



**Impacto de descortezadores en el incremento radial de
Pinus teocote Schiede. ex Schlttdl. & Cham. y *Pseudotsuga
menziesii* (Mirb.) Franco**

Jesús Ángel López Sánchez¹

Jorge Méndez González^{1*}

Alejandro Zermeño González²

Julián Cerano Paredes³

Mario Alberto García Aranda⁴

¹ Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (UAAAN). México. ² Departamento de Riego y Drenaje. UAAAN. México.

³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo Planta. Atmósfera. INIFAP. México.

⁴ Especies, Sociedad y Hábitat, A.C. México.

Autor para correspondencia: Jorge Méndez González, Correo-e:
jmendezg@hotmail.com



Resumen:

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* (*Pt*) y *Pseudotsuga menziesii* (*Pm*). Para ello se analizaron núcleos de crecimiento de 52 árboles de *Pt* (26 sanos y 26 infestados) y 72 de *Pm* (36 sanos y 36 infestados), de dos sitios ubicados en la Sierra Madre Oriental. Los datos analizados fueron: ancho de anillo e índice del ancho de anillo, de toda la cronología, pero también antes y después de la aparición de la plaga. Mediante pruebas de *t* de *Student* se contrastó el ancho de anillo de árboles (sanos e infestados) antes y después del ataque de insectos descortezadores. El incremento radial acumulado en *Pt* fue mayor en árboles infestados (1.86 mm año^{-1}) que en los individuos sanos (1.30 mm año^{-1}); en *Pm*, los árboles sanos incrementaron más (3.01 mm año^{-1}) que los infestados (1.81 mm año^{-1}). Se concluye que 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 arroja datos precisos de edad e incremento anual de los árboles.

Palabras clave: Ancho de anillo, dendrocronología, *Dendroctonus* spp., municipio Arteaga, *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham., *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

Fecha de recepción/Reception date: 25 de noviembre de 2016; Fecha de aceptación/Acceptance date: 1 de febrero de 2017.



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 y otros problemas, incluido el aumento de la temperatura media de la superficie de la tierra en 0.61 °C y se estima que ascenderá hasta 4 °C para finales del siglo XXI (IPCC, 2014); esto representa un factor influyente en la fisiología de los insectos forestales, por ser organismos de sangre (hemolinfa) fría, pues así responden rápidamente a sus ambientes climáticos (Menéndez, 2007). Además de los anteriores, el cambio en la precipitación y la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, están teniendo efectos importantes en el estado de salud de los bosques del mundo (FAO, 2007); al modificar la dinámica y biología de las plagas, su desarrollo, supervivencia y reproducción (Swetnam *et al.*, 1985; Hawkins *et al.*, 2013).

Los organismos que más afectan los bosques mexicanos de coníferas son los insectos descortezadores del género *Dendroctonus*, cuyos daños más notables se observaron en 1960 (Islas, 1980). Conafor (2015) registró que entre 2004 y 2014 se siniestraron más de 30 365 ha, lo que se atribuye a 12 especies de descortezadores, y que resultó en pérdidas económicas y ecológicas cuantiosas para el sector forestal. Romero *et al.* (1997) depuraron la base de datos de especímenes de la familia Scolytidae (827) y Platypodidae (40), insectos que habitan y se reproducen en la corteza interna de los árboles (FAO, 2007); se alimentan del floema y cambium vascular, por lo que provocan la muerte de su hospedero (Sánchez *et al.*, 2007).

La influencia de estos y otros factores como la competencia y el clima se reflejan en el ancho del anillo del crecimiento de los árboles (Swetnam *et al.*, 1985; Camarero y Martín, 2002; Hawkins *et al.*, 2013), que se manifiesta en una mayor o menor anchura (Schweingruber *et al.*, 1990). Las secuencias de anillos generadas por el

árbol durante su crecimiento son estudiadas por la dendrocronología (Fritts, 1976), ciencia que data o fecha la edad de los individuos arbóreos (Schweingruber *et al.*, 1990); dicha especialidad ha contribuido a la solución de problemas ecológicos, hidrológicos, climáticos y arqueológicos (Villanueva *et al.*, 2000; Villanueva *et al.*, 2009), pero pocos estudios incluyen el impacto del cambio ambiental en comunidades forestales (Alvarado *et al.*, 1998).

Los métodos dendrocronológicos se han utilizado en varias especies forestales para realizar evaluaciones del incremento radial de los árboles afectados por diferentes tipos de plagas. En relación a los descortezadores, destacan: Mast y Veblen (1994) en *Picea engelmannii* Parry ex Engelm. y *Abies lasiocarpa* (Hook. Nutt); Zhang *et al.* (1999) en *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco, *Abies lasiocarpa*, *Picea engelmannii* y *P. glauca* (Moench Voss); Rolland y Lemperiere (2004) en *Picea abies* (L.) H.Karst; Hawkins *et al.* (2013) en *Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb., *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* y *Picea glauca* x *P. engelmannii*. Con respecto a defoliadores, pueden citarse los hallazgos de: Swetnam y Lynch (1989) en bosques mixtos de coníferas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.), *Pinus ponderosa* Douglas ex. C.Lawson., *Abies concolor* (Gordon) Lindl. ex Hildebr. y *Abies lasiocarpa*; Alfaro *et al.* (1985) en *Pseudotsuga menziesii*; Muzika y Liebhold (1999) en *Pinus rigida* Mill. y *Quercus* spp.; Camarero y Martín (2002) en *Abies alba* Mill. Grigaliūnas y Zolubas (2006) en *Picea abies* sobre *Ips*. La mayoría de esos trabajos evidencian una reducción significativa en el crecimiento radial de los árboles huéspedes.

En México varios de los taxa antes indicados se han utilizado para reconstrucción climática (Villanueva *et al.*, 2000; Villanueva *et al.*, 2009; Cerano *et al.*, 2011), pero ninguna para evaluar el efecto de plagas. Los insectos descortezadores son una de las principales amenazas a los bosques de todo el mundo, cuando aparecen después de los cambios drásticos en el clima y el ecosistema (Castello *et al.*, 1995), cabe señalar que el arbolado es más susceptible a los daños de esta índole; sin embargo, existe cierta incertidumbre de cómo y cuánto afectan las plagas en el desarrollo o productividad forestal.

Con base en lo anterior, se planteó el objetivo de la presente investigación que consistió en comparar el impacto de los insectos descortezadores sobre el crecimiento radial mediante el ancho de anillo en árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en Coahuila y *Pinus teocote* Schiede. ex Schlttdl. & Cham. en Nuevo León, México, a través de técnicas dendrocronológicas. Se partió de la hipótesis de que los árboles sanos crecen más radialmente, que los árboles infestados por insectos descortezadores.

Materiales y Métodos

El área de estudio

Los sitios de estudio se ubican en la comunidad La Peñita, municipio Santiago, Nuevo León, y en el ejido Santa Rita, municipio Arteaga, Coahuila, ambos enclavados en la Sierra Madre Oriental. El primero, en las coordenadas UTM 362409 y 2804175, altitud de 2 300 m, clima del tipo C (W') templado subhúmedo, con temperatura media entre - 3 y 18 °C y precipitación anual de 600 a 900 mm (García, 1973). El segundo, en las coordenadas UTM 353988 y 2791690, altitud de 2 500 m, 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. La vegetación de cada uno se lista en el Cuadro 1.



Cuadro 1. Características promedio del bosque de coníferas y de *Quercus* en el área de estudio.

Especie	No. de árboles ha⁻¹	Altura (m)	DAP (cm)	Área Basal (m² ha⁻¹)	Proporción (%)
La Peñita, Santiago, Nuevo León					
<i>Pinus teocote</i> Schiede. ex Schltdl. & Cham.	28.6	12.1	21.5	4.4	47.0
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	5.5	13.5	20.5	0.4	9.0
<i>Quercus</i> spp.	26.8	6.5	13.1	1.9	44.0
Santa Rita, Arteaga, Coahuila					
<i>Pinus rudis</i> Endl.	54.3	15.1	29.5	12.1	21.3
<i>Pinus reflexa</i> (Engelm.) Engelm.	23.5	13.2	24.2	3.9	9.2
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	19.6	15.6	25.8	4.7	7.7
<i>Abies</i> spp.	52.1	14.8	19.4	4.1	20.4
<i>Quercus</i> spp.	105.6	4.9	9.5	3.2	41.4

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm); Proporción = Porcentaje que representa cada especie.

Al abeto *Douglas* (*Pseudotsuga menziesii*) se le encuentra en poblaciones aisladas en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico y centro del país (Domínguez *et al.*, 2004) y en pequeños rodales en el estado de Oaxaca (Del Castillo *et al.*, 2004). *Pinus teocote* tiene una amplia distribución natural en México y Guatemala, crece en altitudes de 1 000 a 3 000 msnm, y en suelos francos y franco-arcillosos. Está adaptada a climas subhúmedos a húmedos, con precipitación anual de 1 000 a 1 500 mm (Dvorak y Donahue, 1993).

Muestreo en campo

La colecta de núcleos de crecimiento (virutas) se realizó en junio de 2015 en La Peñita, NL, con 52 árboles de *Pinus teocote* (*Pt*) (26 sanos y 26 infestados) y en abril de 2016 en Santa Rita, Coah., con 72 de *Pseudotsuga menziesii* (*Pm*) (36 sanos y 36 infestados). A cada individuo se le extrajeron dos virutas (una de nortesur y otra de este-oeste), mediante un taladro de *Pressler Haglof* FOI0308 a 1.3 m de altura (Mast y Veblen, 1994; Camarero y Martín, 2002). Los árboles sanos (*As*) tenían buen vigor, sin aserrín o galerías de ningún tipo de plaga; los infestados (*Ai*) portaban acículas rojizas y ramas muertas, fuste con grumos de aserrín, galerías o exudación; ambos (*As* y *Ai*) debían abarcar las mismas categorías de diámetro y estar libres de competencia (distancia >3 m al árbol más cercano).

Las características dasométricas se midieron en 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 hacer un muestreo de insectos descortezadores, los cuales se llevaron al laboratorio del departamento forestal de la UAAAN para su posterior identificación.

Análisis dendrocronológico

Las virutas se montaron en una base de madera y se lijaron para destacar las estructuras de crecimiento anual (Swetnam *et al.*, 1985). Los anillos se contaron y fecharon mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968; Swetnam *et al.*, 1985); se les midió de forma individual con un sistema de medición *Velmex* de fase deslizable con precisión de 0.001 mm (Cerano *et al.*, 2011) y mediante datación cruzada (*crossdating*) se comparó cada muestra del mismo árbol y de la misma especie (Stokes y Smiley, 1968; Camarero y Martín, 2002). El fechado y la medición exacta de cada anillo se verificó con el programa COFECHA (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 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 el clima y las plagas forestales (Swetnam *et al.*, 1985; Cook y Holmes, 1996). *ARSTAN* originó el índice de ancho de anillo (IAA) estandarizado y residual (Swetnam *et al.*, 1985).

Análisis de crecimiento e incremento radial de *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*

Para corroborar que el promedio de diámetro y edad entre A_s y A_i fuera igual entre las especies, se aplicó una prueba de t de *Student* por medio del *software Statistical Analysis System* (SAS, 2014). Para identificar diferencias entre A_s y A_i , los datos de ancho de anillo (AA) e IAA fueron divididos en dos grupos: 1) cronología total, y 2) últimos 10 años. Para 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, en el que se aplicó una prueba de t de *Student* a los dos grupos de datos.

El porcentaje de reducción del IAA se obtuvo por medio de su promedio en la cronología total de A_s y A_i , en ambas especies. Los datos del ancho de anillo (mm) se transformaron a área basal (cm^2), de lo que se derivó el área basal acumulada (ABA); a estos mismos se le ajustó el modelo de crecimiento de *Schumacher*, con el cual se determinó el incremento en área basal (IAB) por especie. Dicho modelo se expresa de la manera siguiente:

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

Donde:

Y = Área basal del árbol (cm^2)

x = Edad del árbol (años)

exp = Exponencial

a y b = Parámetros del modelo

Resultados y Discusión

En La Peñita se reconoció la presencia de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 (55 %), *D. frontalis* Zimmerman, 1868 (40 %), *D. valens* LeConte, 1868 (4 %), y *D. brevicomis* LeConte, 1876 (1 %). Y, en Santa Rita, *D. adjunctus* Blandford, 1897 (72 %), *D. brevicomis* (26.5 %), *D. mexicanus* (0.8 %), *D. valens* (0.5 %) y *D. frontalis* (0.2 %), todos ellos sobre *P. teocote* (Coahuila) y ninguno en el material analizado de Nuevo León (Cuadro 1); solo en ejemplares de *Pseudotsuga menziesii* (Coahuila) se observó *D. pseudotsugae barragani* Furniss, 2010 (Salinas *et al.*, 2010). La intensidad de la infestación por insectos descortezadores en cada sitio de estudio depende de su diversidad, de las especies forestales y su proporción en el bosque.

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

El diámetro y la edad en As y Ai de *P. teocote* fue estadísticamente igual ($p = 0.6439$ y $p = 0.6922$) (Cuadro 2); con valores de 39.68 en As y 40.48 cm en Ai , con 84.81 y 82.91 años, respectivamente. En As y Ai de *Pseudotsuga menziesii* el diámetro no fue diferente estadísticamente ($p = 0.1320$), tampoco la edad ($p = 0.0867$; Cuadro 2); el diámetro en As fue de 48.05 cm y de 44.46 cm en Ai , con 79.64 y 86.28 años, respectivamente. Hawkins *et al.* (2013) han recomendado que para evaluar este efecto de incremento por plagas forestales, la muestra se distribuya sobre árboles de las mismas categorías; el presente estudio cumple con esa premisa.

Cuadro 2. Resultados de la prueba de *t* de *Student* en diámetro y edad de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. en Nuevo León y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en Coahuila, México.

Especie	Variable	Estado del árbol	n	Promedio	D.E.	p-valor
<i>Pt</i> (Coah.)	DAP (cm)	Sano	26	39.68	7.285	0.6439
		Infestado	26	40.73	9.063	
<i>Pm</i> (NL)		Sano	36	48.05	9.619	0.1320
		Infestado	36	44.46	11.100	
<i>Pt</i> (Coah.)	Edad (años)	Sano	26	84.81	21.498	0.6922
		Infestado	26	82.91	18.903	
<i>Pm</i> (NL)		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 *Pinus teocote* y *Pseudotsuga menziesii*

En *As* de *P. teocote* se obtuvo una cronología 140 años (1875 - 2014) y de 124 años (1891 - 2014) en *Ai*. Este estudio representa uno de los primeros esfuerzos por demostrar el potencial dendroecológico de *P. teocote*. En *Pseudotsuga menziesii* la cronología fue de 118 años (1898 - 2015) y 135 años (1881 - 2015) en *As* y *Ai*, respectivamente. Con el mismo taxon y disciplina, Zhang *et al.* (1999) en

Canadá, dieron a conocer cronologías de hasta 600 años; en Nuevo México, Estados Unidos de América, Swetnam y Lynch (1989) estudiaron árboles de solo 180 años. Las investigaciones dendroclimáticas realizados en México en *Pseudotsuga menziesii*, han revelado cronologías desde 203 (Arreola-Ortíz *et al.*, 2010), 300 (Cerano *et al.*, 2011) hasta 554 años (Villanueva *et al.*, 2009). Los resultados registrados aquí demuestran que los bosques de dicha especie en la localidad del país considerada están en etapas de desarrollo muy variadas, ya que presentan diferencias de 68 a 436 años.

La prueba de *t* de 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 1A) con un crecimiento promedio anual de 1.73 mm en *As* y 1.92 mm en *Ai*. En los últimos diez años (G2), *P. teocote* muestra ancho de anillos diferente entre *As* y *Ai* ($p = 0.0591$; Cuadro 3) con AA de 0.81 y 0.89 mm. En la cronología total (G1) de *Pseudotsuga menziesii* no hubo diferencia significativa en el AA entre los *As* y *Ai* ($p = 0.1128$) (Cuadro 3; Figura 1B), de lo que resultó un crecimiento promedio anual de 2.99 en *As* y de 2.71 mm en *Ai*; sin embargo, en el análisis de los últimos 10 años (G2), los datos demuestran que el crecimiento en diámetro de *P. menziesii* fue mayor en árboles infestados ($p = 0.0001$; Cuadro 3). Lo consignado difiere de lo reconocido para otras especies, como se ha documentado con ejemplares invadidos por descortezadores (*Dendroctonus micans* Kugelann, 1794) de *Picea abies*, sobre los que Rolland y Lamperiere (2004) calcularon una reducción de 50 % en el ancho de anillo.

En *Abies alba* atacados por insectos defoliadores (*Epinotia subsequana* Haworth, 1811), Camarero y Martín (2002) demostraron que en un periodo de tres años (1996 - 1998) los árboles presentaron una reducción de 1.4 a 1.5 mm, en comparación con individuos sanos, lo cual responde al agotamiento de las reservas de hidratos de carbono que se almacenan en las acículas; esto ha sido señalado también, por Muzika y Liebhold, (1999) en otros géneros como *Picea* y *Abies* en los que el comportamiento es diferente, pues las plagas no afectan el crecimiento en diámetro (Grigaliūnas y Zolubas, 2006).

Cuadro 3. Resultados de la prueba de *t* de *Student* del ancho de anillo en la cronología total y en los últimos 10 años en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

Especie	Estado del árbol	AA (mm)	n	D.E.	p-valor
Análisis con cronología total (G1)					
<i>Pt</i> (Coah.)	Sano	1.73	140	0.87	0.0672
	Infestado	1.92	124	0.838	
<i>Pm</i> (NL)	Sano	2.99	118	1.536	0.1128
	Infestado	2.71	135	1.245	
Análisis con los últimos 10 años (G2)					
<i>Pt</i> (Coah.)	Sano	0.81	10	0.49	0.0591
	Infestado	0.89	10	0.4	
<i>Pm</i> (NL)	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; G1 y G2 = Grupo uno y dos.



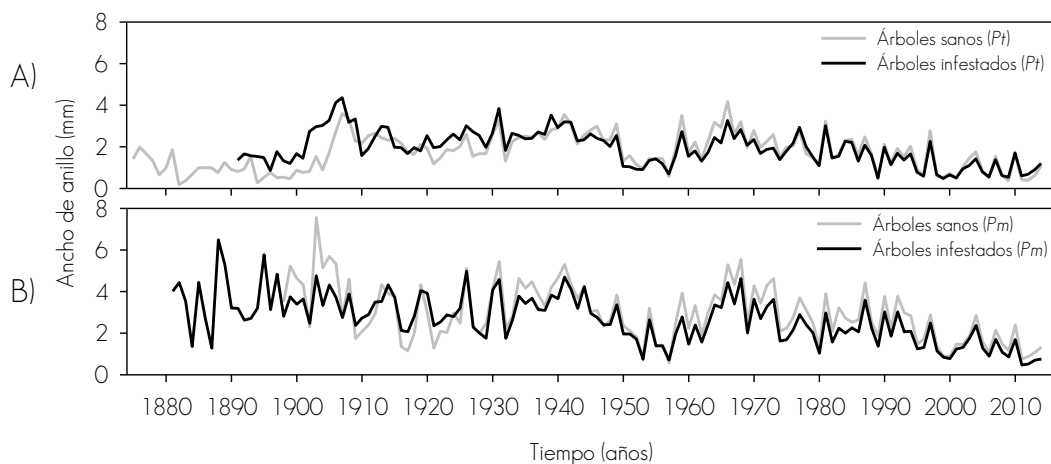


Figura 1. Ancho de anillo en la cronología total en *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. (A) y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. (B) de dos localidades de México.

Antes del brote de descortezadores, los individuos de *Pinus teocote* infestados no mostraron diferencias significativas, con respecto a los sanos ($p = 0.1169$). Para *Pseudotsuga menziesii*, el nivel de daño ya ejercía efecto en el ancho de los anillos ($p = 0.0143$). Posterior a la colonización, se detectaron diferencias significativas entre individuos sanos y no sanos en ambas especies, aunque a la inversa, pues el grosor del anillo fue mayor tanto en ejemplares afectados de *P. teocote*, como en los de la segunda especie, libres de estos insectos (Cuadro 4, Figura 2).

Las especies estudiadas respondieron de manera distinta en esta variable a la infestación de descortezadores. En el abeto, la reducción fue de 22.6 % antes de los insectos y de 39.8 % después de ellos. Es posible que factores adicionales (no analizados) como la sequía, entre otros, hayan contribuido en esa reacción. Algunos autores indican que *P. menziesii* es sensible al ataque de plagas forestales, lo que se manifiesta en reducciones de hasta 50 %, sobre todo, si son árboles longevos (> 100 años) (Alfaro *et al.*, 1985; Hawkins *et al.*, 2013).

Cuadro 4. Resultados de la prueba de *t* de *Student* del incremento del ancho de anillo antes y después del brote de plagas en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. y *Pseudotsuga menziesii*. (Mirb.) Franco

Especie	Estado del árbol	IA-AA (mm año ⁻¹)	N	D.E.	p-valor
Antes del brote de insectos descortezadores (2006 - 2010)					
<i>Pt</i> (Coah)	Sano	2.63	5	1.56	0.1169
	Infestado	2.58	5	1.55	
<i>Pm</i> (NL)	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> (Coah)	Sano	1.30	4	0.91	0.0017
	Infestado	1.86	4	1.2	
<i>Pm</i> (NL)	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⁻¹); N = Número de muestras; D.E. = Desviación estándar.



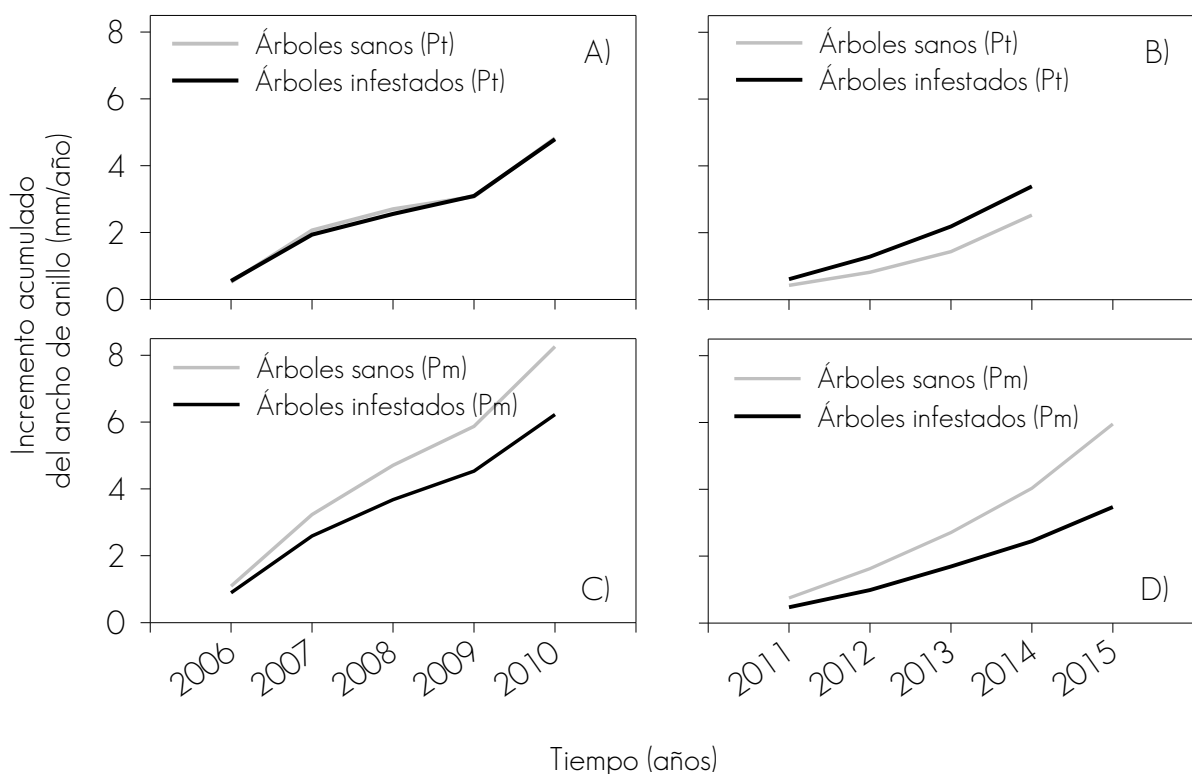


Figura 2. Incremento del ancho de anillo antes (A - B) y después (C - D) de la aparición de plagas en *Pinus teocote* Schiede. ex Schltldl. & Cham. (Pt) y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Pm).

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 *Pseudotsuga menziesii*, el IAA en la cronología total y en los últimos diez años tampoco difiere estadísticamente ($p = 0.4728$; $p = 0.7061$) entre As (0.96; 0.87) y Ai (0.99; 0.81) (Cuadro 5).

En una prueba de *t* de Student realizada con los datos del incremento acumulado del IAA después del brote se determinó que existen diferencias estadísticas ($p =$

0.0113; $p = 0.0193$) para *P. teocote* y *Pseudotsuga menziesii*, el primero con promedios en *As* y *Ai* de 1.75 y 1.49; 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 sí hay impacto de los insectos descortezadores en el crecimiento radial de los árboles.

Cuadro 5. Resultados de la prueba de *t* de *Student* del índice del ancho de anillo en la cronología total y en los últimos 10 años en árboles sanos e infestados *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. y *Pseudotsuga menziesii*. (Mirb.) Franco.

Especie	Estado del árbol	IAA	N	D.E.	p-valor
Análisis con cronología total					
<i>Pt</i> (Coah.)	Sano	0.98	140	0.412	0.8912
	Infestado	0.99	124	0.342	
<i>Pm</i> (N.L.)	Sano	0.96	118	0.392	0.4728
	Infestado	0.99	135	0.375	
Análisis con los últimos 10 años					
<i>Pt</i> (Coah.)	Sano	0.85	10	0.4947	0.9360
	Infestado	0.87	10	0.4009	
<i>Pm</i> (N.L.)	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 (mm año^{-1}); N = Número de muestras; D.E. = Desviación estándar.

En la Figura 3A 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 de 1950 - 1953, 1955 - 1958; en estos tiempos ocurrió lo mismo con el IAA en *As* y *Ai* de *P. menziesii* de hasta 45 % (Figura 3C), y en 2011 se registró dicho comportamiento de hasta 50 % en los dos taxa de interés (Figuras 3B y 3D). En estudios de reconstrucción de precipitación para el sureste de Coahuila y norte del país (Cerano *et al.*, 2011; Villanueva *et al.*, 2009), se identificaron los periodos de sequía siguientes: 1890-1902, 1916-1933, 1951-1963, 1970-1985 y de 1994 en adelante, lo que coincide con los lapsos de reducción del IAA en *As* y *Ai* en ambas especies.

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 3B). En contraste, en *Pseudotsuga menziesii*, en la que los árboles sanos experimentaron una reducción menor en el IAA en comparación con los infestados, con diferencias de 6.3, 11.6, 11.4, 15.7 y 24.2 en los años 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015, respectivamente (Figura 3D), se verifica una respuesta positiva ante el ataque de insectos descortezadores para el pino y negativa para el abeto.



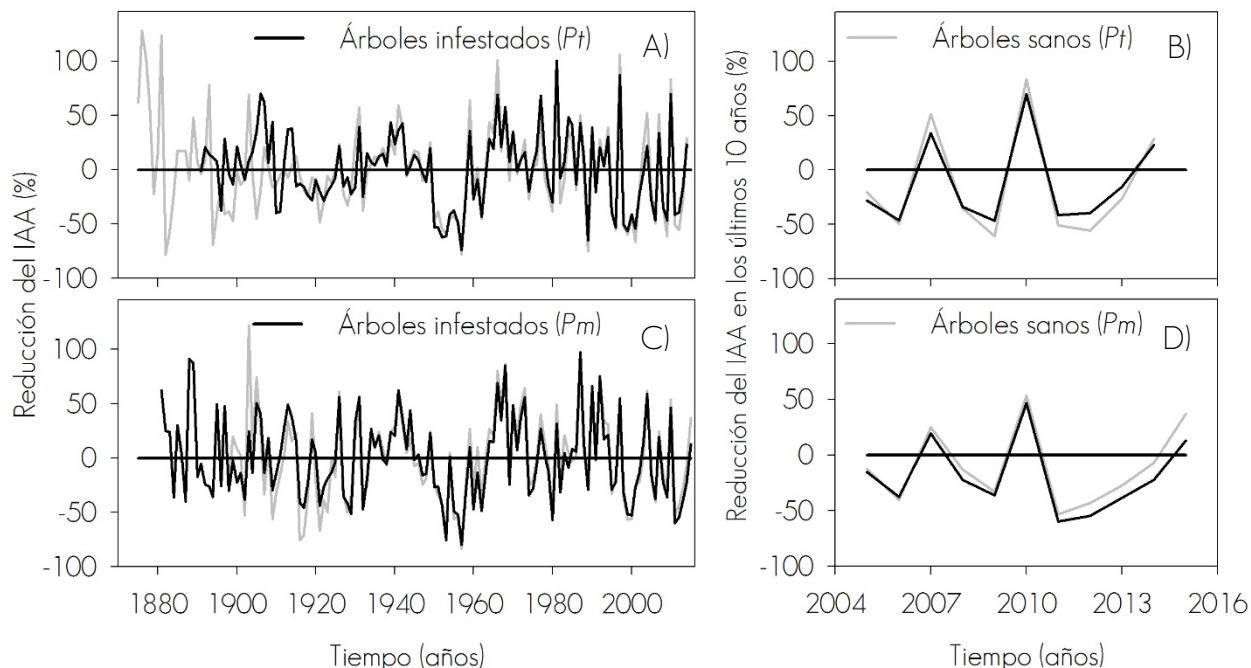


Figura 3. Porcentaje de reducción del índice del ancho de anillo en la cronología total (A - B) y últimos diez años (C - D) en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. (*Pt*) y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (*Pm*).

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

El modelo de crecimiento de *Schumacher* ajustado al área basal de A_s y A_i en forma individual dio como resultado alta significancia estadística ($p < 0.0001$) en las dos especies forestales (Cuadro 6). El AB de los A_i de *Pseudotsuga menziesii* es el que mostró el mejor ajuste con valor de $R_{aj}^2 = 0.8545$; por el contrario, los A_i de *Pinus teocote* presentaron el menor ajuste ($R_{aj}^2 = 0.7015$). El análisis de lo anterior evidencia que la mayor variación en AB se observa en los A_i del pino, mientras que la más pequeña se calculó en el A_i de *Pseudotsuga menziesii*, con $CV = 44.4829$. Los resultados demuestran variaciones importantes dentro de cada especie, ya que

en *P. teocote* los As tienen menor variación (CV = 50.7667), contraria a la del abeto que ocurrió en Ai (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadístico de ajuste del modelo de crecimiento a área basal en *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

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_{aj}^2	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	< .0001	< .0001	< .0001	< .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_{aj}^2 = 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 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 4A y 4B). En *Pseudotsuga menziesii*, en As se registró un promedio de

385.9 cm² y de 352.9 cm² en *Ai*, y el incremento más grande en AB fue a los 40 años de edad con 431.5 cm² en *As* y de 375.8 cm² en *Ai* (Figuras 4C y 4D). El aumento del AB en *Ai* de la última especie es inferior con respecto al *As*; lo anterior es similar a los resultados de Rollan y Lamperiere (2004) en *Picea abies*, en la que esto sucedió en los primeros 35 años de edad con 400 cm² en árboles sanos y 350 cm² en árboles afectados por *Dendroctonus micans*.

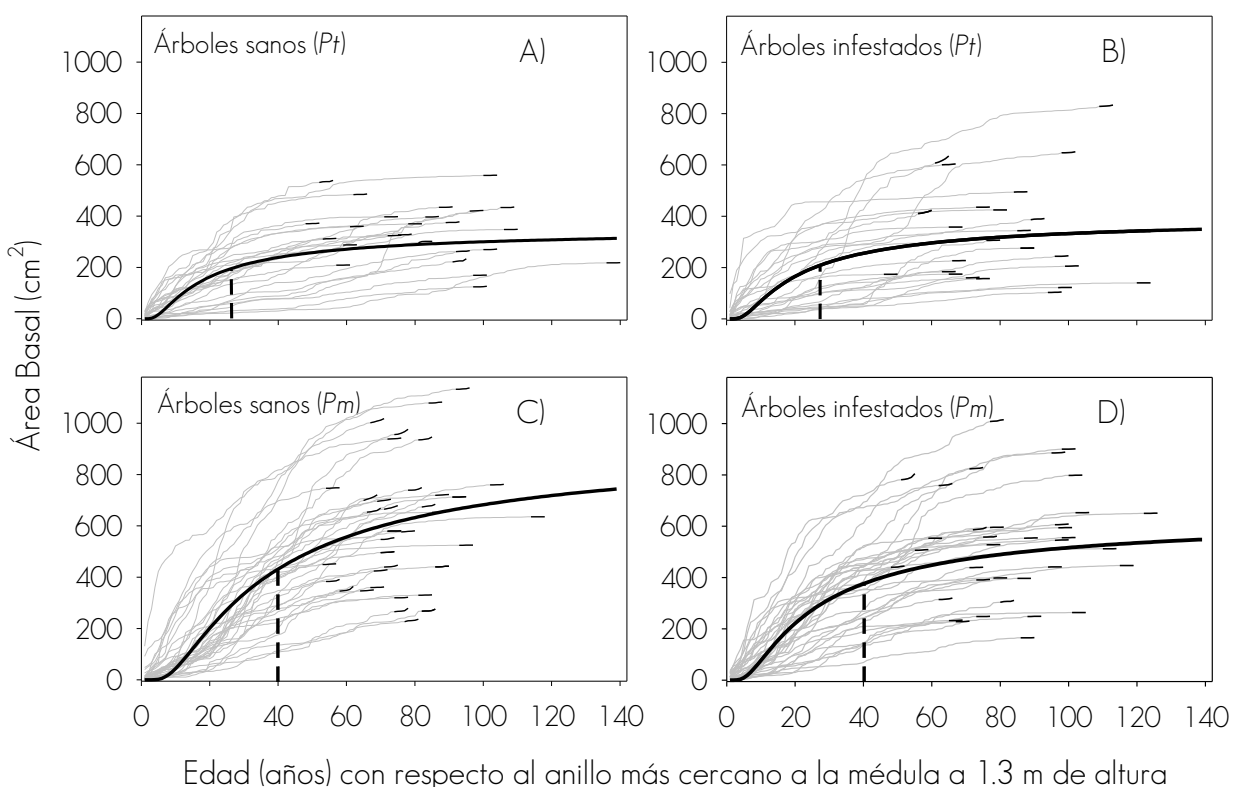


Figura 4. Área basal observada y estimada en árboles sanos (A - C) e infestados (B - D) de *Pinus teocote* Schiede. ex Schldtl. & Cham. (*Pt*) y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (*Pm*).

En las Figuras 5A y 5B se observa un mismo patrón del incremento en área basal en ambas especies, pero destacan picos por debajo del promedio. En el pino, los *As* (14.8 cm² año⁻¹) y *Ai* (14.4 cm² año⁻¹) muestran esos picos en los periodos 1952 - 1957, 1989, 1998 - 2002, 2006, 2008 - 2009, 2011 - 2012, y aunque en la cronología total el promedio es similar, después del brote de descortezadores (2011 - 2014), esas cifras varían más (9.5 cm² año⁻¹; 12.6 cm² año⁻¹) en *As* y *Ai*. En *P.*

menziesii los picos por debajo del promedio del IAB fueron en los mismos lapsos en *As* y *Ai*, con valores de 33.2 y 34.5 cm² año⁻¹ respectivamente; después del brote, se redujeron a 26.2 y 15.9 cm² año⁻¹, el último de los cuales significa una diferencia de 10.3 cm² año⁻¹ entre árboles sanos e infestados, por lo que se afirma el impacto negativo en el incremento radial de los árboles de *Pseudotsuga menziesii*.

El IAB en la cronología total y después del brote de esta última especie, es bajo comparado con los 54 cm² año⁻¹ registrados para árboles sanos dominantes de *Pseudotsuga menziesii* del estado de Chihuahua, donde la edad de los árboles varía de 67 a 240 años (Castruita-Esparza *et al.*, 2016), aunque para el presente estudio se seleccionaron árboles dominantes y codominantes.

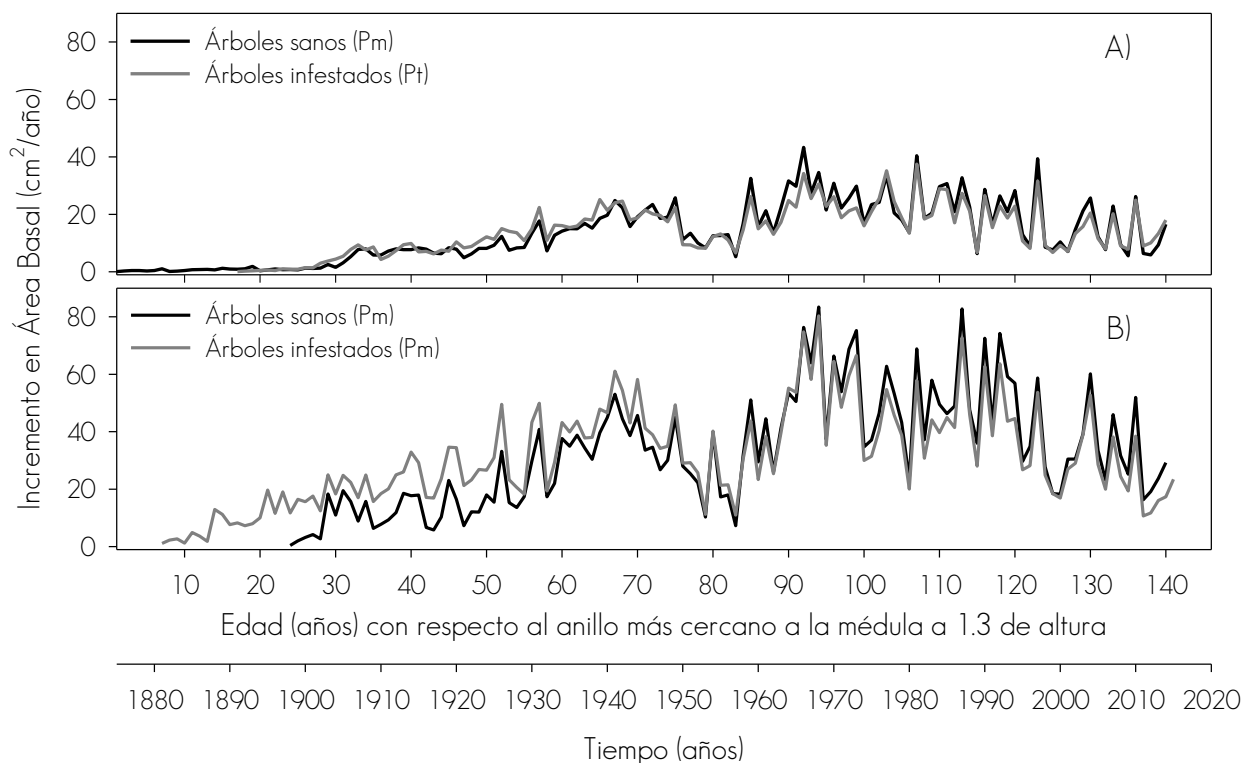


Figura 5. Incremento en área basal en función de la edad en árboles sanos e infestados de *Pinus teocote* Schiede. ex Schltdl. & Cham. (A) y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. (B).

Conclusiones

La respuesta al ataque de insectos descortezadores de las especies forestales estudiadas es diferente en cada una; el incremento radial acumulado (AA e IAA) en *Pinus teocote* después del ataque de descortezadores es superior en árboles infestados que en árboles sanos, aunque puede ser una estrategia del individuo antes de morir, mientras que en *Pseudotsuga menziesii* ocurre lo contrario.

La dendrocronología es una herramienta recomendable para calcular el índice del ancho del anillo, ya que remueve las tendencias de edad y competencia, así como factores internos y externos de la especie. La productividad de los bosques de México es afectada por insectos descortezadores y depende de la plaga, de las especies hospederas así como de la etapa de desarrollo del bosque.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento al Conacyt por la beca otorgada al primer autor para realizar sus estudios de posgrado. A la Universidad Autónoma Agraria, Antonio Narro, por todos los apoyos otorgados. El presente estudio forma parte del proyecto "Variabilidad climática e interacción con otros factores que afectan la dinámica poblacional de descortezadores en bosques amenazados de México", registro Conafor-2014, C01-234547.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución por autor

Jesús Ángel López Sánchez: trabajo de campo, laboratorio, materiales, métodos y análisis estadísticos; Jorge Méndez González: apoyo en la elaboración del

manuscrito; Alejandro Zermeño González: apoyo en la revisión y redacción del manuscrito; Julián Cerano Paredes: trabajo de laboratorio en la realización del análisis dendrocronológico; Mario Alberto García Aranda: trabajo de campo y apoyo en el análisis de los resultados.

Referencias

- Alfaro, R. I., A. J. Thomson and G. A. V. Sickle. 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* 72: 66-75.
- Arreola-Ortíz, M. R., M. González-Elisondo y J. Jesús Návar-Cháidez. C. 2010. Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México. *Madera y Bosques* 16(1): 71-84.
- Camarero, J. J. and E. Martín B. 2002. Estudio dendroecológico del ataque de *Epitonia subsequana* Hw. (Lepidoptera: Tortricidae) sobre un abetar (*Abies alba* Mill.) del Pirineo aragonés (Diazas, Torla). *Sistemas y Recursos Forestales* 11(2): 397-407.
- Castello, J. O., D. J. Leopold and P. J. Smallidge. 1995. Pathogen, patterns, and processes in forest ecosystems. *BioScience* 45(1): 16-24.
- Castruita-Esparza, L. U., A. Correa-Díaz, A. Gómez-Guerrero, J. Villanueva-Díaz, M. E, Ramírez-Guzmán, A. Velázquez-Martínez and G. Ángeles-Pérez. 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., J. Villanueva D., R. D. Valdez C., E. H. Cornejo O., I. Sánchez C. 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.

Chamberlin, W. J. 1939. The bark and timber beetles of North America and North of Mexico. Oregon State College. Corvallis, OR USA. pp. 1-513.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2015. Superficie forestal afectada por plagas y enfermedades forestales. Base de Datos Estadísticos-Badesniarn. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html?De=BADESNIARN (1 de julio de 2016).

Cook, E. R. and R. L. Holmes. 1996. Guide for computer program ARSTAN. The international tree-ring data bank program library version 2.0. University of Arizona. Tucson, AZ USA. pp. 75-87.

Del Castillo, R. F., J. A. Pérez de la R, G. Vargas A. y R. Rivera. G. 2004. Coníferas. *In: García M., A. J., M. de J. Ordóñez y M. Briones S. (eds). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Foundation. México, D.F., México. pp. 141-158.*

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 Serie Botánica* 75(2): 191-203.

Dvorak, W. S. y J. K. Donahue. 1993. Reseña de investigaciones de la cooperativa CAMCORE 1980-1992. Department of Forestry, North Carolina State University. Raleigh, NC USA. 94 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 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. Academic Press. London, New York, San Francisco. CA, USA. 567 p.
- García, E. 1973. Apuntes de climatología. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 153 p.
- Grigaliūnas, K. and P. Zolubas. 2006. Spruce radial increment and risk to *Ips typographus* L. Attacks. Baltic Forestry 12(1): 34-38.
- Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating cross dating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. Tree-Ring Research 57(2): 205-221.
- Hawkins, C. D. B, A. Dhar and N. A. Balliet. 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.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Mitigation of Climate Change. *In*: 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.). Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp: 150-205.
- Islas S., F. 1980. Observaciones sobre la biología y el combate de los escarabajos descortezadores de los pinos: *Dendroctonus adjunctus* Blf; *D. mexicanus* Hpk. y *D. frontalis* Zimm., en algunas regiones de la república mexicana. Instituto Nacional de Investigación Forestal. Boletín Técnico Núm. 66. México, D.F., México. 27 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(2): 355-365.
- Muzika, R. M. and A. M. Liebhold. 1999. Changes in radial increment of host and nonhost tree species with gypsy moth defoliation. *Canadian Journal of Forest Research* 29(9): 1365-1373.
- Rolland, C. and G. Lempériere. 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.
- Romero, N., J., S. Anaya R., A. Equihua M. y H. Mejía G. 1997. Lista de Scolytidae y Platypodidae de México (Insecta: Coleoptera). *Acta Zoológica Mexicana* 70: 35-53.
- Salinas, M., Y., C. F. Vargas M., G. Zúñiga, J. Víctor, A. Ager y J. L. Hayes. 2010. Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. Instituto Politécnico Nacional, Comisión Nacional Forestal. México, D.F., México. 90 p.
- Sánchez, M. G., L. M. Torres, I. Vázquez, E. González y R. Narváez. 2007. Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. INIFAP. CIRNOC. Libro Técnico Núm. 4. Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes, México. 107 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2014. Introducción a la programación en SAS. Studio 3.2. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 30 p.
- Schweingruber, F. H., D. Eckstein, S. F. Bachet and Bräker O.U., 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9-38.

- 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., M. A. Thompson and E. K. Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. USDA Forest Service Agriculture. Handbook Num. 639. Tucson, AZ, USA. 39 p.
- Swetnam, T. W. and A. M. Lynch. 1989. A Tree-ring reconstruction of western spruce budworm history in the southern rocky mountains. *Forest Science* 35(4): 962-986.
- 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., P. Z. Fulé, J. Cerano P., J. Estrada A. 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.
- Zhang, Q., R. I. Alfaro and R. J. Hebda. 1999. Dendroecological studies of tree growth, climate and spruce beetle outbreaks in Central British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management* 121(3): 215-225.

