *et al.*, 2003).

Cerano *et al.* (2013) utilizaron los anillos anuales de *Pinus douglasiana* (Mtz.) para la reconstrucción de precipitación invierno - primavera de 219 años (1792 - 2010) de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM), Jalisco, México. La sequía de mediados del siglo XX (1941 - 1963) fue la más severa del periodo estudiado. El índice multivariado de El Niño Oscilación del Sur (ENSO; 1959 - 2010) y el índice de ancho del anillo de *Pinus douglasiana* mostraron correlación significativa ($r = 0.4542$; $P < 0.05$) de los meses de enero-junio, con mayor correlación en los meses de enero ($r = 0.4337$; $P < 0.0001$) y marzo ($r = 0.4310$; $P < 0.0001$). Las teleconexiones de ENSO en la región varían a través del tiempo; de enero a junio, los eventos El Niño están asociados con precipitaciones mayores que el promedio, mientras que los eventos La Niña muestran lo contrario.

Reconstrucciones de temperatura

En Chile y Argentina se ha desarrollado una red de cronologías de *Fitzroya cupressoides* (alerce), 23 cronologías en total, 14 de Chile y nueve de Argentina (Lara *et al.*, 2000). Villalba (1990) utilizando la cronología de Río Alerce reconstruyó la temperatura de verano en la región Patagónica Atlántica del cono sur de Sudamérica para los últimos 1,228 años. En esta reconstrucción se pueden distinguir cuatro episodios climáticos principales. Un primer episodio frío, entre 900 y 1070 DC, seguido por un periodo cálido entre 1080 y 1250 DC que podría homologarse con el período cálido medieval (Medieval Warm Period) descrito para otras latitudes. Luego se distingue un largo período frío de 1280 a 1670 DC con máximos entre 1340 y 1650 DC. Estos máximos son contemporáneos con los eventos de la pequeña edad del hielo (Little Ice Age) del hemisferio Norte.

Estudiando el potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez, en el monte Tláloc, México, a una altitud de 3,980 - 4,060 msnm, se halló una cronología de 264 años (1750 - 2013), y la correlación de la serie cronológica con la temperatura media anual fue estadísticamente significativa ($r = 0.45$, $n = 54$, $P < 0.01$), Asimismo, se obtuvieron correlaciones significativas con índices SOI ($r = -0.27$, $P < 0.01$, $n = 113$) y con el PDSI reconstruido para junio en el centro de México ($r = 0.25$, $P < 0.01$, $n = 109$), lo que es una prueba de la factibilidad para interpretar fenómenos climáticos a partir de anillos de enebro en altitudes elevadas ($> 3,500$ msnm) del centro de México. Para la especie estudiada la temperatura media fue la variable más correlacionada con su crecimiento radial. Los años intensos de El Niño, que producen sequías severas en el centro de México, se asociaron con mayores incrementos radiales (Villanueva *et al.*, 2016).

Reconstrucciones de incendios

Los incendios forestales constituyen uno de los factores de perturbación más comunes y extensos en los ecosistemas terrestres (Pyne *et al.*, 1996), ya que arrasan con la madera, el hábitat de la fauna silvestre, contaminan el aire,

intervienen en el cambio climático global, propician la erosión del suelo, afectan la belleza escénica y alteran el régimen hidrológico, causando impactos ecológicos, económicos, sociales y políticos, tanto mediatos como a corto, mediano y largo plazo (Rodríguez, 1996).

Después del fuego frecuentemente ocurre una respuesta abrupta de crecimiento (liberación) y se genera un callo de cicatrización, y la colecta de estas cicatrices pueden provenir tanto de árboles vivos como de individuos o tocones muertos (Kitzberger *et al.*, 2000). Al hacer el análisis de anillos de crecimiento de árboles con cicatrices de incendios, Fulé y Covington (1996) encontraron que los bosques de pino y bosques mixtos de pino-encino del noroeste de Durango, experimentaron un régimen similar o frecuente de incendios de baja intensidad, hasta antes del inicio de aprovechamientos de estos bosques, que ocurrió alrededor de 1950. En bosques mixtos de pino-encino en las vertientes de la Sierra Madre Occidental en Durango se observaron patrones de comportamiento de los incendios similares al anterior (Fulé y Covington, 1998). En esta región, todavía experimenta un régimen frecuente e ininterrumpido de incendios, unos cuantos bosques, sin embargo, el cambio en el uso del suelo y alteración del régimen de incendios, puede poner en peligro la conservación de estos ecosistemas, ricos en biodiversidad (Fulé y Covington, 1999).

En la Reserva Cerro el Mohinora, Chihuahua, se hizo una reconstrucción de regímenes de incendios con base a cicatrices de incendios de *Pinus duranguensis*, *Pinus arizonica* y *Pinus ayacahuite*, encontrando períodos de siniestros en la parte alta de la cuenca para los años de 1737 - 1999 y de 1902 - 1998 para la parte baja. Los de mayor incidencia de eventos reconstruidos para ambos sitios de la cuenca fueron 1945, 1971, 1988 y 1995. Los intervalos medios de frecuencia de incendios reconstruidos, considerando el total de las muestras, variaron de 5.1 a 8.8 años y el intervalo medio de probabilidad de ocurrencia de incidencia fue de 3.8 a 6.0 años. Más de 80% de las conflagraciones se registraron en la estación de primavera (Cerano *et al.*, 2010)

Villanueva y McPherson (1996) y Villanueva (1996), usaron anillos anuales de crecimiento en una investigación de patrones de uso del suelo, al norte y al sur de la frontera México - Estados Unidos, encontrando que las diferencias en la supresión de incendios, sobrepastoreo y aprovechamientos forestales, tuvieron un marcado impacto en la dinámica de las especies forestales en ambos lados de la frontera.

Kaib (1998) usó anillos de crecimiento e información histórica, para investigar el historial de incendios en los bosques de pino-encino y pastizales adyacentes, a la región fronteriza del norte de Sonora y sur de los Estados Unidos, encontrando una estrecha relación entre la ocurrencia de incendios y el período de guerra entre las tribus americanas.

Brote de plagas forestales

En el noreste de Colorado en la Gran Mesa Nacional Forestal, Todorovic (2013) estudió el crecimiento radial a través del ancho de anillo de *Picea engelmannii*, usando árboles sanos (sitios control) e infestados por insectos descortezadores que fueron afectados por el brote después del incendio de 1987, en la que sus resultados demostró que los árboles sanos crecieron significativamente más rápidos en comparación con los sanos en la que dicho autor asume que se debe a que los árboles invierten más recursos en el crecimiento radial en mecanismos de defensa de los descortezadores. En Colorado y Nuevo México, Swetnam y Linch (1989), con la cronología de ancho de anillos en bosques mixtos de coníferas (*Pseudotsuga menziesii*, *Pinus ponderosa*, *Abies concolor*, *Pinus contorta*, *Abies lasiocarpa*, *Picea engelmannii*), analizaron el tiempo, duración y el impacto en el crecimiento radial de brotes de gusanos de yema (*Choristoneura occidentalis* Freeman) analizándolos en dos clases de edad de los árboles (árboles jóvenes menor de 150 años y árboles viejos mayor a 150 años), en donde la reducción máxima y periódica fuer de 50 % y 21 % respectivamente. En Colorado, el método de dendrocronología también se ha utilizado para conocer el año exacto de la muerte de los árboles de *Picea*

engelmannii y *Abies lasiocarpa* causados por insectos descortezadores (Mast y Veblen, 1994).

En Canadá Hawkins et al. (2013), estudiaron el porcentaje de la respuesta de crecimiento de árboles (*Pseudotsuga menziesii*, *Abies lasiocarpa*, *Picea engelmannii*, *Picea mariana*) de sotobosque y de dosel antes y después del ataque de *Dendroctonus ponderosae* divididos en 7 clases de edad (cada 20 años de 21 a 250 años), en las que se encontró que el crecimiento radial disminuye hasta el 50 % después del ataque de los descortezadores y la mayor infestación se observó en las clases de edad 7 (121 - 140 años) y 8 (141 - 250 años), mientras que los ataques más bajos en la clase de edad 2 (21 - 40 años). También en Canadá Zhang et al. (1999), utilizaron el método dendrocronológico para comparar los patrones de crecimiento radial de coníferas (*Pseudotsuga menziesii*, *Abies lasiocarpa*, *Picea engelmannii*) para identificar las relaciones climáticas y brotes de escarabajo (*Dendroctonus rufipennis*) en los últimos siglos, en la que halló que la especie más sensible al clima fue *Pseudotsuga menziesii* y la cronología de las tres especies reveló la variación del clima y perturbación por brote de descortezadores en los bosques (1720, 1810, 1820, 1960).

Grigaliūnas, K. y Zolubas, P. (2006), en un estudio realizado en Lituania, Europa sobre el incremento radial de picea y sus riesgos por el ataque de *Ips typographus* L. encontraron que las piceas atacados por el escarabajo tuvieron un crecimiento de anillos anuales significativamente más rápidos en comparación con las piceas del sitio de control.

En Francia Rolland y Lampérière (2004) en Francia evaluaron con el método de dendrocronología el incremento en área basal a través de anchos de anillos en una plantación de *Picea abies* infestados por *Dendroctonus micar* y un bosque natural de *Picea abies* con el objetivo de ver las relaciones de fenómenos climáticos con la interacción de la aparición de insectos descortezadores en los que se obtuvieron reducción de anchos de anillo relacionados con el clima (sequías en verano e inviernos muy fríos), aunque el incremento en área basal fue menor en los árboles infestados en comparación con los árboles sanos se le

atribuye a los fenómenos climáticos ya que los árboles infestados fueron muriendo progresivamente y talados.

En España Camarero et al. (2002), a través del método dendrocronológico estudió el efecto de defoliadores (*Epinothia subsequana*) sobre *Abies alba*, comparando el crecimiento radial en comparación con árboles no afectados en un periodo de tres años (1996 - 1998), en donde los resultados indicaron una reducción del 12 – 22 % siendo un año (1997), en el que se tuvo una reducción más pronunciada, justamente después de un año del máximo ataque de los defoliadores con una recuperación lenta después de tres años (1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Los sitios de estudio se ubicaron en: 1) la comunidad La Peñita, municipio de Santiago, Nuevo León (Figura 1), en las coordenadas UTM 362409E y 2804175N, altitud de 2,300 msnm, clima del tipo C (W') templado subhúmedo, con temperatura media entre - 3 y 18 °C y precipitación anual entre 600 y 900 mm. El 2) el Ejido Santa Rita, municipio de Arteaga, Coahuila, (Figura 1), en las coordenadas UTM 353988E y 2791690N, altitud de 2,500 msnm, clima del tipo C (w1) (i)w', templados húmedos y subhúmedos con temperatura de -8 a 30 °C y precipitación anual de 146 a 632 mm (García, 1978). Las especies arbóreas dominantes y codominantes que se encontraron en cada sitio se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Características promedio de la vegetación arbórea de los sitios de estudio.

Especies	No. de árboles/ha	Altura (m)	Dap (cm)	Área Basal (m ² /ha)	% de cada especie
La Peñita, Santiago, Nuevo León					
<i>Pinus teocote</i>	28.6	12.1	21.5	4.4	47.0
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	5.5	13.5	20.5	0.4	9.0
<i>Quercus sp.</i>	26.8	6.5	13.1	1.9	44.0
Santa Rita, Arteaga, Coahuila					
<i>Pinus rudis</i>	54.3	15.1	29.5	12.1	21.3
<i>Pinus reflexa</i>	23.5	13.2	24.2	3.9	9.2
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	19.6	15.6	25.8	4.7	7.7
<i>Abies sp.</i>	52.1	14.8	19.4	4.1	20.4
<i>Quercus sp.</i>	105.6	4.9	9.5	3.2	41.4

Dap = diámetro a la altura del pecho (cm)

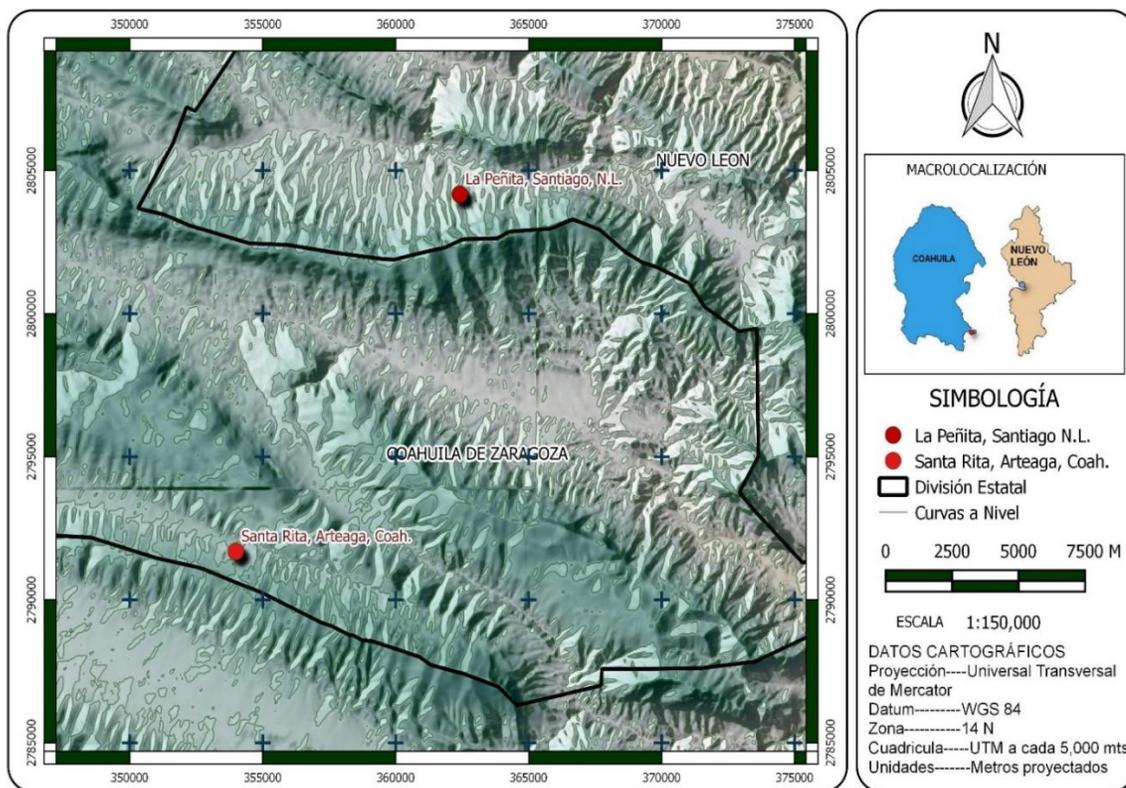


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de estudio en la comunidad La Peñita, Santiago, Nuevo León y Ejido Santa Rita, Arteaga, Coahuila, México.

Muestreo en campo

La colecta de muestras o núcleos de crecimiento (virutas) se realizó en junio de 2015 en el sitio La Peñita, y en abril de 2016 en Santa Rita. Se seleccionaron 52 árboles de *Pinus teocote* (*Pt*) (26 sanos y 26 infestados) y 72 de *Pseudotsuga menziesii* (*Pm*) (36 sanos y 36 infestados). Las características a considerar en árboles sanos (*As*) fueron: buen vigor y sin presencia de aserrín o galerías de alguna plaga, en árboles infestados (*Ai*) se tomó en cuenta presentaran acículas rojizas y ramas muertas, fuste con presencia de aserrín, galerías o exudación, y que los *As* y *Ai* abarcaran mismas categorías de diámetro, además de estar libre de competencia (distancia mayor a tres metros al árbol más cercano). Con un taladro de Pressler se extrajeron dos virutas (una con orientación norte-sur y otra de este-oeste) a 1.3 m de altura (Mast y Veblen, 1994; Camarero *et al.*, 2002).

Para obtener las características dasométricas del bosque se establecieron parcelas de 50 x 50 m. A los *Ai* se les descortezó una sección del fuste (30 x 20

cm) a la altura del pecho para obtener un muestreo de insectos descortezadores los cuales se llevaron a laboratorio para su posterior identificación.

Análisis dendrocronológico

Las virutas se montaron en una base de madera y lijaron para resaltar las estructuras de crecimiento anual (Swetnam *et al.*, 1985). Los anillos se contaron y fecharon mediante datación cruzada (crossdating) al comparar los crecimientos de cada muestra del mismo árbol y entre árboles de la misma especie (Stokes y Smiley, 1968; Camarero *et al.*, 2002). Cada anillo fue medido de manera individual empleando un sistema de medición Velmex de fase deslizable con precisión de 0.001 mm (Cerano *et al.*, 2011). El fechado y la medición exacta de cada anillo se verificó con el programa COFECHA (Holmes, 1983; Grissino, 2001). Con el programa ARSTAN se removieron las tendencias biológicas (competencia, supresión, liberación) y geométricas (incremento del área del fuste con la edad), no relacionadas con clima y plagas forestales Swetnam *et al.*, 1985; Cook y Holmes, 1999). Con base en ARSTAN se generaron los índices de ancho de anillo (IAA), cronología estandar, residual y arstan, para este estudio se empleó la serie estandar (Swetnam *et al.*, 1985).

Análisis de crecimiento e incremento radial de *P. teocote* y *P. menziesii*

Para corroborar que el promedio de diámetro y edad entre *As* y *Ai* fuera igual entre las especies, se aplicó la prueba de t-Student empleando el software Statistical Analysis System (SAS). Para denotar diferencias entre *As* y *Ai*, los datos de ancho de anillo (AA) e IAA fueron divididos en dos grupos: grupo 1) cronología total y grupo 2) últimos 10 años. Para poder evaluar el incremento radial de cada especie antes y después del brote de plagas (2011), se realizó un acumulado del AA, cinco años antes y cinco años después aplicando a ambos grupos de datos la prueba t-Student.

El porcentaje de reducción del IAA se obtuvo usando su promedio en la cronología total de *As* y *Ai* en ambas especies. Los datos de ancho de anillo

(mm) fueron transformados a área basal (cm^2), obteniendo también el área basal acumulado (ABA) a los cuales se le ajustó el modelo de crecimiento de Schumacher, con el cual se determinó el incremento en área basal (IAB) en cada especie, dicho modelo se expresa:

$$Y = \exp^{a+b/x}$$

Donde:

Y = área basal del árbol (cm^2); x = edad del árbol (años); \exp = exponencial; a y b = parámetros del modelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al muestreo de insectos descortezadores, en La Peñita, Nuevo León se hallaron las especies de *Dendroctonus mexicanus* (55 %), *Dendroctonus frontalis* (40 %), *Dendroctonus valens* (4 %), y *Dendroctonus brevicomis* (1%). En el sitio de Santa Rita, Coahuila, las especies de *Dendroctonus adjunctus* (72 %), *Dendroctonus brevicomis* (26.5 %), *Dendroctonus mexicanus* (0.8 %), *Dendroctonus valens* (0.5 %), y *Dendroctonus frontalis* (0.2 %).

Diámetro y edad de *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*

El diámetro y la edad en *P. teocote* en *As* y *Ai* no presentan diferencia estadística significativa ($p = 0.6439$; $p = 0.6922$) (Cuadro 2), donde el diámetro fue de 39.68 cm en *As* y 40.73 cm en *Ai*, con edad de 84.81 y 82.91 años en *As* y *Ai*, respectivamente. En *As* y *Ai* de *P. menziesii* el diámetro ($p = 0.1320$), y la edad ($p = 0.0867$; Cuadro 2) no presentan diferencias significativas, el diámetro en *As* fue de 48.05 cm y en *Ai* de 44.46 cm, con edad de 79.64 y 86.28 años en *As* y *Ai* respectivamente, para evaluar el mismo efecto, Hawkins et al. (2013) en *Pinus contorta* formó siete clases de edad (cada 20 años: de 20 a 250 años) para evaluar este mismo efecto por clase de edad.

Cuadro 2. Resultados de la prueba t-Student en diámetro y edad de *Pinus teocote* en Nuevo León y *Pseudotsuga menziesii* en Coahuila.

Especie	Variable	Estado del árbol	n	Promedio	D.E.	p-valor
<i>Pt</i>	Dap	Sano	26	39.68	7.285	0.6439
		Infestado	26	40.73	9.063	
<i>Pm</i>	(cm)	Sano	36	48.05	9.619	0.1320
		Infestado	36	44.46	11.100	
<i>Pt</i>	Edad	Sano	26	84.81	21.498	0.6922
		Infestado	26	82.91	18.903	
<i>Pm</i>	(años)	Sano	36	79.64	13.076	0.0867
		Infestado	36	86.28	18.072	

Pt = *Pinus teocote*; *Pm* = *Pseudotsuga menziesii*; Dap = diámetro a la altura del pecho; n = número de árboles; D.E. = desviación estándar.

Crecimiento e incremento del ancho de anillo de *P. teocote* y *P. menziesii*

En As de *P. teocote* se obtuvo una cronología 140 años (1875 - 2014) y de 124 años (1891 - 2014) en *Ai*, mientras que en *P. menziesii* la cronología fue de 118 años (1898 -2015) y 135 años (1881 - 2015) en *As* y *Ai*, respectivamente. A diferencia de *P. teocote*, *P. menziesii* ha sido estudiada usando técnicas dendrocronológicas para evaluar el crecimiento de los árboles relacionados con clima y brotes de plagas (Zhang *et al.*, 1999) en donde desarrollaron una cronología de 600 años, otro estudio de reconstrucción de brotes de plagas (Swetnam y Linch, 1989) generaron una cronología de 180 años, en México, esta especie se ha utilizado para estudiar el clima (reconstrucción de precipitación) en donde se han logrado producir cronologías de 203 años en Nuevo León (Arreola *et al.*, 2010), 300 años en el sureste de Coahuila (Cerano *et al.*, 2011), 531 años en Chihuahua y 554 en Durango (Villanueva *et al.*, 2009), en este estudio se obtuvieron muestras de árboles sanos e infestados para conocer el efecto de las plagas después del brote, por lo que no se buscó ampliar la cronología.

Cuadro 3. Resultados de la prueba t-Student del ancho de anillo en la cronología total y en los últimos 10 años en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*.

Especie	Estado del árbol	AA (mm)	n	D.E.	p-valor
Análisis con cronología total					
<i>Pt</i>	Sano	1.73	140	0.87	0.0672
	Infestado	1.92	124	0.838	
<i>Pm</i>	Sano	2.99	118	1.536	0.1128
	Infestado	2.71	135	1.245	
Análisis con los últimos 10 años					
<i>Pt</i>	Sano	0.81	10	0.49	0.0591
	Infestado	0.89	10	0.4	
<i>Pm</i>	Sano	1.42	10	0.56	0.0001
	Infestado	0.97	10	0.43	

Pt = *Pinus teocote*; *Pm* = *Pseudotsuga menziesii*; AA = ancho de anillo (mm); n = número de muestras; D.E. = desviación estándar.

La prueba de t-Student (90 %) en la cronología total (G1) indicó que el ancho de anillo de *P. teocote* entre *As* y *Ai* es estadísticamente diferente ($p = 0.0672$) (Cuadro 3; Figura 2A) con un crecimiento promedio anual de 1.73 mm en *As* y 1.92 mm en *Ai*. En *P. menziesii* no hubo diferencia significativa en el AA entre los *As* y *Ai* ($p = 0.1128$) (Cuadro 3; Figura 2B), obteniendo un crecimiento promedio anual del AA de 2.99 mm en *As* y 2.71 mm en *Ai*. Estos resultados indican que al usar la cronología total (toda la vida del árbol) aunque se haya tenido incidencias de insectos descortezadores en el pasado no son reflejados en el ancho de anillo de los árboles, considerando que en este análisis el AA incluye aún el crecimiento ocasionado por los factores ambientales (precipitación), ecológicos (competencia), y topográficos (pendiente, exposición), etc., por lo que al analizarlos presenta cierta incertidumbre. No obstante, algunos autores han utilizado el ancho de anillos en *Picea abies* para este mismo objetivo en la que no se han encontrado diferencias significativas en el crecimiento entre árboles sanos e infestados, ya que los árboles sanos en

promedio anual crecen 1.50 mm y los árboles infestados 1.48 mm (Grigaliunas y Zolubas, 2006).

En los últimos diez años (G2), *P. teocote* muestra anchos de anillos diferente entre *As* y *Ai* ($p = 0.0591$; Cuadro 3) con AA de 0.81 y 0.89 mm, en *P. menziesii* el AA también mostró diferencia ($p = 0.0001$; Cuadro 3), con AA de 1.42 y 0.97 mm en *As* y *Ai*, respectivamente. El impacto negativo que tienen los descortezadores en ambas especies después del brote también fue hallado por Camarero *et al.*, (2002) en *Abies alba*, donde los árboles infestados por insectos defoliadores (*Epinotia subsequana* Hw) presentaron una reducción de 1.4 - 1.5 mm en comparación con los sanos en un periodo de tres años (1996 - 1998). Rolland y Lamperiere (2004), obtuvieron el 50 % de reducción en el ancho de anillo de *Picea abies* en árboles infestados por insectos descortezadores (*Dendroctonus micans* Kug.) en comparación con los sanos. Algunos estudios confirman que los defoliadores afectan agotando las reservas de hidratos que se almacenan principalmente en las acículas, disminuyendo el crecimiento del árbol y la producción de la madera tardía (Muzika y Liebhold, 1999; Camarero *et al.*, 2002).

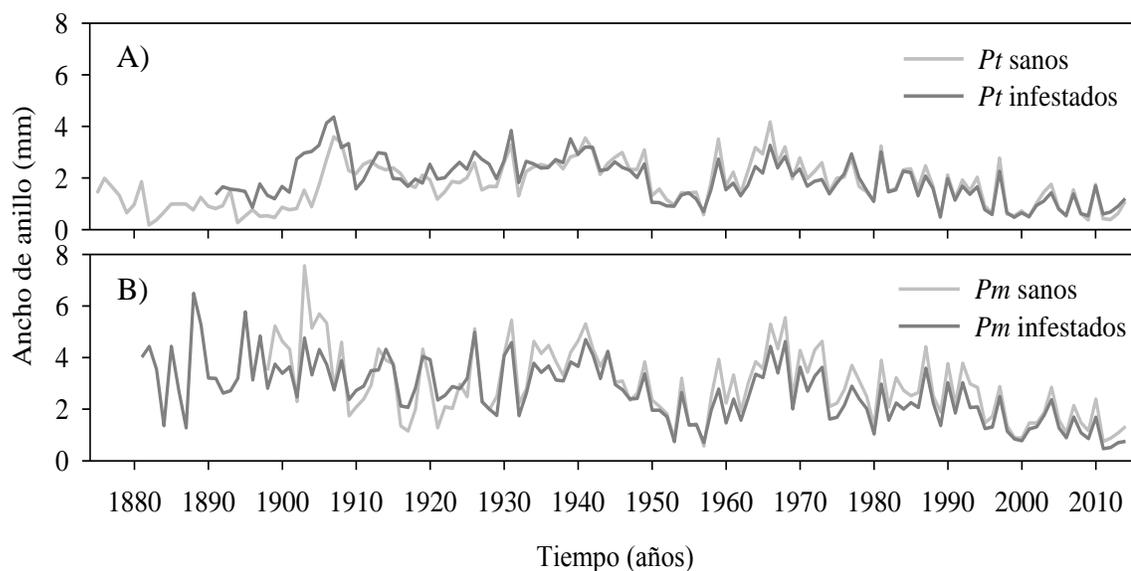


Figura 2. Ancho de anillo usando la cronología total en *Pinus teocote* (A) y *Pseudotsuga menziesii* (B).

En *As* y *Ai* de *P. teocote* el incremento radial antes del brote de plagas (2.63 ± 1.56 ; 2.58 ± 1.55) fue igual ($p = 0.1169$), mientras que después del brote (1.30 ± 0.91 ; 1.86 ± 1.2) fue diferente ($p = 0.0017$) (Cuadro 4), éste último indica que los árboles se ven afectados por los insectos descortezadores, la diferencia en el incremento radial (0.56 mm/año) demuestra que es mayor en los *Ai* (Figuras 3A y 3B). El incremento radial entre *As* y *Ai* de *P. menziesii* antes y después del brote de plagas fue estadísticamente diferente ($p = 0.0143$; $p = 0.0181$) (Cuadro 4), después del brote de plagas el incremento radial en *As* (3.01 mm/año) y *Ai* (1.81 mm/año) muestra una diferencia de 1.2 mm/año teniendo mayor incremento los árboles sanos (Figuras 3C y 3D). El contraste del incremento radial presentado en las especies indica que *P. menziesii* y *P. teocote* responden diferente a ataques de insectos descortezadores, aunque *P. menziesii* ha sido sensible a los ataques de plagas forestales con reducciones de hasta 50% (Alfaro *et al.*, 1985; Hawkins *et al.*, 2013), sobre todo si son árboles mayores de edad (> 100 años) ya que los defoliadores y/o descortezadores aumentan de acuerdo a la edad de los árboles, sin embargo, también puede deberse a la presencia de las diferentes especies de descortezadores, ya que, en el sitio de Santa Rita, *Dendroctonus adjunctus* (72%) y *Dendroctonus brevicomis* (26.5%) fueron los más abundantes, mientras que en La Peñita fueron *Dendroctonus mexicanus* (55%) y *Dendroctonus frontalis* (40%).

Cuadro 4. Resultados de la prueba t-Student del incremento del ancho de anillo antes y después del brote de plagas en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*.

Especie	Estado del árbol	IA-AA (mm/año)	n	D.E.	p-valor
Antes del brote de insectos descortezadores (2006 - 2010)					
<i>Pt</i>	Sano	2.63	5	1.56	0.1169
	Infestado	2.58	5	1.55	
<i>Pm</i>	Sano	4.63	5	2.7	0.0143
	Infestado	3.58	5	2.01	
Después del brote de insectos descortezadores (2011 - 2015)					
<i>Pt</i>	Sano	1.30	4	0.91	0.0017
	Infestado	1.86	4	1.2	
<i>Pm</i>	Sano	3.01	5	2.05	0.0181
	Infestado	1.81	5	1.19	

Pt = *Pinus teocote*; *Pm* = *Pseudotsuga menziesii*; IA-AA = incremento acumulado del ancho de anillo (mm/año); n = número de muestras; D.E. = desviación estándar.

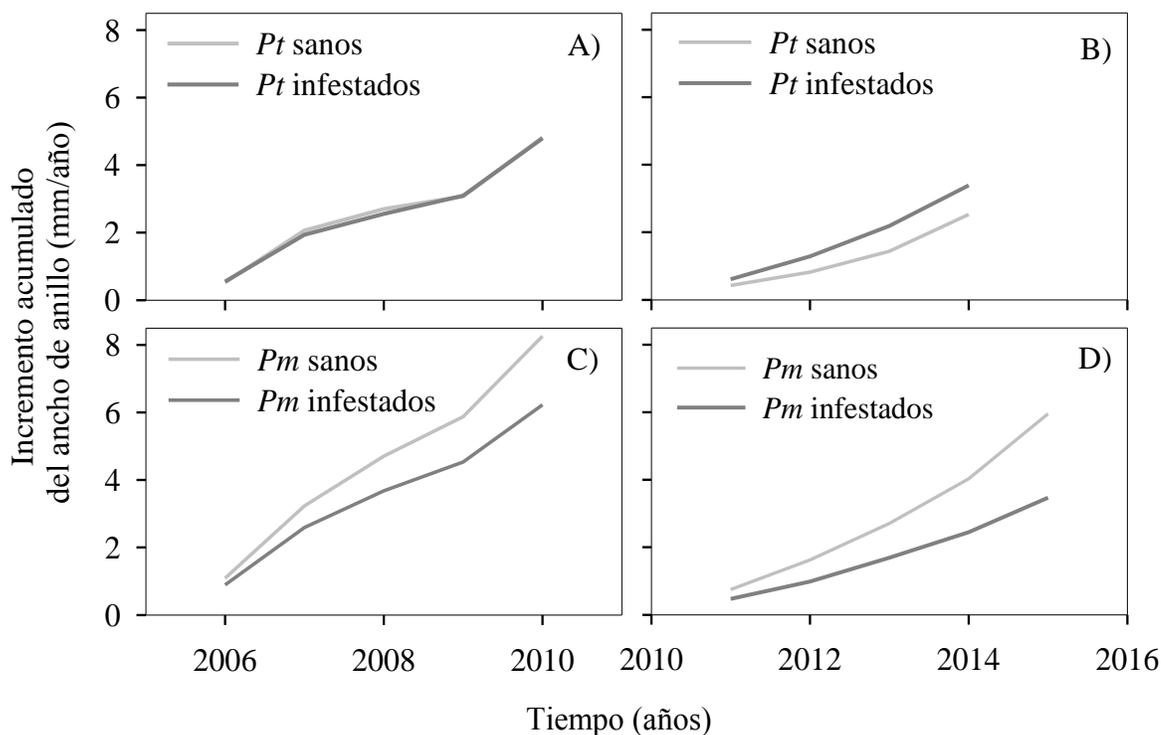


Figura 3. Incremento del ancho de anillo antes y después de la aparición de plagas (2011) en *Pinus teocote* (A - B) y *Pseudotsuga menziesii* (C - D).

Índice del ancho de anillo de *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*

El promedio del IAA de *P. teocote* en la cronología total (G1) y en los últimos diez años (G2) en los *As* (0.98; 0.85) y en los *Ai* (0.99; 0.87) no muestran diferencias estadísticas ($p = 0.8912$; $p = 0.9360$) (Cuadro 5), en *P. menziesii*, el IAA en la cronología total y en los últimos diez años tampoco difiere estadísticamente ($p = 0.4728$; 0.7061) entre *As* (0.96; 0.87) y *Ai* (0.99; 0.81) (Cuadro 5).

En una prueba de t-Student realizada en el incremento acumulado del IAA después del brote se determinó que existen diferencias estadísticas ($p = 0.0113$; $p = 0.0193$) para *P. teocote* y *P. menziesii*, el primero con promedios en *As* y *Ai* de 1.75 y 1.49, respectivamente; y el segundo con 1.67 y 1.93 en *As* y *Ai*, respectivamente. Comparado con los resultados del ancho de anillo acumulado después del brote, estos resultados indican que si hay impacto de los insectos descortezadores en el crecimiento radial de los árboles. A manera de conclusión esto indica que al evaluar y/o analizar el AA o IAA se obtienen resultados similares ya que siguen la misma tendencia.

Cuadro 5. Resultados de la prueba de t-Student del índice del ancho de anillo en la cronología total y en los últimos 10 años en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*

Especie	Estado del árbol	IAA	n	D.E.	p-valor
Análisis con cronología total					
<i>Pt</i>	Sano	0.98	140	0.412	0.8912
	Infestado	0.99	124	0.342	
<i>Pm</i>	Sano	0.96	118	0.392	0.4728
	Infestado	0.99	135	0.375	
Análisis con los últimos 10 años					
<i>Pt</i>	Sano	0.85	10	0.4947	0.9360
	Infestado	0.87	10	0.4009	
<i>Pm</i>	Sano	0.87	10	0.3551	0.7061
	Infestado	0.81	10	0.3453	

Pt = *Pinus teocote*; *Pm* = *Pseudotsuga menziesii*; IAA = índice del ancho de anillo; n = número de muestras; D.E. = desviación estándar.

En la Figura 4A se observa una reducción del IAA en As y Ai de *P. teocote* de hasta 30 % en los periodos de 1916 - 1918, 1920 - 1925 y periodos de 1950 - 1953, 1955 - 1958, en estos periodos se observa una reducción del IAA en As y Ai de *P. menziesii* de hasta 45 % (Figura 4C), en el año 2011 se observa una reducción de hasta 50 % en ambas especies (Figuras 4B y 4D). En estudios de reconstrucción de precipitación para el sureste de Coahuila y norte del país (Cerano *et al.*, 2011; Villanueva *et al.*, 2009), se reconstruyeron periodos de sequías (1890-1902, 1916-1933, 1951-1963, 1970-1985 y de 1994 en adelante), coincidiendo con los periodos de reducción del IAA en As y Ai en ambas especies, sin embargo después del brote de plagas en *P. teocote* la diferencia de la reducción de Ai con respecto a As fue de 9.3, 16.2, 11 y 5 % en los años de 2011, 2012, 2013 y 2014 respectivamente (Figura 4B), en contraste con *P. menziesii* donde los árboles sanos tienen una reducción menor en el IAA en comparación con los infestados donde la diferencias son de 6.3, 11.6, 11.4, 15.7 y 24.2 en los años 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015 respectivamente (Figura 4D), siendo una respuesta positiva ante el ataque de insectos descortezadores para *P. teocote* y negativa en *P. menziesii*.

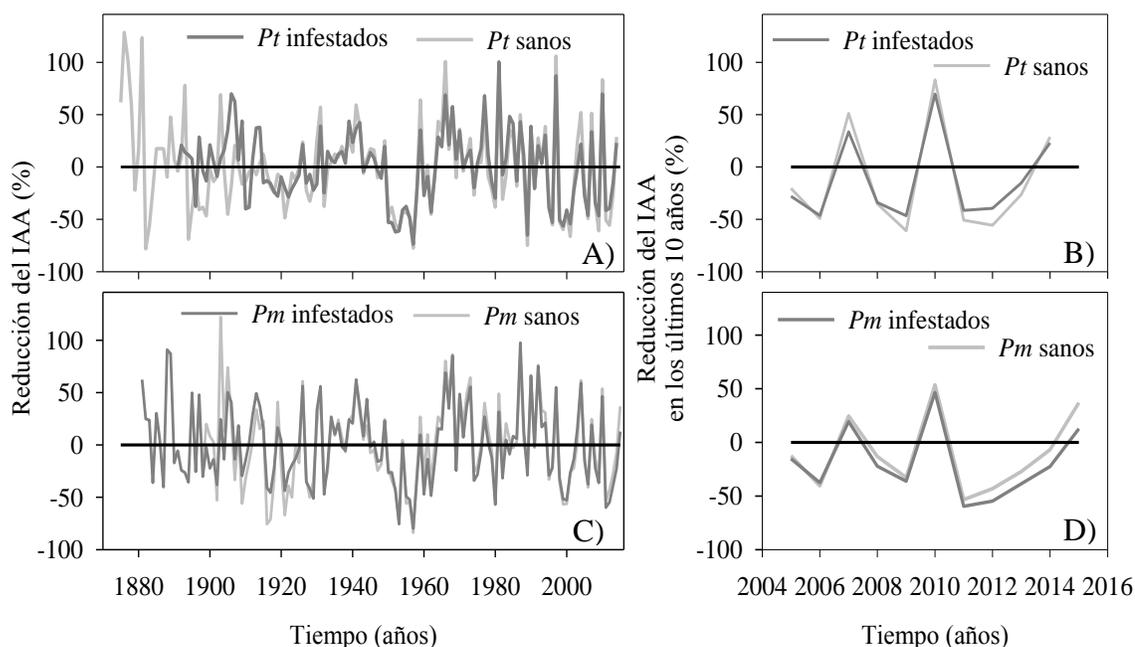


Figura 4. Porcentaje de reducción del índice del ancho de anillo (IAA) en la cronología total (A - B) y últimos 10 años (C - D) en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* (*Pt*) y *Pseudotsuga menziesii* (*Pm*).

Área basal e Incremento en área basal de *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*

El modelo de crecimiento de Schumacher ajustados al área basal de *As* y *Ai* en forma individual presentó alta significancia estadística ($p < 0.0001$) en *P. teocote* y *P. menziesii* (Cuadro 6), el AB de los *Ai* de *P. menziesii* es el que mostró el mejor ajuste con valor de R^2 aj = 0.8545, por el contrario, los *Ai* de *P. teocote* presentaron el menor ajuste con R^2 aj = 0.7015. El análisis de resultados evidencia que la mayor variación en AB se observa en los *Ai* de *P. teocote*, mientras que la variación más pequeña se determinó en *Ai* de *P. menziesii* con C.V = 44.4829. Los resultados demuestran variaciones importantes dentro de cada especie, ya que en *P. teocote* los *As* tienen menor variación (C.V = 50.7667) contrario a lo que presenta *P. menziesii* donde la menor variación se determinó en *Ai* (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadístico de ajuste del modelo de crecimiento a área basal en *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*.

Estadísticos	<i>Pinus teocote</i>		<i>Pseudotsuga menziesii</i>	
	Sano	Infestado	Sano	Infestado
<i>a</i>	5.8555	5.9821	6.8311	6.4586
<i>b</i>	-15.2036	-17.5183	-30.5521	-21.1762
<i>a</i> (E.E.)	0.0189	0.0283	0.0190	0.0142
<i>b</i> (E.E.)	0.7604	1.1761	0.9068	0.6676
R^2 aj.	0.8155	0.7015	0.8484	0.8545
C. V.	50.7667	69.8421	47.1034	44.4829
Valor de F	4869.6	2434.9	8330.5	10007.6
Pr > F	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
CME	11918.9	25696.6	33041.1	24655.3
Gl del total	2205	2074	2978	3411

a y *b* = coeficiente de regresión del modelo de Schumacher; E.E. = error estándar de los coeficientes de regresión; R^2 aj. = coeficiente de determinación ajustado; C.V. = coeficiente de variación; Pr > F = probabilidad de F; CME = cuadrado medio del error; Gl = grados de libertad del total del modelo.

El área basal acumulada promedio acorde al modelo de crecimiento de Schumacher en As de *P. teocote* fue de 215.1 cm² y de 229.5 cm² en Ai. El mayor incremento en AB se tuvo en los primeros 25 años de edad, en As con 190.1 cm² y en Ai con 196.6 cm² (Figuras 5A y 5B). En *P. menziesii*, en As se tuvo un promedio de 385.9 cm² y de 352.9 cm² en Ai, y el mayor incremento en AB fue a los 40 años de edad con 431.5 cm² en As y de 375.8 cm² en Ai (Figuras 5C y 5D). El incremento del AB en Ai de *P. menziesii* es menor comparado con As, similar a lo que hallaron Rollan y Lamperière (2004) en *Picea abies* donde el incremento más rápido se dio en los primeros 35 años de edad con 400 cm² en árboles sanos y 350 cm² en árboles afectados por *Dendroctonus micans* Kug.

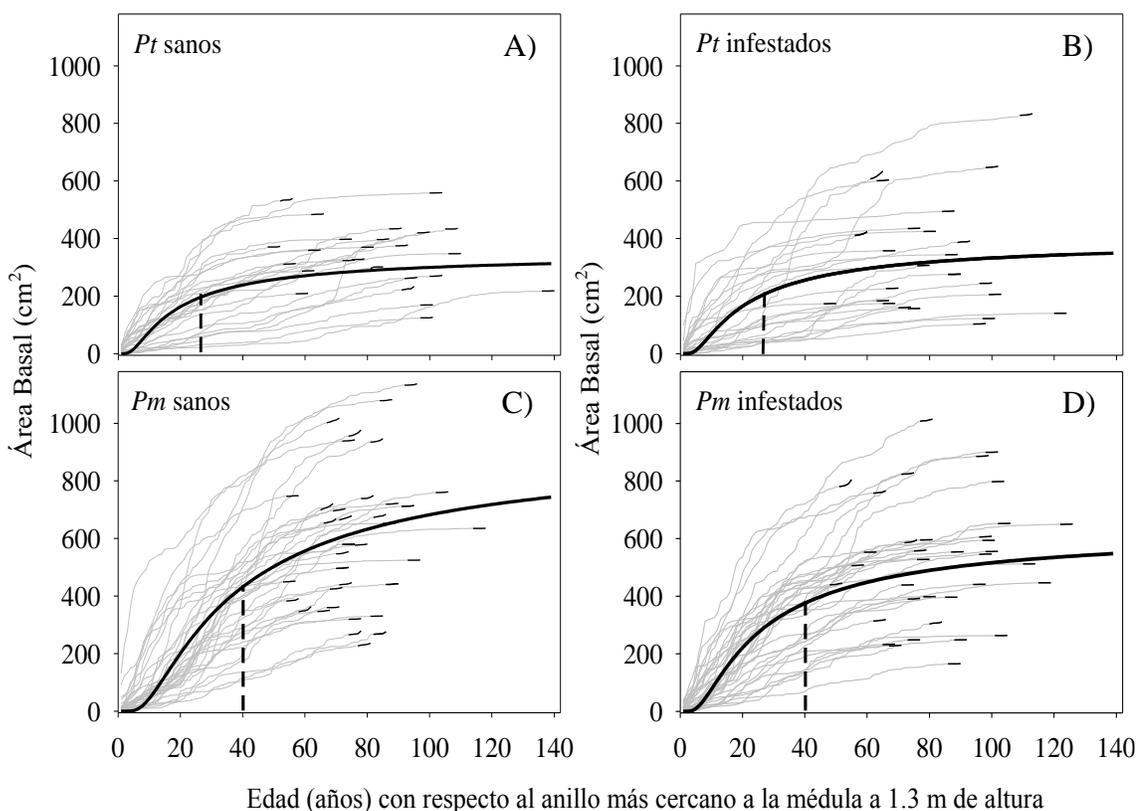


Figura 5. Área basal observada y estimada en árboles sanos (A - C) e infestados (B - D) de *Pinus teocote* (*Pt*) y *Pseudotsuga menziesii* (*Pm*).

En las Figuras 6A y 6B se observa un mismo patrón del incremento en área basal en ambas especies, sin embargo, se observan picos por debajo del

promedio, en *P. teocote* los As (14.8 cm²/año) y Ai (14.4 cm²/año) muestran esos picos en los periodos 1952 - 1957, 1989, 1998 - 2002, 2006, 2008 - 2009, 2011 - 2012, y aunque en la cronología total el promedio son similares, después del brote de descortezadores (2011 – 2014) esos promedios son más variables (9.5 cm²/año; 12.6 cm²/año) en As y Ai. En *P. menziesii* los picos por debajo del promedio del IAB fueron en los mismos periodos donde los promedios en As y Ai fueron de 33.2 y 34.5 cm²/año respectivamente, y después del brote mostraron los promedios de 26.2 y 15.9 cm²/año en As y Ai, éste último muestra una diferencia de 10.3 cm²/año entre árboles sanos e infestados por lo que se afirma el impacto negativo en el incremento radial de los árboles de *P. menziesii*. El IAB de *P. menziesii* en la cronología total y después del brote, es bajo comparado con los 54 cm²/año reportados para árboles sanos dominantes de *P. menziesii* del estado de Chihuahua donde la edad de los árboles varía de 67 a 240 años (Castruita *et al.*, 2016), aunque para este estudio se seleccionaron árboles dominantes y codominantes.

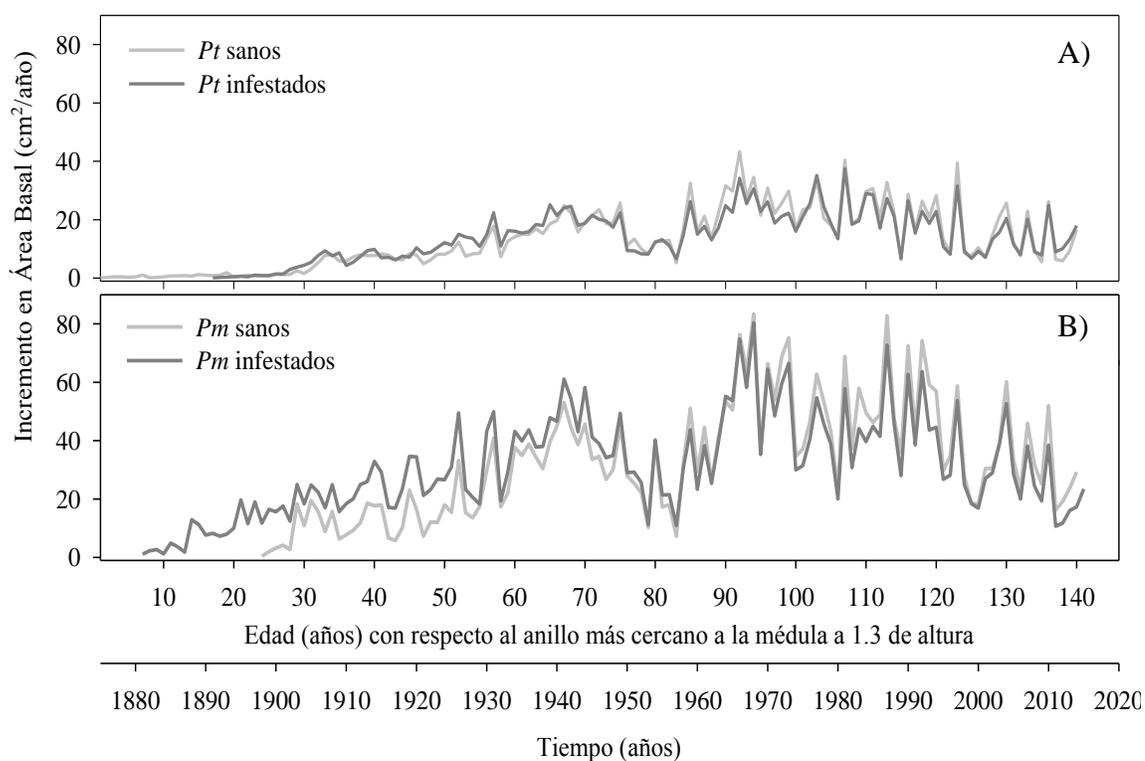


Figura 6. Incremento en área basal en función de la edad en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* (A) y *Pseudotsuga menziesii* (B).

CONCLUSIONES

La respuesta de las especies al ataque de insectos descortezadores es diferente entre especies; el incremento radial acumulado (AA e IAA) en *P. teocote* después del ataque de descortezadores es mayor en árboles infestados que en árboles sanos, mientras que en *P. menziesii* ocurre lo contrario. La dendrocronología es una herramienta útil para evaluar la productividad de los bosques ya que arroja datos precisos de edad e incremento anual, para este tipo de estudios es recomendable usar el índice del ancho del anillo, ya que remueve las tendencias de edad, competencia, así como factores internos y externos de la especie. La productividad forestal de los bosques de México es afectada positiva y negativamente por insectos descortezadores, no obstante es dependiente de la plaga así como de las especies forestales, por lo que para tomar decisiones al respecto es necesario evaluar cada especie en particular.

REFERENCIAS

- Alanís, G., Cano, G., y Rovalo, M. 1996. Vegetación y flora de Nuevo León. Una guía botánico-ecológica. 1a Ed. Monterrey: Impresora Monterrey, SA de CV. 138 p.
- Alfaro, R. I., Thomson, A. J. and Sickle, G. V. 1985. Quantification of douglas-fir growth losses caused by western spruce budworm defoliation using stem analysis. *Canadian Journal of Forest Research*. 15(1): 5-9.
- Alvarado, E., D. V. Sandberg and S.G. Pickford. 1998. Modeling large forest fires as extreme events. *Northwest Science*. 66-75 pp.
- Arreola, O. M. R., González, E. M. y J. de Jesús N. C. 2010. Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México. *Madera y bosques*. 16(1): 71-84.
- Baillie, M. G. L. 1982. Tree-ring dating and archeology. Croom Helm, London
- Bernal, S. S. y T. Terrazas, S. 2000. Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en *Abies religiosa*. *Maderas y Bosques* 6(1): 73-86.
- Biondi, F. 2001. A 400-year tree-ring chronology from the tropical treeline of North America. *Royal Swedish Academy of Sciences* 30: 162-166.
- Camarero, J. J., Bernal M. E., y E. Gil P. 2002. Estudio dendroecológico del ataque de *Epitonía subsequana* Hw.(Lepidoptera: Tortricidae) sobre un abetar (*Abies alba* Mill.) del Pirineo aragonés (Diazas, Torla). *Sistemas y Recursos Forestales*. 11(2): 397-407.
- Capó, A. M. A., Lujan, A. C., Treviño, G. E., Najera, C. J. A., Morales, Q. L., Cabral, C. I., y Cuevas, H. J. L. 2007. Diagnóstico del sector forestal del estado de Nuevo León. Gobierno del estado de Nuevo León, CONAFOR, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monterrey, Nuevo León. 2-37 pp.
- Castello, J. O., D. J. Leopold and P. J. Smallidge. 1995. Pathogen, patterns, and processes in forest ecosystems. *BioScience*. 45(1): 16-24.
- Castruita, E. L. U., Correa, D. A., Gómez, G. A., Villanueva, D. J., Ramírez, G. M. E., Velázquez, M. A. and Ángeles, P. G. 2016. Basal area increment series of dominant trees of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco show periodicity according to global climate patterns. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 22(3): 379-397.

- Cerano, P. J., Villanueva, D. J., Z. Fulé, P., Arreal, A. J. G., Sánchez, C. I. y R. D. Valdez C. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el sureste de Chihuahua, Méxicico. *Madera y Bosques*. 15(2): 27-44.
- Cerano, P. J., Villanueva, D. J. and P. Z. Fulé. 2010. Fire reconstruction and its relation to weather in the Cerro el Mohinora reserve, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 1(1): 63-73.
- Cerano, P. J., Villanueva D. J., Valdez C. R., Cornejo O. E., Sánchez C. I. y V. Constante G. 2011. Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2(4): 32-46.
- Cerano, P. J., Méndez, G. J., Amaro, S. A., Villanueva, D. J., Cervantes, M. R. y Rubio, C. E. 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 Forestales y del Ambiente*. 19(3): 413-423.
- Chamberlin, W. J. 1939. The bark and timber beetles of North America and North of Mexico. Oregon State College. Corvallis, Oregon. 1-513 pp.
- Cleaveland, M. K., D. W. Stahle, M. D. Therrel, J. Villanueva, D. and B. T. Bums. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, México. *Climatic Change*. 59: 369-338.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2004. Avances del Sector Forestal 2003. México.
- Constante G. V., Villanueva, D. J., Cerano P. J., Cornejo O. E. H. y S. Valencia, M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. Y reconstrucciones de precipitación estacional para el sureste de Coahuka. *Rev. Cienc. For. En México* 34 (106): 17-39.
- Cook, E. R., and Kairiukstis, L. A. 1989. *Methods of Dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 393 p.
- Cook, E. R. and Holmes, R. L., 1999. Guide for computer program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, USA. 81 p.
- Critchfield, W. and Little Jr., E. L. 1971. *Geographic Distribution of the pines of the World*. U.S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication No. 991 Washington, D.C. 97 p.

- Del Castillo R. F., J. A. Pérez de la R, G. Vargas A. y R. Rivera. G. 2004. Coníferas. *In*: Biodiversidad de Oaxaca. A. J. García M, M. de J. Ordóñez, M. Briones S. (eds). Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Foundation. 141-158 pp.
- Díaz, S. C. 2002. Paleoclimatología del noroeste mexicano. Tesis doctoral. Uso y preservación de los recursos naturales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur. 71 p.
- Domínguez, A. F. A. 1994 Análisis histórico-ecológico de los bosques de *Pseudotsuga* en México. INIFAP-CIR Golfo Centro. Folleto Técnico N° 23. El Palmar, Veracruz. 43 p.
- Domínguez, A. F.A., J. J. Vargas H., J. López U., P. Ramírez V. y E. Guizar N. 2004. Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica. 75(2): 191-203.
- Douglass, A. E. 1914. A method of estimating rainfall by the growth of trees. Bulletin of the American Geographical Society, 46(5), 321-335.
- Dvorak, W. S. y Donahue, J. K. 1993. Reseña de investigaciones de la cooperativa CAMCORE 1980-1992. Universidad Estatal de Carolina del Norte. 94 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2007. Overview of forest pests Mexico. Forest Health and Biosecurity Working Papers. Forestry Department. Working Paper FBS/24E. Rome, Italy. 25 p.
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. London, New York, San Francisco. Academic Press. 567 p.
- Fulé, P.Z. y W.W. Covington. 1996. Changing fire regimes in Mexican pine forests: ecological and management implications. Journal of Forestry 94: 33-38.
- Fulé, P.Z. y W. W. Covington. 1998. Spatial patterns of Mexican pine-oak forests under different recent fire regimes. Plant Ecology 134: 197-209.
- Fulé, P.Z. y W. W. Covington. 1999. Fire regime changes in La Michililla Biosphere Reserve, Durango, Mexico. Conservation Biology 13: 640-652.
- García, E. 1978. Apuntes de climatología. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 153 p.

- Gemmell, A. R. 1969. *Developmental Plant Anatomy*. London, Edward Arnold.
- Gómez, D. V. 1988. Propiedades tecnológicas de la madera y aplicaciones. En: Memoria del IV seminario tecnológicas de industria maderera. Publicaciones especiales del INIFAP No. 82. México. 99-119 pp.
- Grigaliunas, K. and Zolubas, P. 2006. Spruce radial increment and risk to *Ips typographus* L. Attacks. *Baltic Forestry*. 12(1): 34-38.
- Grissino, M. H. D. 2001. Evaluating cross dating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*. 57(2): 205-221.
- Grissino, M. H. D. 2016. Dendrochronology. Disponible en: <http://web.utk.edu/~grissino/principles.htm#def>
- Gutiérrez, E. 2008. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. Departamento de Ecología Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. *Arqueología náutica mediterránea X*. Nieto i M.A., 303-3015. Disponible en: <https://researchgate.net/publication/228769173>
- Hawkins, C. D., Dhar, A. and Balliet, N. A. 2013. Radial growth of residual overstory trees and understory saplings after mountain pine beetle attack in central British Columbia. *Forest Ecology and Management*. 310: 348-356.
- Holmes, R. L. 1983. Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Buletin*. 43: 69-78.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, C. von Stechow, T. Zwickel,... and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp: 150-205.
- Kaib, M. 1998. Fire history in canyon pine-oak forests and the intervening desert grasslands of the southwest borderlands. M.Sc. Thesis. University of Arizona. Tucson. 85 pp.
- Kitzberger, T., T. T. Veblen, y R. Villalba. 2000. Métodos dendrocronológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In: Roig F. (ed.). *Dendrocronología en América Latina*. Mendoza, Argentina, EDIUNC. 17-78 pp.

- Lara, A., R. Villalba, J. C. Aravena, A. Wolodarsky, y E. Neira. 2000. Desarrollo de una red de cronologías de *Fitzroya cupressoides* (Alerce) para Chile y Argentina. EDIUNC, Mendoza, Argentina. 217-270.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2a Ed. Ediciones Botas. México. D.F. 361 p.
- Mast, J. N. and T. T. Veblen. 1994. A dendrochronological method of studying tree mortality patterns, *Physical Geography*. 15(6): 529-542.
- Menéndez, R. 2007. How are insects responding to global warming. *Tijdschrift voor Entomologie*, 150, 355-365.
- Mullins, E. and S. McKnight, 1981. Canadian woods; Their properties and uses. University of Toronto Press. Toronto, Búfalo y Londres. 389 p.
- Muzika, R. M. and Liebhold, A. M. 1999. Changes in radial increment of host and nonhost tree species with gypsy moth defoliation. *Canadian Journal of Forest Research*. 29(9): 1365-1373.
- Perry, J. P. 1991. The pines of México and Central America. Portland, OR. Timber Press. 231 p.
- Pohl, K., M. Therrell, Santiago B. J., N. Ayotte, Bernal, S. S., Cabrera H. J., Díaz C. S., A. Elvir, González E. M., D. Opland, J. Park, G. Pederson, Vazquez S. L. and D.V. Sthale. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, México. *Tree-Ring Res.* 59(1):11-19.
- Pyne, S., P. Andrew and R.D. Laven. 1996. Introduction to wildland fire. 2a.ed. Wiley, Nueva York. 769 p.
- Rodríguez, T. D. A. 1996. Incendios forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi-Prensa. México, D. F. México. 617 p.
- Roig, F.A. 2000. Dendrocronología en América Latina. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Republica Argentina.
- Rolland, C., and Lempériere, G. 2004. Effects of climate on radial growth of Norway spruce and interactions with attacks by the bark beetle *Dendroctonus micans* (Kug., Coleoptera: Scolytidae): a dendroecological study in the French Massif Central. *Forest Ecology and Management*. 201(1): 89-104.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México. 432 p.

- Sánchez, M. G., L. M. Torres, I. Vázquez, E. González y R. Narváez. 2007. Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. Libro Técnico No. 4. INIFAP. CIRNOC. Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes, México. 107 p.
- Santillán, H. M., E. H. Cornejo, J. Villanueva D., J. Cerano P., S. Valencia M., y M. A. Capó A. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 16 (1): 17-29.
- Schulman, E. 1956. Dendroclimatic Changes in Semiarid America. University of Arizona Press, Tucson. 142 pp.
- Schweingruber, F. H. 1983. Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Paul Haupt Verlag, Bern, 234 pp.
- Schweingruber, F. H., Eckstein D., Serre B. F. and Bräker O.U., 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronology*. 8: 9-38.
- Schweingruber, F. H. 1995. Tree rings and environment Dendroecology. Birmensdorf, Swis Federal institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne Stuttgart, Viena, Haupt. 609 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2003. Compendio de estadísticas ambientales 2002. Publicaciones de la Dirección General Forestal, Semarnat, México.
- Speer, J. H. 2010. Fundamentals of tree-ring research. University of Arizona Press. 368 pp.
- Stahle, D. W., D'Arrigo, P. J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. B. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Gay, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, Villanueva, D. J., and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(10): 2137-2152.
- Stahle, D. W., M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, and J. Villanueva D. 1999. Tree-ring reconstruction of winter and summer precipitation in Durango, Mexico, for the past 600 years. 10th Conference of Global Change Studies. Preprint volume, American Meteorological Society, 79th Annual Meeting. January 10-15. Dallas, Texas.
- Stoeckhardt, A. 1871. Untersuchungen über die schädliche Wirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Pflanzen, insbesondere der Fichte und Tanne. *Tharandter Forstliches Jahrbuch* 21: 218-254.

- Stokes, M., A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. University of Chicago Press. Chicago, IL. USA. 73 p.
- Swetnam, T. W., Thompson, M. A. and Sutherland, E. K. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. USDA. Forest Service Agriculture Handbook No. 639. 39 p.
- Swetnam, T. W. and Lynch, A. M. 1989. A Tree-ring reconstruction of western spruce budworm history in the southern rocky mountains. *Forest Science*. 35(4): 962-986.
- Therrell, M. D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland and J. Villanueva, D. 2002. Warm season tree growth and precipitation over México, *Journal of Geophysical Research* 107:14-24.
- Todorovic, J. A. 2013. The relationship between engelmann spruce radial growth and spruce beetle infestation in northwestern Colorado. Tesis de grado, Universidad de Colorado Boulder. 10-62 p.
- Tomazello, F. M., Botosso, P. and Lisi, C. 2001. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: Maia, N. B.; Martos, H. L.; Barrella, W. (Org). *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: EDUC, COMPED, INEP. 117-143 pp.
- Ventura, R., A., J. López U., J. J. Vargas H. y V. Guerra C. 2010. Caracterización de *Pseudotsuga menziesii* en el centro de México, implicaciones para la conservación. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(2):107-116.
- Villagómez, L. M. A. y M. A. Bello, G. 2015. *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *glauca* (Beissn.) Franco: nuevo registro para Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6(30): 66-73.
- Villalba, R. 1990. Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1,000 years as inferred from tree-ring records. *Quaternary Research* 34: 346-360.
- Villanueva, D. J. 1996. Influence of Land-use and Climate on Soils and Forest Structure in Mountains of the Southwestern United States and Northern Mexico. Ph. D. Dissertation. University of Arizona, Tucson. 203 p.
- Villanueva, D. J. and G. R. McPherson. 1996. Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New México, USA ad Sonora, México, *Hidrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*. Hidrology section, Arizona-Nevada Academy of Science 26: 45-54.

- Villanueva, D. J. y G. R. McPherson. 1999. Estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México. *Revista Ciencia Forestal en México* 24(86):37-61.
- Villanueva, D. J., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland y M. D. Therrell. 2000. Estado actual de la dendrocronología en México. *Ciencia Forestal en México*. 25(88): 3-34.
- Villanueva, D. J., Cerano, P. J., Stahle, D. W., Therrell, M. D. y M. K. Cleaveland. 2003. Cronologías de anillos de árboles del norte de México y su potencial hidroclimático. XII Congreso Nacional de Irrigación (ANEI). Zacatecas, Zac. Mex. 13 al 15 de Agosto.
- Villanueva, D. J., P. Z. Fulé, J. Cerano P. J., Estrada A. J., y I. Sánchez C. 2009. Reconstrucción de precipitación estacional para el Barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Ciencia Forestal en México*. 34(105): 37-69.
- Villanueva, D. J., Vazquez, S. L., Gómez, G. A., Cerano, P. J., Aguirre, G. N. A., and O. Franco, R. 2016. Dendrochronologic potential of *Juniperus monticola* Martinez in mountain Tlálloc, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 39(2): 175-185.
- Zhang, Q., Alfaro, R. I. and Hebda, R. J. 1999. Dendroecological studies of tree growth, climate and spruce beetle outbreaks in Central British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*. 121(3): 215-225.