

Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras (1895-2015) and their relationship with droughts

Brotos históricos de descortezadores en México, Guatemala y Honduras (1895-2015) y su relación con las sequías

Rosalinda Cervantes-Martínez¹; Julián Cerano-Paredes^{2*}; Guillermo Sánchez-Martínez³; José Villanueva-Díaz²; Gerardo Esquivel-Arriaga²; Víctor H. Cambrón-Sandoval⁴; Jorge Méndez-González⁵; Luis U. Castruita-Esparza⁶

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia, División de Estudios de Posgrado. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 32. C. P. 35000. Venecia, Durango, México.

²INIFAP CENID-RASPA. km. 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento. C. P. 35140. Gómez Palacio, Durango. México.

³INIFAP Campo Experimental Pabellón. C. P. 20670. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

⁴Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales. C. P. 76230. Querétaro, México.

⁵Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal. C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

⁶Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. C. P. 33000. Delicias, Chihuahua, México.

*Corresponding author: cerano.julian@inifap.gob.mx, tel.: +52 (871) 159 0104.

Abstract

Introduction: In the United States of America, forest pests are associated with climate variability. Such studies are scarce in Mexico.

Objectives: To create a data base of historical outbreaks of bark beetles and analyze their relationship with drought.

Materials and methods: Historical records of outbreaks of bark beetles were obtained from official documents in Mexico, Guatemala, and Honduras. Dendroclimatic indices were used as a climate proxy. The relationship between pest outbreaks and climate was analyzed with the Superpose Epoch Analysis (SEA).

Results and discussion: A database of 120 years (1895-2015) of bark beetle outbreaks was created. The most frequent species were *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, *Dendroctonus frontalis* Zimmermann and *Dendroctonus adjunctus* Blandford. A total of 106 records of outbreaks in 15 states of Mexico were recorded during the period 1903-2015; 16 outbreaks in Guatemala during the period 1895-2013, and 15 outbreaks in Honduras during the period 1962-2015. Historically, outbreaks were recorded in years with below-average precipitation (550 mm) and have increased since 1970. The SEA determined that bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras were recorded during dry years ($P < 0.05$) with non-significant positive values ($P > 0.05$) of NIÑO 3 and PDSI (Palmer Drought Severity Index) and significant negative indices ($P < 0.01$) of NIÑO 3 and PDSI in the year prior to the outbreak, conditions involving intense drought.

Conclusion: A significant relationship was determined between bark beetle outbreaks and drought conditions for the last 120 years.

Resumen

Introducción: En Estados Unidos de América, las plagas forestales se asocian a la variabilidad climática. Este tipo de estudios son escasos en México.

Objetivos: Generar una base de datos de brotes históricos de descortezadores y analizar su relación con la sequía.

Materiales y métodos: Se obtuvieron registros históricos de brotes de descortezadores de documentos oficiales en México, Guatemala, y Honduras. Como proxy del clima se emplearon índices dendroclimáticos. La relación entre los brotes de plagas y el clima se analizó con el programa *Superpose Epoch Analysis* (SEA).

Resultados y discusión: Se generó una base de datos de brotes de descortezadores de 120 años (1895-2015), siendo las especies más frecuentes *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, *Dendroctonus frontalis* Zimmermann y *Dendroctonus adjunctus* Blandford. Se documentaron 106 registros de brotes en 15 estados de la México en el periodo 1903-2015; 16 brotes en Guatemala durante el periodo 1895-2013, y 15 brotes en Honduras en el periodo 1962-2015. Históricamente, los brotes se registraron en años con precipitación por debajo de la media (550 mm) e incrementaron a partir de 1970. El SEA determinó que los brotes en México, Guatemala y Honduras se registraron durante años secos ($P < 0.05$) con valores positivos no significativos ($P > 0.05$) de NIÑO 3 y PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) e índices negativos significativos ($P < 0.01$) de NIÑO 3 y PDSI en el año previo al brote, condiciones que implican intensa sequía.

Conclusión: Para los últimos 120 años se determinó una relación significativa entre brotes de descortezadores y condiciones de sequía.

Keywords: *Dendroctonus*; conifers; climate variability; El Niño Southern Oscillation; Palmer Drought Severity Index.

Palabras clave: *Dendroctonus*; coníferas; variabilidad climática; El Niño Southern Oscillation; Palmer Drought Severity Index.

Please cite this article as follows (APA 6): Cervantes-Martínez, R., Cerano-Paredes, J., Sánchez-Martínez, G., Villanueva-Díaz, J., Esquivel-Arriaga, G., Cambrón-Sandoval, V. H., Méndez-González, J., & Castruita-Esparza, L. U. (2019). Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras (1895-2015) and their relationship with droughts. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(2), 269-290. doi: 10.5154/r.rchscfa.2019.01.006

Received: January 15, 2019 / Accepted: March 19, 2019.



Introduction

The temperate forests of the Mexican Republic form a very important forest resource both for the extraction of wood and for the production of environmental services. These ecosystems host great biological diversity of flora and fauna, regulate the hydrological cycle, conserve the soil, and participate in carbon sequestration and storage, which contributes to regulating the climate and mitigating global warming (Segura-Warnholtz, 2014). However, these communities are affected by accelerated deforestation, habitat fragmentation and reduced forest density; moreover, many wooded areas are being displaced by bushes or are intended for other land use, either agricultural or livestock (Márquez-Linares, Jurado-Ybarra, & González-Elizondo, 2006).

In recent years, productive activity has intensified globally, which has contributed to the acceleration of climate change; an increase in temperature; changes in the intensity, spatial and temporal distribution of precipitation; and an increase in more extreme hydrometeorological phenomena (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2015). Temperate forest areas are considered the most sensitive to these changes (Villers-Ruiz & Trejo-Vázquez, 2004) and, according to vegetation change projections based on climate models (González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho-González, & López-Enríquez, 2012; Villers-Ruiz & Trejo-Vázquez, 2004), this is the type of vegetation that will lose more surface.

In recent decades, the observation of droughts in the national territory has gained relevance as a result of the discovery of the strong influence of the climate phenomenon El Niño Southern Oscillation (ENSO), which causes changes in the known climate cycles (Bitrán, 2001). Decreasing precipitation and increasing temperature are factors that weaken forests, making them susceptible to pests and diseases. On the other hand, pest outbreaks are also associated with tree stress due to factors such as competition, disease, insect defoliation, age and fire (Fetting et al., 2007). In Mexico, forest pests are considered one of the main causes of disturbance in temperate forests; currently there are records of about 70 species of insects and pathogens affecting trees (SEMARNAT, 2015). Climate change is modifying the biological cycle and distribution of forest pests in boreal coniferous forests and temperate regions, increasing the vulnerability of trees (Ayres & Lombardero, 2000).

In the United States of America and Canada (Allen, 2007; Berg, Henry, Fastie, De Volder, & Matsuoka, 2006; Breshears et al., 2005) and in European countries (Kozlov, 2008; Rouault et al., 2006), studies have been conducted on the indirect relationship of the effects

Introducción

Los bosques templados de la república mexicana constituyen un recurso forestal muy importante tanto por la extracción de madera como por la producción de servicios ambientales. Estos ecosistemas albergan gran diversidad biológica de flora y fauna, regulan el ciclo hidrológico, conservan el suelo y participan en la captura y almacenamiento de carbono, lo cual contribuye a regular el clima y mitigar el calentamiento de la atmósfera (Segura-Warnholtz, 2014). No obstante, estas comunidades se ven afectadas por la deforestación acelerada, la fragmentación del hábitat y la reducción en la densidad de los bosques; además, muchas áreas boscosas están siendo desplazadas por matorrales o se destinan a otro uso de suelo, ya sea agrícola o pecuario (Márquez-Linares, Jurado-Ybarra, & González-Elizondo, 2006).

En los últimos años, la actividad productiva se ha intensificado de manera global, lo que ha contribuido al aceleramiento del cambio climático; aumento de la temperatura; cambios en la intensidad, distribución espacial y temporal de la precipitación; así como al incremento de fenómenos hidrometeorológicos más extremos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2015). Las zonas con bosque templado se consideran las más sensibles a estos cambios (Villers-Ruiz & Trejo-Vázquez, 2004) y, de acuerdo con las proyecciones de cambio de vegetación con base en modelos climáticos (González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho-González, & López-Enríquez, 2012; Villers-Ruiz & Trejo-Vázquez, 2004), es el tipo de vegetación que más superficie perderá.

En las últimas décadas, la observación de las sequías en el territorio nacional ha cobrado relevancia a raíz del descubrimiento de la fuerte influencia del fenómeno climático *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), el cual ocasiona cambios en los ciclos climáticos conocidos (Bitrán, 2001). La disminución de la precipitación e incremento de la temperatura son factores que debilitan los bosques haciéndolos susceptibles a plagas y enfermedades. Por otra parte, los brotes de plagas también se asocian al estrés al que están sometidos los árboles por factores como competencia, enfermedades, defoliación por insectos, edad e incendios (Fetting et al., 2007). En México, las plagas forestales se consideran una de las principales causas de disturbio en los bosques templados; actualmente se tiene registro de alrededor de 70 especies de insectos y patógenos que afectan el arbolado (SEMARNAT, 2015). El cambio climático está modificando el ciclo biológico y la distribución de las plagas forestales en los bosques de coníferas boreales y de regiones templadas, aumentando la vulnerabilidad de los árboles (Ayres & Lombardero, 2000).

of climate on the increase of bark beetle populations. Such studies are scarce in Mexico, a situation attributed to the lack of extensive climate information and the absence of historical records of pest outbreaks. Under such circumstances, this study proposes to generate a database of historical outbreaks of bark beetles in Mexico; analyze their historical relationship with droughts; and determine the influence of ENSO and the condition of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) on the modulation of climate condition, for the historical incidence of pest outbreaks.

Materials and methods

Historical outbreaks of bark beetles

A literature review was conducted to gather information on historical records of outbreaks of bark beetles in northern, central, and southern Mexico, and in Guatemala and Honduras (Figure 1). The information was obtained from scientific and technical articles, scientific and technical brochures, scientific and technical notes, seminars and technical reports. Information from unofficial sources was discarded.

En Estados Unidos de América y Canadá (Allen, 2007; Berg, Henry, Fastie, De Volder, & Matsuoka, 2006; Breshears et al., 2005) y en países de Europa (Kozlov, 2008; Rouault et al., 2006) se han realizado estudios sobre la relación indirecta de los efectos del clima en el incremento de las poblaciones de descortezadores. Este tipo de estudios son escasos en México, situación atribuible a la falta de información climática extensa y a la ausencia de registros históricos de brotes de plagas. Ante tales circunstancias, esta investigación plantea generar una base de datos de brotes históricos de descortezadores en México; analizar su relación histórica con las sequías; y determinar la influencia de ENSO y la condición del *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) en la modulación de la condición climática, para la incidencia histórica de brotes de plagas.

Materiales y métodos

Brotos históricos de descortezadores

Se realizó una revisión bibliográfica que permitió recopilar información sobre los registros históricos de brotes de descortezadores en la región norte,

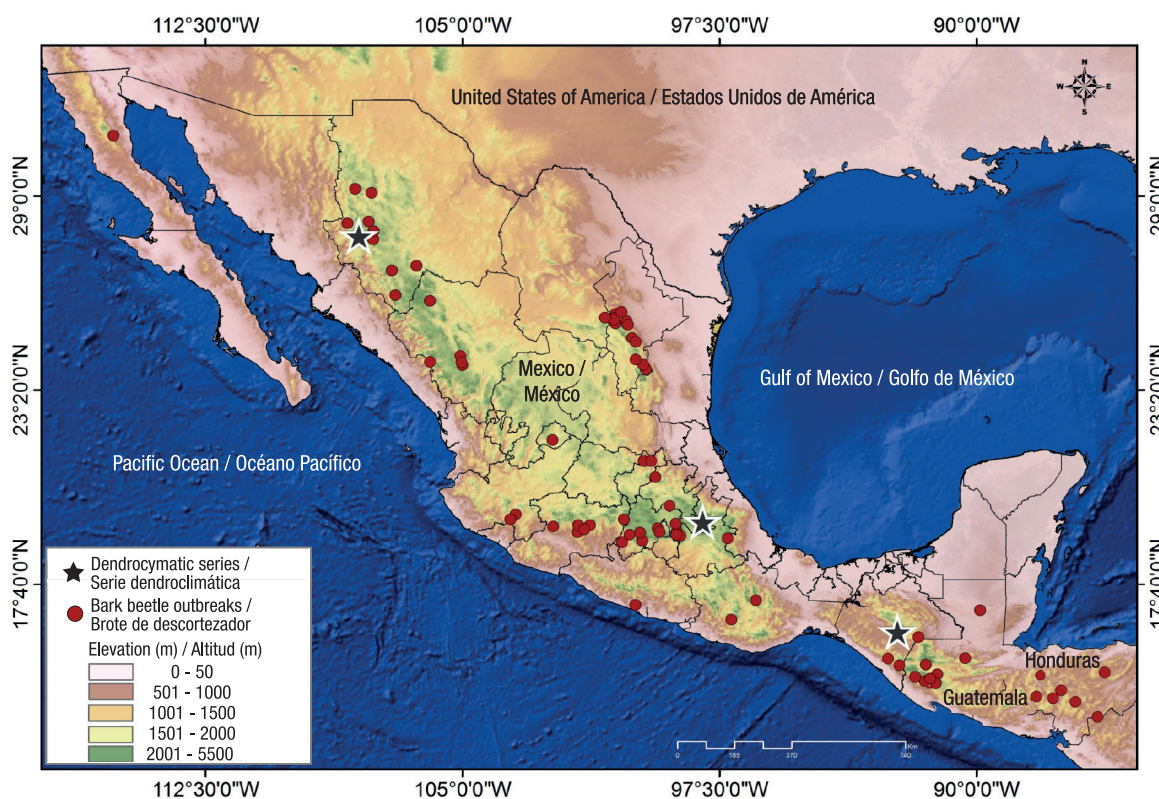


Figure 1. Geographical distribution of bark beetle outbreaks recorded in the last 120 years (1895-2015).

Figura 1. Distribución geográfica de los brotes de descortezadores registrados en los últimos 120 años (1895-2015).

A database was created including the following variables: year and place of the outbreak, genus and species of bark beetles, species of conifer affected, and reference of the person who recorded the outbreak. Historical documents reporting significant droughts in Mexico were also consulted. The following variables were used as climate proxy:

1. A reconstruction of the precipitation for the southwest of the state of Chihuahua (winter-summer) based on growth rings of *Pinus arizonica* Engelm. including the period 1850-2015.
2. Dendroclimatic indices: for the north, a chronology of *P. arizonica* which comprises the period 1647-2015; for the center, a chronology of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco which comprises the period 1720-2013; and for the south, a chronology of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. which comprises the period 1786-2015.
3. The winter index (December-February) NIÑO 3 *Sea Surface Temperature* (SST) (Cook, 2000).
4. Finally, the Palmer Drought Severity Index (PDSI) for June, July and August (JJA) for all Mexico (Stahle et al., 2016).

Data analysis

A first analysis consisted in relating, with a graphic, the historical database of outbreaks of bark beetles and the annual climate variability that characterizes the north of Mexico. Because the observed records are not extensive, winter-summer rainfall reconstruction was used for the southwestern state of Chihuahua. This analysis allowed us to see a first relationship between the outbreaks of bark beetles and droughts.

In a second phase, the relationship between the dates of the outbreaks of bark beetles per region (north, center and south of the country, this last region includes the data from Guatemala and Honduras) and the climate variability that characterizes each of the regions was analyzed statistically with the routine SEA (Superpose Epoch Analysis) of program FHX2 version 3.2 (Grissino-Mayer, 2001).

Each of the climate variables (dendroclimatic indices, NIÑO 3 index and PDSI) was analyzed separately with the bark beetle outbreaks, a procedure that consisted in comparing the climate conditions during the year of the outbreak, five years before and two years after the outbreak. To assess the statistical significance of the SEA analysis, confidence intervals (95, 99 and 99.9 %) were estimated using the “bootstrapped” distribution of climate data with 1 000 replications.

Finally, drought maps (PDSI) were generated to analyze the climate conditions prior to and during the outbreak,

centro y sur de México, y en Guatemala y Honduras (Figura 1). La información se obtuvo de artículos científicos y técnicos, folletos científicos y técnicos, notas científicas y técnicas, congresos y reportes técnicos. Se descartó la información de fuentes no oficiales.

Se creó una base de datos que contempló las siguientes variables: año y lugar del brote, género y especie de descortezador, especie de conífera afectada y referencia de quien registró el brote. Asimismo, se consultaron documentos históricos que reportan sequías importantes en México. Como *proxy* del clima se emplearon las siguientes variables:

1. Una reconstrucción de la precipitación para el suroeste del estado de Chihuahua (invierno-verano) con base en anillos de crecimiento de *Pinus arizonica* Engelm. que comprende el periodo 1850-2015.
2. Índices dendroclimáticos: para el norte, una cronología de *P. arizonica* que comprende el periodo 1647-2015; para el centro, una cronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco que comprende el periodo 1720-2013; y para el sur, una cronología de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. que comprende el periodo 1786-2015.
3. El índice invernal (diciembre-febrero) NIÑO 3 *Sea Surface Temperature* (SST) (Cook, 2000).
4. Finalmente, el *Palmer Drought Severity Index* (PDSI) de los meses junio, julio y agosto (JJA) para todo México (Stahle et al., 2016).

Análisis de datos

Un primer análisis consistió en relacionar, de manera gráfica, la base de datos histórica de brotes de descortezadores y la variabilidad climática anual que caracteriza al norte de México. Dado que los registros observados no son extensos, se empleó la reconstrucción de precipitación invierno-verano para el suroeste del estado de Chihuahua. Este análisis permitió observar una primera relación entre los brotes de descortezadores y las sequías.

En una segunda fase, la relación entre las fechas de brotes de descortezadores por región (norte, centro y sur del país, esta última región contempla los datos de Guatemala y Honduras) y la variabilidad climática que caracteriza a cada una de las regiones se analizó de manera estadística con la rutina SEA (*Superpose Epoch Analysis*) del programa FHX2 versión 3.2 (Grissino-Mayer, 2001). Cada una de las variables climáticas (índices dendroclimáticos, índice NIÑO 3 y PDSI) se analizaron por separado con los brotes de descortezadores, procedimiento que consistió en comparar las condiciones climáticas existentes durante el año del brote, cinco años previos y dos años posteriores al mismo. Para evaluar la significancia estadística del

using The Mexican Drought Atlas (MXDA) (Stahle et al., 2016).

Results and discussion

Historical records of bark beetle outbreaks

It was possible to compile a database of 106 records of bark beetle outbreaks in 15 states of Mexico, distributed in the north, center and south of the country during the period 1903-2015 (Figure 1; Appendix 1), where *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, *Dendroctonus frontalis* Zimmermann and *Dendroctonus adjunctus* Blandford were the most frequent species. Guatemala recorded 16 events during the period 1895-2013, *D. frontalis* and *D. adjunctus* were the most important species; and Honduras recorded 15 outbreaks of *D. frontalis* during the period 1962-2015 (Figure 1; Appendix 1).

The history of bark beetles outbreak in Mexico is 113 years (1903-2015) (Figure 2b). The lack of information on bark beetle infestations prior to 1900 and scarce records prior to the 1970s are attributed to the fact that, for these periods, the true magnitude, location, and characterization of the pest were not yet defined.

Relationship between pest outbreaks and droughts

Figure 2 shows with a graphic the relationship between bark beetle outbreaks and droughts in the study area. Outbreaks have been historically recorded in years with below-average precipitation (550 mm) (Figure 2a). During the last 40 years (1972-2012), the number of bark beetle outbreaks increased throughout Mexico, which is associated with very severe droughts. In the 1990s, the number of outbreaks increased from 1996, with 1999 being the year with the greatest impact. In the first decade of the 21st century, the presence of bark beetle outbreaks worsened in 2000, 2001, 2002, 2009, 2011 and 2012 (Figure 2b).

Each of the periods reported with the highest incidence of outbreaks, from the 1970s to the first decade of the 21st century, synchronize with droughts documented in dendroclimatic reconstructions in northern and central Mexico (Cerano-Paredes et al., 2009; Cleaveland, Stahle, Therrell, Villanueva, & Burns, 2003; Therrell, Stahle, Cleaveland, & Villanueva-Díaz, 2002; Villanueva, Fulé, Cerano, Estrada, & Sánchez, 2009).

One of the periods with intense drought throughout the country is that of the mid-twentieth century (Cerano-Paredes, Villanueva-Díaz, Valdez-Cepeda, Méndez-González, & Constante-García, 2011; Stahle et al., 2009), as an extreme drought occurred in the 1950s that impacted Mexico and much of the southwestern United States of America (Florescano, 1980); however,

análisis SEA, los intervalos de confianza (95, 99 y 99.9 %) se calcularon utilizando la distribución “bootstrapped” de los datos climáticos con 1 000 repeticiones.

Finalmente, se generaron mapas de sequía (PDSI) con el fin de analizar las condiciones climáticas previas y durante el brote, para esto se empleó *The Mexican Drought Atlas* (MXDA) (Stahle et al., 2016).

Resultados y discusión

Registros históricos de brotes de descortezadores

Se logró copilar una base de datos de 106 registros de brotes de descortezadores en 15 estados de la república, distribuidos en el norte, centro y sur del país en el periodo 1903-2015 (Figura 1; Apéndice 1), siendo las especies más frecuentes *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, *Dendroctonus frontalis* Zimmermann y *Dendroctonus adjunctus* Blandford. En Guatemala se registraron 16 eventos durante el periodo 1895-2013, sobresaliendo *D. frontalis* y *D. adjunctus*; y en Honduras, 15 brotes de *D. frontalis* en el periodo 1962-2015 (Figura 1; Apéndice 1).

La historia de brotes de descortezadores en México es de 113 años (1903-2015) (Figura 2b). La falta de información sobre infestaciones de descortezadores antes de 1900 y los registros escasos antes de la década de 1970, se atribuye a que, para estos periodos, aún no se precisaba la verdadera magnitud, ubicación y caracterización de la plaga.

Relación entre brotes de plagas y sequías

La Figura 2 muestra gráficamente la relación entre los brotes de descortezadores y las sequías en el área de estudio. Los brotes se han registrado históricamente en años con precipitaciones por debajo de la media (550 mm) (Figura 2a). Durante los últimos 40 años (1972-2012), el registro de brotes de descortezadores incrementó en todo México, lo cual se asocia a sequías muy severas. En la década de 1990, el número de brotes incrementó a partir de 1996, siendo 1999 el año con mayor afectación. En la primera década del siglo XXI, la presencia de brotes de descortezadores se agudizó en los años 2000, 2001, 2002, 2009, 2011 y 2012 (Figura 2b).

Cada uno de los periodos reportados con mayor incidencia de brotes, a partir de la década de 1970 y hasta la primera década del siglo XXI, sincronizan con sequías documentadas en reconstrucciones dendroclimáticas en el norte y centro de México (Cerano-Paredes et al., 2009; Cleaveland, Stahle, Therrell, Villanueva, & Burns, 2003; Therrell, Stahle, Cleaveland, & Villanueva-Díaz, 2002; Villanueva, Fulé, Cerano, Estrada, & Sánchez, 2009).

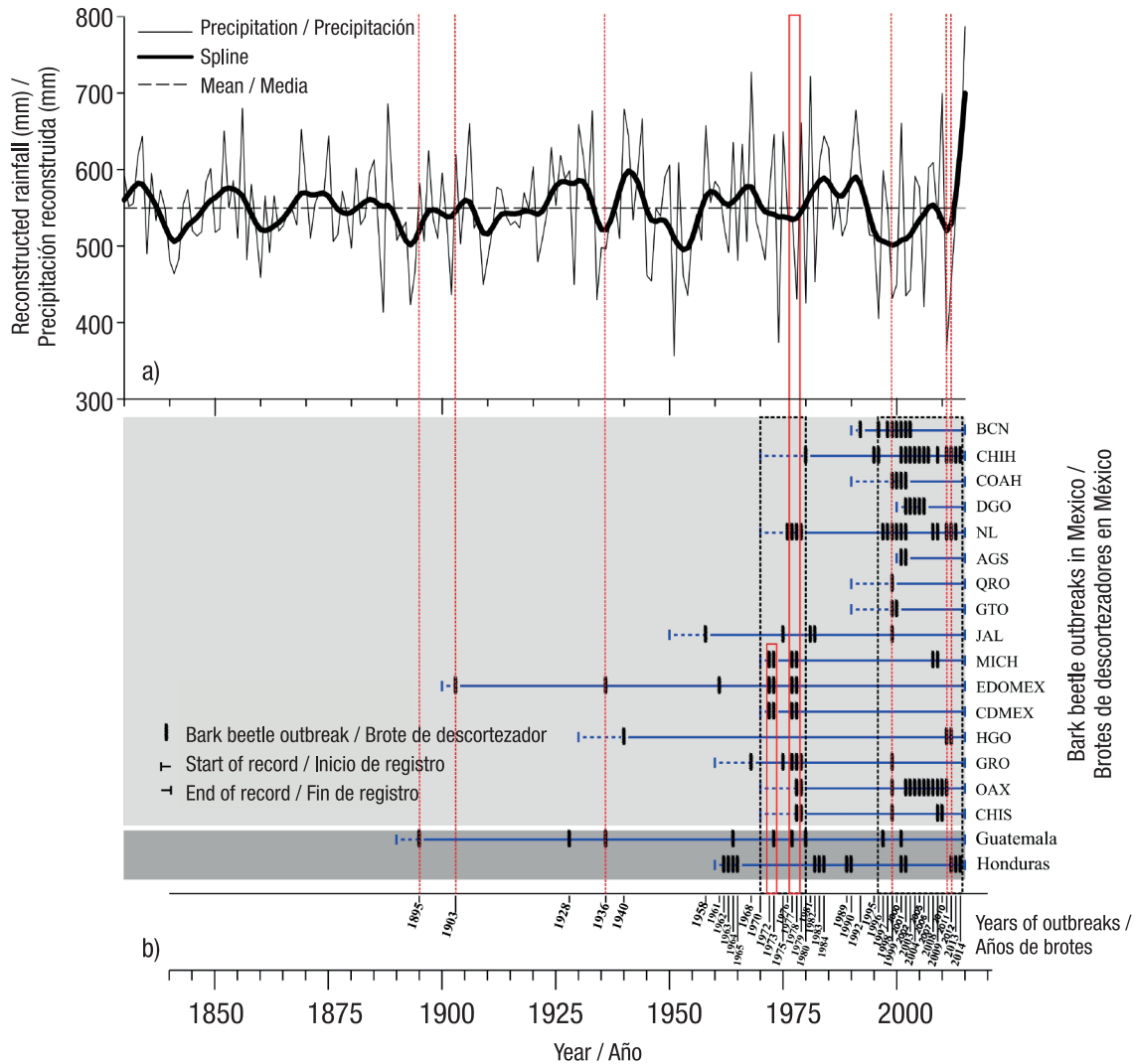


Figure 2. Record of bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras. (a) Reconstructed winter-summer precipitation for southwestern Chihuahua; the gray bottom line represents annual variability, the black line is a flexible 10-year scale curve for analyzing dry and wet events, and the dotted horizontal line indicates regional average precipitation. Historical outbreaks of bark beetles. Horizontal lines represent states and black vertical bars indicate years of outbreaks; as the line becomes continuous it indicates outbreaks on a larger geographic scale. Vertical red lines show the relationship between the frequency of pest outbreaks and below-average precipitation (droughts).

Figura 2. Historia de brotes de descortezadores en México, Guatemala y Honduras. (a) Precipitación reconstruida invierno-verano para el suroeste de Chihuahua; la línea gris de fondo representa la variabilidad anual, la de color negro es una curva flexible con escala de 10 años para analizar eventos secos y húmedos, y la línea horizontal punteada indica la precipitación promedio regional. (b) Brotes históricos de descortezadores. Las líneas horizontales representan los estados y las barras verticales en color negro indican los años de brotes; a medida que la línea se torna continua indica brotes en una escala geográfica mayor. Las líneas verticales en color rojo permiten visualizar la relación entre la frecuencia de los brotes de plagas y la precipitación por debajo del promedio (sequías).

no reports were found for this period that indicate pest outbreaks in Mexico (Figure 2). This lack of information is attributed to the fact that, in 1950, the importance of forest pests was still not properly documented, either due to lack of vigilance, lack of knowledge or simply because large forest stands were not yet affected;

Uno de los periodos de intensa sequía en todo el país es el de mediados del siglo XX (Cerano-Paredes, Villanueva-Díaz, Valdez-Cepeda, Méndez-González, & Constante-García, 2011; Stahle et al., 2009). La década de 1950 se considera como sequía extrema que impactó a México y gran parte del suroeste de Estados Unidos de América

infestations by bark beetles began to attract attention in the 1960s (Islas-Salas, 1980).

During the 1970s, reports of forests affected by bark beetles increased, a situation that prompted addressing the problem and proceeding with the study and control of the pest (Islas-Salas, 1980). This is attributed to the fact that, from 1970 to the beginning of the 1980s, intense droughts were documented for Mexico in which the droughts recorded in 1971, 1972, 1974, 1975, 1976 and 1977 stand out. The droughts of 1974 and 1975 were recorded throughout the Americas, while the drought of 1977 is classified as extremely severe (Florescano, 1980). Historical reconstructions of precipitation variability throughout the country have reported these same periods with significant decreases in precipitation (Cardoza-Martínez et al., 2014; Cerano-Paredes et al., 2009, 2014; Cleaveland et al., 2003; Stahle et al., 2016; Villanueva et al., 2009).

For the last decade of the 20th century (1994 to 2000) and the years 2001 to 2003, 2006, 2009, 2011 and 2012 of the 21st century, both the observed records of weather stations (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], 2009) and the dendroclimatic reconstructions for northern and central Mexico (Cardoza-Martínez et al., 2014; Cerano-Paredes et al., 2009, 2014; Villanueva et al., 2009) detected high-intensity droughts. This is in accordance with the records of outbreaks of bark beetles reported in recent decades in coniferous forests of North and Central America; high temperatures combined with drought, together with factors such as logging and forest fires, have contributed to generating a higher incidence of bark beetle outbreaks, whose damage has increased, particularly since 2000 (Moore & Allard, 2009).

Pest outbreaks-climate variability

The SEA between bark beetle outbreaks and climate indices indicates that documented pest outbreaks in the regions of Mexico, Guatemala, and Honduras have historically been recorded during significantly dry years ($P < 0.05$) and with index values below average (dry) from five, four, and two years prior to the outbreak to the north, center, and south of the country, respectively (Figure 3).

Below-average climate conditions during previous years cause trees to weaken, making them susceptible to attack. The direct effects of warm temperatures on the reproductive capacity of bark beetles generate the ideal conditions for an outbreak (Bentz et al., 2010; Brunelle, Rehfeldt, Bentz, & Munson, 2008). The results obtained coincide with what has been reported by several authors (Breshears et al., 2005; Islas-Salas, 1980; Negrón, McMillin, Anhold, & Coulson, 2009; Raffa,

Florescano, 1980); sin embargo, para este periodo no se encontraron reportes que indiquen brotes de plagas en México (Figura 2). Esta falta de información se atribuye a que, en 1950, la importancia de las plagas forestales aún no era debidamente documentada, ya sea por falta de vigilancia, de conocimiento o simplemente por no existir todavía grandes masas forestales afectadas; las infestaciones por descortezadores empezaron a llamar la atención hacia la década de 1960 (Islas-Salas, 1980).

Durante la década de 1970, los reportes de bosques afectados por descortezadores incrementaron; situación que motivó a que se atendiera el problema y se determinara proceder al estudio y combate de la plaga (Islas-Salas, 1980). Lo anterior se atribuye a que, de 1970 a inicio de la década de 1980, se documentaron intensas sequías para México en las que sobresalen las registradas en 1971, 1972, 1974, 1975, 1976 y 1977. Las sequías de 1974 y 1975 se registraron en todo el continente americano, mientras que la de 1977 está clasificada como sequía extremadamente severa (Florescano, 1980). Las reconstrucciones históricas de la variabilidad de la precipitación a lo largo del país han reportado estos mismos periodos con disminuciones significativas en la precipitación (Cardoza-Martínez et al., 2014; Cerano-Paredes et al., 2009, 2014; Cleaveland et al., 2003; Stahle et al., 2016; Villanueva et al., 2009).

Para la última década del siglo XX (1994 al 2000) y los años 2001 a 2003, 2006, 2009, 2011 y 2012 del siglo XXI, tanto los registros observados de estaciones climáticas (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA], 2009) como las reconstrucciones dendroclimáticas para el norte y centro de México (Cardoza-Martínez et al., 2014; Cerano-Paredes et al., 2009, 2014; Villanueva et al., 2009), detectaron sequías de alta intensidad. Lo anterior concuerda con los registros de brotes de descortezadores reportados en las últimas décadas en los bosques de coníferas de Norte y Centro América; las altas temperaturas combinadas con la sequía, aunado a factores como la tala y los incendios forestales, han contribuido a generar mayor incidencia de los brotes de descortezadores, cuyos daños han incrementado, particularmente a partir del año 2000 (Moore & Allard, 2009).

Brotes de plagas-variabilidad climática

El SEA entre los brotes de descortezadores y los índices climáticos indica que los brotes de plagas documentados en las regiones de México, Guatemala y Honduras, históricamente, se registraron durante años significativamente secos ($P < 0.05$) y con valores de índices por debajo de la media (secos) desde cinco, cuatro y dos años previos al brote, para el norte, centro, y sur del país, respectivamente (Figura 3).

Aukema, Erbilgin, Klepzig, & Wallin, 2005; Williams et al., 2013), who point out that drought events are an important factor for an imbalance; in the particular case of bark beetles, the population increases under these conditions. Also Mattson and Haack (1987) mention that droughts lead to bark beetle outbreaks by creating a more favorable thermal environment; plants stressed by drought are more attractive and physiologically susceptible to these insects, by negatively influencing resin production mechanisms in conifers, their main means of defense. The probability of a successful attack increases under drought conditions, also because it

Las condiciones climáticas por debajo de la media, durante los años previos, propician que los árboles se debiliten haciéndolos susceptibles al ataque. Los efectos directos de las temperaturas cálidas en la capacidad reproductiva de los descortezadores generan las condiciones idóneas para la proliferación de un brote (Bentz et al., 2010; Brunelle, Rehfeldt, Bentz, & Munson, 2008). Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por varios autores (Breshears et al., 2005; Islas-Salas, 1980; Negrón, McMillin, Anhold, & Coulson, 2009; Raffa, Aukema, Erbilgin, Klepzig, & Wallin, 2005; Williams et al., 2013), quienes señalan que los eventos de sequía son

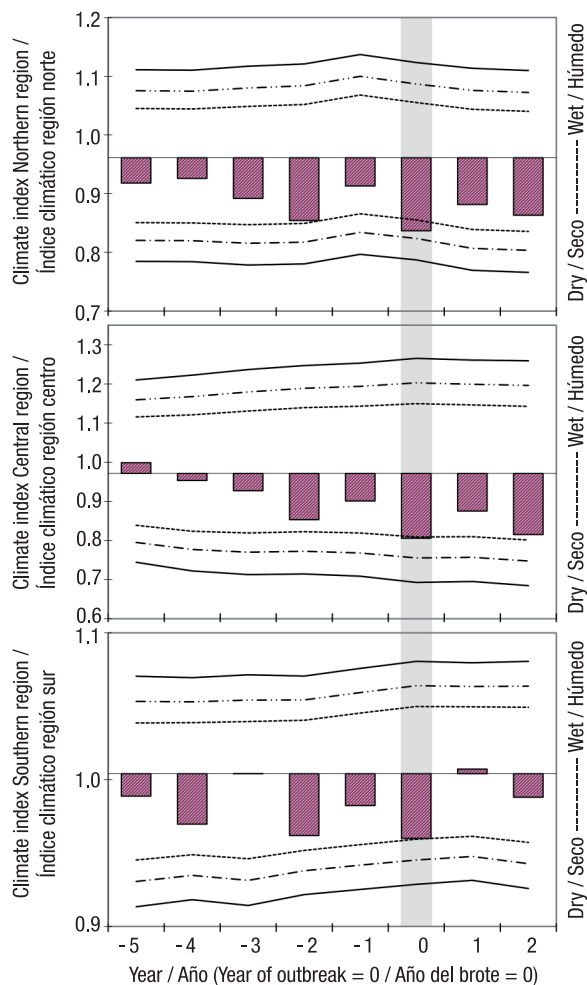


Figure 3. Relationship between historical pest outbreaks and regional climate variability (north, center and south) in Mexico, through the SEA (Superpose Epoch Analysis) of the program FHX2. The southern region also includes data from Guatemala and Honduras. The year of the outbreak is indicated by 0, climate conditions five years before the outbreak (negative values) and two years after the outbreak (positive values). The top and bottom three lines represent the 95 %, 99 % and 99.9 % confidence intervals. The shaded bar indicates the climate index values (statistically significant drought) during the years of bark beetle outbreaks in the study area.

Figura 3. Relación entre los brotes históricos de plagas y la variabilidad del clima regional (norte, centro y sur) en México, mediante el SEA (Superpose Epoch Analysis) del programa FHX2. La región sur también contempla los datos de Guatemala y Honduras. El año del brote está indicado por el 0, condiciones climáticas cinco años antes del brote (valores negativos) y dos años después del brote (valores positivos). Las tres líneas superiores e inferiores representan los intervalos de confianza al 95 %, 99 % y 99.9 %. La barra sombreada señala los valores del índice climático (sequía estadísticamente significativa) durante los años de brotes de descortezadores en el área de estudio.

favors the reduction of carbon assimilation and water transport, affecting the capacity of the tree to produce non-structural carbohydrates and mobilize secondary metabolites for the production of defenses (Safranyik & Carroll, 2006).

Pest outbreaks-ENSO-PDSI

Figure 4 shows the SEA between the bark beetle outbreaks and the ENSO and PDSI climate indices. Outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras have historically been recorded in years with non-significant positive indices ($P > 0.05$) of NIÑO 3 and PDSI, after highly significant drought conditions ($P < 0.01$) in the previous year and with negative indices of NIÑO 3 and PDSI.

un factor importante para que exista un desequilibrio, en el caso particular de los descortezadores, la población incrementa bajo estas condiciones. También Mattson y Haack (1987) mencionan que las sequías propician los brotes de descortezadores al crear un ambiente térmico más favorable; las plantas estresadas por sequía son más atractivas y fisiológicamente susceptibles para estos insectos, al influir negativamente en los mecanismos de producción de resina en las coníferas, su principal medio de defensa. La probabilidad de un ataque exitoso aumenta en condiciones de sequía, debido también a que favorece la reducción de la asimilación de carbono y el transporte de agua, afectando la capacidad del árbol para producir hidratos de carbono no estructurales y movilizar metabolitos secundarios para la producción de defensas (Safranyik & Carroll, 2006).

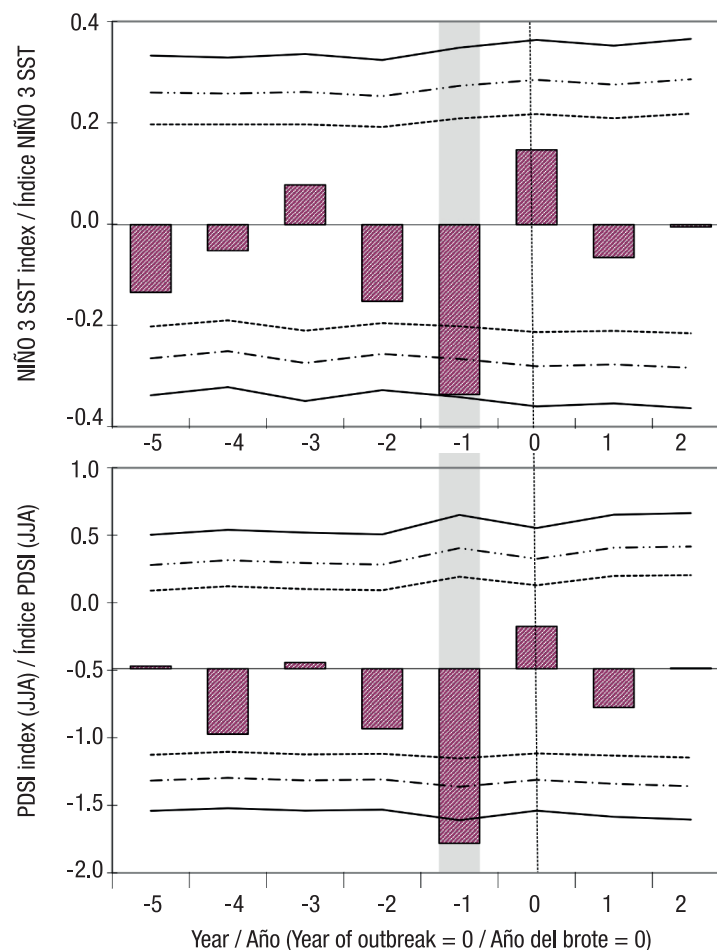


Figure 4. SEA (Superpose Epoch Analysis) between the historical outbreaks of bark beetles and el NIÑO 3 SST (Sea Surface Temperature) and PDSI (Palmer Drought Severity Index) for the months of June, July and August (JJA). The shaded bar shows the statistically significant drought conditions (negative indices) one year prior (-1) to the bark beetle outbreaks. The dotted line indicates the year of the outbreak under non-significant positive index conditions.

Figura 4. SEA (Superpose Epoch Analysis) entre los brotes históricos de descortezadores e índices el NIÑO 3 SST (Sea Surface Temperature) y PDSI (Palmer Drought Severity Index) de los meses junio, julio y agosto (JJA). La barra sombreada muestra las condiciones de sequía (índices negativos) estadísticamente significativas un año previo (-1) a los brotes de descortezadores. La línea punteada indica el año del brote ante condiciones positivas no significativas de los índices.

Mexico is highly vulnerable to extreme climate events, especially in mid-latitudes and subtropical areas (Martínez-Austria & Patiño-Gómez, 2012). The climate phenomenon known as ENSO is one of the most important circulatory atmospheric patterns that affect the climate variability of the country and is directly related to the occurrence of droughts (Magaña, Vásquez, Pérez, & Pérez, 2003). Since the 21st century, bark beetle outbreaks have increased in frequency, severity and extent (Raffa et al., 2008). The climate variability in the last decades has been pointed out as one of the causes of the recent increase in the outbreaks of bark beetles in the United States and Canada (Hicke, Logan, Powell, & Ojima, 2006; Thomson, 2009). In Honduras, the degree of aggressiveness and intensity of bark beetles in recent years has been influenced by the presence of ENSO, which has produced prolonged drought events (Comisionado Nacional de los Derechos Humanos [CONADEH], 2016).

Outbreaks of many bark beetle species are occurring simultaneously throughout western North America. The variety of factors involved is diverse, with drought-induced changes in host susceptibility (Breshears et al., 2005), management practices (Keane, 2001), and the direct effects of warm temperatures on beetle reproductive capacity (Berg et al., 2006).

Unexpected changes in climate conditions have a direct influence on bark beetle outbreaks (Brunelle et al., 2008). Drought conditions for one or two consecutive years lead to a state of physiological stress on trees, making them more susceptible to bark beetle attack and causing epidemic outbreaks on a wide geographic scale (Figures 4 and 5). A documented example is El Niño of 1998 which represents one of the driest years of the 1990s, in which a large number of fires were recorded in the forests of Mexico. The report of fires that occurred in 1998 exceeded the forecasts of the institutions in charge of fire prevention and firefighting in the national territory (Bitrán, 2001). Both variables, drought and fires caused stress in plants, an attractive and physiologically condition for bark beetles (Mattson & Haack, 1987). This disturbance favored the development of a large number of bark beetle outbreaks in 1999, from the north to the south of Mexico (Sánchez-Salas & Torres-Espinosa, 2007). Like this event, in 1895 and 1972 a similar behavior was determined; in other words, extreme drought conditions modulated by ENSO (negative values of PDSI), previous to the important outbreaks of bark beetles (Figure 5).

In Mexico, it has been documented that the growth of conifers is regulated and limited by water availability (Cardoza-Martínez et al., 2014; Cerano-Paredes et al., 2014; Chávez-Gándara et al., 2017; Villanueva et al.,

Brotos de plagas-ENSO-PDSI

La Figura 4 muestra el SEA entre los brotes de descortezadores y los índices climáticos de ENSO y PDSI. Los brotes en México, Guatemala y Honduras se han registrado históricamente en años con índices positivos no significativos ($P > 0.05$) de NIÑO 3 y de PDSI, después de condiciones de sequía altamente significativa ($P < 0.01$) en el año previo y con índices negativos de NIÑO 3 y de PDSI.

México es altamente vulnerable a los fenómenos climáticos extremos, sobre todo en latitudes medias y zonas subtropicales (Martínez-Austria & Patiño-Gómez, 2012). El fenómeno climático conocido como ENSO es uno de los patrones atmosféricos circulatorios más importantes que afectan la variabilidad climática del país y se relaciona directamente con la ocurrencia de sequías (Magaña, Vásquez, Pérez, & Pérez, 2003). A partir del siglo XXI, los brotes de descortezadores han incrementado, aumentando en frecuencia, gravedad y extensión (Raffa et al., 2008). La variabilidad climática en las últimas décadas ha sido señalada como una de las causas del incremento reciente de los brotes de descortezadores en Estados Unidos y Canadá (Hicke, Logan, Powell, & Ojima, 2006; Thomson, 2009). En Honduras, el grado de agresividad e intensidad de los descortezadores en los últimos años se ha visto influenciado por la presencia de ENSO, que ha producido eventos prolongados de sequía (Comisionado Nacional de los Derechos Humanos [CONADEH], 2016).

Los brotes de muchas especies de descortezadores se están manifestando simultáneamente en todo el oeste de América del Norte. La variedad de factores implicados es diversa, sobresaliendo los cambios inducidos por la sequía en la susceptibilidad del huésped (Breshears et al., 2005), prácticas de manejo (Keane, 2001) y los efectos directos de las temperaturas cálidas sobre la capacidad reproductiva de los escarabajos (Berg et al., 2006).

Los cambios abruptos en las condiciones de clima tienen influencia directa en los brotes de descortezadores (Brunelle et al., 2008). Las condiciones de sequía durante uno o dos años consecutivos propician un estado de estrés fisiológico de los árboles, haciéndolos más susceptibles al ataque de descortezadores y originando brotes epidémicos en una escala geográfica amplia (Figuras 4 y 5). Un ejemplo documentado es El Niño de 1998 que representa uno de los años más secos de la década de 1990, en el cual se registró un gran número de incendios en los bosques de México. El reporte de incendios ocurridos en 1998 sobrepasó la previsión de las instituciones encargadas de la prevención y el combate de incendios en el territorio nacional (Bitrán, 2001). Ambas variables, sequía e incendios propiciaron estrés

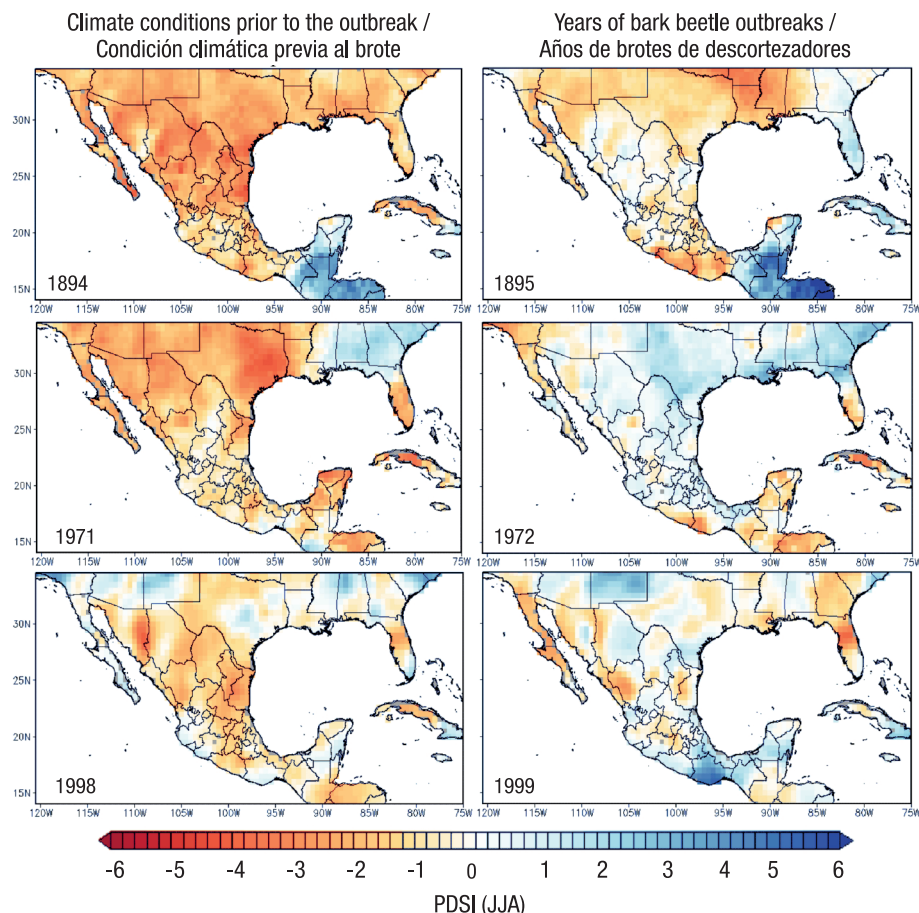


Figure 5. Drought maps created with the Mexican Drought Atlas (Stahle et al., 2016) available at <http://drought.memphis.edu/MXDA/>. The values on the -6 scale indicate the most severe drought condition and 6 the most humid condition. PDSI: Palmer Drought Severity Index for June, July and August (JJA).

Figura 5. Mapas de sequías generados empleando el *Mexican Drought Atlas* (Stahle et al., 2016) disponible en <http://drought.memphis.edu/MXDA/>. Los valores de la escala -6 indican la condición más severa de sequía y 6 la condición de mayor humedad. PDSI: *Palmer Drought Severity Index* de los meses junio, julio y agosto (JJA).

2009); therefore, when important decreases in rainfall are recorded, trees weaken and are more susceptible to bark beetle attack. Regarding these results and the report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) that projects greater drought as a consequence of the decrease in precipitation and increase in temperature, periods of drought and greater risk for forests can be inferred in the face of an increase in bark beetle outbreaks.

Conclusions

Climate is a factor that modulates the increase in bark beetle populations. In the face of climatic scenarios that project a condition of greater drought, it is evident that pest outbreaks can be magnified. Because of this, it is necessary to take appropriate precautions in forests that are susceptible to demographic pressure and those that have very dense conditions, mainly when there are one to two consecutive years of

en las plantas, condición atractiva y fisiológicamente adecuada para los descortezadores (Mattson & Haack, 1987). Este disturbio favoreció el desarrollo de un gran número de brotes de descortezadores en 1999, desde el norte hasta el sur de México (Sánchez-Salas & Torres-Espinosa, 2007). Al igual que este evento, en los años 1895 y 1972 se determinó un comportamiento similar; es decir, condiciones extremas de sequía moduladas por ENSO (valores negativos de PDSI), previas a los brotes importantes de descortezadores (Figura 5).

En México se ha documentado que el crecimiento de las coníferas está regulado y limitado por la disponibilidad hídrica (Cardoza-Martínez et al., 2014; Cerano-Paredes et al., 2014; Chávez-Gándara et al., 2017; Villanueva et al., 2009); por lo tanto, al registrarse disminuciones importantes en las lluvias, los árboles se debilitan y son más susceptibles al ataque de insectos descortezadores. Considerando estos resultados y el reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC,

droughts. Likewise, it is important to monitor forests after fires, since there is a direct relationship with the presence of pest outbreaks after a fire attributed to the physiological stress to which trees are subjected. Understanding ENSO's influence on inter-annual and multiannual climate variability and determining drought indices can contribute to establishing preventive measures to minimize the impact of bark beetles on Mexican forests.

Acknowledgements

This study was made possible thanks to CONAFOR-CONACYT funding through the project "Climate variability and interaction with other factors affecting the population dynamics of bark beetles in threatened forests in Mexico" with record CONAFOR-2014, C01-234547. We also thank the anonymous reviewers for their comments and suggestions that contributed to improving this document.

End of English version

References / Referencias

- Allen, C. D. (2007). Interactions across spatial scales among forest dieback, fire, and erosion in northern New Mexico landscapes. *Ecosystems*, 10(5), 797–808. doi: 10.1007/s10021-007-9057-4
- Ayres, M. P., & Lombardero, M. J. (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science of the Total Environment*, 262(3), 263–286. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/8594/7d04a5044fde1f9634e1dbbacb3b60a7b67c.pdf>
- Bentz, B. J., Regniere, J., Fettig, C. J., Hansen, E. M., Hayes, J. L., Hicke, J. A., ... Seybold, S. J. (2010). Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: Direct and indirect effects. *BioScience*, 60(8), 602–613. doi: 10.1525/bio.2010.60.8.6
- Berg, E. E., Henry, J. D., Fastie, C. L., De Volder, A. D., & Matsuoka, S. M. (2006). Spruce beetle outbreaks on the Kenai Peninsula, Alaska, and Kluane National Park and Reserve, Yukon Territory: relationship to summer temperatures and regional differences in disturbance regimes. *Forest Ecology and Management*, 227(3), 219–232. doi: 10.1016/j.foreco.2006.02.038
- Bitrán, D. B. (2001). *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres. Retrieved from http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/375/1/images/no_1.pdf
- Breshears, D., Cobb, N., Rich, P., Price, K., Allen, C., Balice, R., Romme, W., ... Meyer, C. (2005). Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(42), 15144–15148. doi: 10.1073/pnas.0505734102
- Brunelle, A., Rehfeldt, G. E., Bentz, B., & Munson, A. S. (2008). Holocene records of *Dendroctonus* bark beetles in high elevation pine forests of Idaho and Montana, USA. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 836–846. doi: 10.1016/j.foreco.2007.10.008
- Cardoza-Martínez, G. F., Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Guerra-de la Cruz, V., & Estrada-Ávalos, J. (2014). Reconstrucción de la precipitación anual para la región oriental del Estado de Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(23), 110–127. Retrieved from <http://>

Conclusiones

El clima es un factor que modula el incremento de las poblaciones de insectos descortezadores. Ante los escenarios climáticos que proyectan condición de mayor sequía, es evidente que los brotes de plagas se pueden magnificar. Debido a ello, es necesario tomar las precauciones pertinentes en bosques que son susceptibles a la presión demográfica y aquellos que presentan condiciones muy densas, principalmente cuando existen uno a dos años consecutivos de sequías. Asimismo, es importante el monitoreo de los bosques, posterior a la ocurrencia de incendios, ya que existe una relación directa con la presencia de brotes de plagas después de un incendio atribuido al estrés fisiológico al que son sometidos los árboles. El entendimiento de la influencia de ENSO en la variabilidad interanual y multianual del clima y la determinación de índices de sequía pueden contribuir a establecer medidas preventivas para minimizar el impacto de los descortezadores en los bosques mexicanos.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento CONAFOR-CONACYT a través del proyecto "Variabilidad climática e interacción con otros factores que afectan la dinámica poblacional de descortezadores en bosques amenazados de México" con registro CONAFOR-2014, C01-234547. Agradecemos también a los revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias que contribuyeron a mejorar el escrito.

Fin de la versión en español

- www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322014000300009&script=sci_arttext
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Fulé, P. Z., Arreola-Ávila, J. G., Sánchez-Cohen, I., & Valdez-Cepeda, R. D. (2009). Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera y Bosques*, 15(2), 27–44. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712009000200002&script=sci_arttext&lng=en
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R. D., Méndez-González, J., & Constante-García, V. (2011). Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(2), 235–249. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342011000800006&script=sci_arttext
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Vázquez-Selem, L., Trucios-Caciano, R., & Guerra-De la Cruz, V. (2014). Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancitaro, Michoacán. *Investigaciones Geográficas*, 83, 41–54. doi: 10.14350/rig.35190
- Chávez-Gándara, M. P., Cerano-Paredes, J., Nájera-Luna, J. A., Pereda-Breceda, V., Esquivel-Arriaga, G., Cervantes-Martínez, R., ... Corral-Rivas, S. (2017). Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera con base en anillos de crecimiento de árboles para la región de San Dimas, Durango, México. *Bosque*, 38(2), 387–399. doi: 10.4067/S0717-92002017000200016
- Cleaveland, M. K., Stahle, D. W., Therrell, M. D., Villanueva, D. J., & Burns, B.T. (2003). Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, Mexico. *Climatic Change*, 59(3), 369–388. doi: 10.1023/A:1024835630188
- Comisionado Nacional de los Derechos Humanos (CONADEH). (2016). Informe especial el gorgojo descortezador del pino y otras graves amenazas ambientales a la vida digna de los hondureños y hondureñas. Retrieved from <http://conadeh.hn/wp-content/uploads/2016/05/Informe-Especial-Gorgojo-del-Pino-y-Amenazas-Ambientales.pdf>
- Cook, E. R. (2000). Niño 3 index reconstruction. International Tree-Ring Data Bank. IGBP PAGES/World Data Center-A for Paleoclimatology Data Contribution Series Number 2000-052. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder, Colorado, USA. Retrieved March 9, 2015 from <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data>
- Fetting, C. J., Klepzig, K. D., Billings, R. F., Munson, A. F., Nebeker, T. E., Negrón, J. F., & Nowat, J. T. (2007). The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations in coniferous forests of the western and southern United States. *Forest Ecology and Management*, 238, 24–53. doi: 10.1016/j.foreco.2006.10.011
- Florescano, E. M. (1980). *Análisis histórico de las sequías en México*. México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la sierra madre occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351–403. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-71512012000300012&script=sci_arttext
- Grissino-Mayer, H. D. (2001). FH2 - software for analyzing temporal and spatial patterns in fire regimes from tree rings. *Tree-Ring Research*, 57(1), 115–124. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/247570899_FHX2-Software_for_analyzing_temporal_and_spatial_patterns_in_fire_regimes_from_tree_rings
- Hicke, J. A., Logan, J. A., Powell, J., & Ojima, D. S. (2006). Changing temperatures influence suitability for modeled mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) outbreaks in the western United States. *Journal of Geophysical Research*, 111, G02019. doi: 10.1029/2005JG000101
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2009). Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC), Software. México: SEMARNAT. Retrieved August 3, 2018 from <https://www.imta.gob.mx/es/productos/software/eric-iii-version-3-2-extractor-rapido-de-informacion-climatolo-detail>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: Author. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- Islas-Salas, 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. Retrieved from http://www.era-mx.org/Estudios_y_proyectos/Descortezador/Islas_Salas_1980.pdf
- Keane, R. E. (2001). Successional dynamics: Modeling an anthropogenic threat. In D. F. Tomback, S. F. Arno, & R. E. Keane (Eds.), *Whitebark pine communities* (159–189). Washington, DC, USA: Island Press.
- Kozlov, M. V. (2008). Losses of birch foliage due to herbivory along geographical gradients in Europe: a climate-driven pattern? *Climatic Change*, 87, 107–117. doi: 10.1007/s10584-007-9348-y
- Magaña, O. V., Vázquez, J. L., Pérez, J. L., & Pérez, J. B. (2003). Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional*, 42, 313–330. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56842304>
- Márquez-Linares, M. A., Jurado-Ybarra, E., & González-Elizondo, S. (2006). Algunos aspectos de la biología de la manzanita (*Arctostaphylos pungens* HBK.) y su papel en el desplazamiento de bosques templados por chaparrales. *Ciencia UANL*, 9(1), 57–64. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/1741/>

- Martínez-Austria, P. F., & Patiño-Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(1), 5–20. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000100001
- Mattson, W. J., & Haack, R. A. (1987). The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *BioScience*, 37(2), 110–118. doi: 10.2307/1310365
- Moore, B., & Allard, G. (2009). *Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal. Documentos de trabajo sobre sanidad y bioseguridad forestal*. Italy: Food and Agriculture Organization (FAO).
- Negrón, J. F., McMillin, J. D., Anhold, J. A., & Coulson, D. (2009). Bark beetle-caused mortality in a drought-affected ponderosa pine landscape in Arizona, USA. *Forest Ecology and Management*, 257(4), 1353–1362. doi: 10.1016/j.foreco.2008.12.002
- Raffa, K. F., Aukema, B. H., Erbilgin, N., Klepzig, K. D., & Wallin, K. F. (2005). Interactions among conifer terpenoids and bark beetles across multiple levels of scale: an attempt to understand links between population patterns and physiological processes. *Recent Advances in Phytochemistry*, 39, 80–118. Retrieved from https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_raffa001.pdf
- Raffa, K. F., Aukema, B. H., Bentz, B. J., Carroll, A. L., Hicke, J. A., Turner, M. G., & Romme, W. H. (2008). Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: The dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience*, 58, 501–517. doi: 10.1641/B580607
- Rouault, G., Candau, J. N., Lieutier, F., Nageleisen, L. M., Martin, J. C., & Warzée, N. (2006). Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Annals of Forest Science*, 63(6), 613–624. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00884014/document>
- Safranyik, L., & Carroll, A. L. (2006). The biology and epidemiology of the mountain pine beetle in lodgepole pine forests. In L. Safranyik, & W. R. Wilson (Eds.), *The mountain pine beetle: A synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine*. Victoria, BC, Canada: Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, 3–66. Retrieved from <http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/26039.pdf>
- Sánchez-Salas, J. A., & Torres-Espinosa, L. M. (2007). *Biología y hábitos del descortezador Dendroctonus mexicanus Hopkins y estrategias de control en Pinus teocote en Nuevo León*. México: CIRNE Campo Experimental Saltillo. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/989/216.pdf?sequence=1>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). Informe de la situación del medio ambiente en México. Retrieved from <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/>
- Segura-Warnholtz, G. (2014). Quince años de políticas públicas para la acción colectiva en comunidades forestales. *Revista Mexicana de Sociología*, 76, 105–135. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-25032014000600005&lng=pt&nrm=iso
- Stahle, D. W., Cook, E. R., Villanueva-Díaz, J., Fye, F. K., Burnette, D. J., Griffin, R. D., & Heim, Jr. R. R. (2009). Early 21st-century drought in Mexico. *Eos*, 90(11), 89–100. doi: 10.1029/2009EO110001
- Stahle, D. W., Cook, E. R., Burnette, D. J., Villanueva, J., Cerano, J., Burns, J. N., & Szejner, P. (2016). The Mexican Drought Atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-hispanic, colonial, and modern eras. *Quaternary Science Reviews*, 149, 34–60. doi: 10.1016/j.quascirev.2016.06.018
- Therrell, M. D., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Villanueva-Díaz, J. (2002). Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D14), ACL 6-1-ACL 6-8. doi: 10.1029/2001JD000851
- Thomson, A. J. (2009). Climate indices and mountain pine beetle killing temperatures. *The Forestry Chronicle*, 85(1), 105–109. Retrieved from <http://pubs.cif-ifc.org/doi/pdfplus/10.5558/tfc85105-1>
- Villanueva, D. J., Fulé, P. Z., Cerano, P. J., Estrada, A. J., & Sánchez, C. I. (2009). Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental. *Revista Ciencia Forestal en México*, 34(105), 37–69. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140535862009000100003
- Villers-Ruiz, L., & Trejo-Vázquez, I. (2004). Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. In J. Martínez, & A. Fernández, B. (Eds.), *Cambio climático: Una visión desde México* (pp. 239–254). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. Retrieved from [http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-\(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf)
- Williams, A. P., Allen, C. D., Macalady, A. K., Griffin, D., Woodhouse, C. A., Meko, D. M., ...McDowell, N. G. (2013). Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, 3(3), 292–297. doi: 10.1038/NCLIMATE1693

Appendix 1. Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras.
 Apéndice 1. Brotes históricos de descortezadores en México, Guatemala y Honduras.

Year / Año	Bark beetles / Descortezador	Place of outbreak / Lugar del brote	Species affected / Especie afectada	Reference / Referencia
México				
1903	<i>Dendroctonus mexicanus</i> Hopkins	Amecameca, Edo. de México	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltld. & Cham., <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltld., <i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltld. & Cham., <i>Pinus michoacana</i> Martínez, <i>Pinus montezumae</i> Lamb., <i>Pinus herrerae</i> Martínez, <i>Pinus hartwegii</i> Lindl., <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltld. & Cham. and <i>Pinus pinceana</i> Gordon & Glend.	Perusquía-Ortiz (1979)
1936	<i>D. mexicanus</i>	Estado de México (Tlamanalco, Ozumba, San Rafael 1973-1974)	<i>P. leiophylla</i> , <i>P. oocarpa</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. michoacana</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. herrerae</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. patula</i> and <i>P. pinceana</i>	Perusquía-Ortiz (1979); González (1979)
1940 and 2011-2012	<i>D. mexicanus</i>	Hidalgo (Zimapán, Valle del Mezquital)	<i>P. leiophylla</i> , <i>P. oocarpa</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. michoacana</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. herrerae</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. patula</i> , <i>P. pinceana</i> and <i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Perusquía-Ortiz (1979); SEMARNAT-UACH (2014)
1955-1965	<i>Dendroctonus adjunctus</i> Blandford	Several states / Varios estados	<i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>Pinus rudis</i> Lindl., <i>Pinus ponderosa</i> Douglas ex C. Lawson, <i>Pinus chihuahuana</i> Schiede ex Schltld. & Cham., <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl., <i>Pinus arizonica</i> Engelm., <i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld., <i>Pinus durangensis</i> Martínez, <i>P. michoacana</i> and <i>Pinus lawsonii</i> Roehl ex Gordon.	Verduzco (1976); Rodríguez (1990)
1958	<i>D. adjunctus</i>	Nevado de Colima, Jalisco	<i>P. hartwegii</i>	Villa-Castillo (1985)
1961	<i>D. mexicanus</i> and <i>D. adjunctus</i>	Central and southern part of the country (Jalisco, Puebla, Edo. de México, Michoacán, Oaxaca and Chiapas), Sierra Nevada and Sierra del Ajusco Tixtlancingo, Coyuca de Benítez, Guerrero	<i>P. leiophylla</i> , <i>P. oocarpa</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. michoacana</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. herrerae</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. patula</i> and <i>P. pinceana</i>	Perusquía-Ortiz (1979); Villa-Castillo (1985)
1968, 1975-1979	<i>Dendroctonus frontalis</i> Zimmermann	Sierra Nevada and Sierra del Ajusco Tixtlancingo, Coyuca de Benítez, Guerrero	<i>Pinus pringlei</i> Shaw, <i>P. herrerae</i> and <i>Pinus douglasiana</i> Martínez	González (1979)
1955, 1961, 1978 and 1979	<i>D. frontalis</i>	Sola de Vega, Oaxaca.	<i>P. oocarpa</i> , <i>P. pringlei</i> , <i>P. herrerae</i>	González (1979)
1972-1973	<i>D. mexicanus</i>	Michoacán, Ciudad de México and Estado de México (Zoquiapan, Parque Nacional Ixta-Popo)	<i>Pinus</i> spp.	Sánchez-Salas, Torres-Espinosa, Cano, and Martínez (2003)

Appendix 1. Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras. (cont.)
 Apéndice 1. Brotes históricos de descortezadores en México, Guatemala y Honduras. (cont.)

Year/Año	Bark beetles/ Descortezador	Place of outbreak/ Lugar del brote	Species affected/ Especie afectada	Reference/ Referencia
México				
1977-1978	<i>D. mexicanus</i>	Michoacán, Ciudad de México and Edo. de México (Zoqueapan, Ixta-Popo, Desierto de los Leones)	<i>Pinus</i> spp.	Sánchez-Salas et al. (2003)
1975-1977	<i>Ips cribricollis</i> and <i>D. mexicanus</i>	Jalisco (Los Pozos and Cd. Guzmán)	<i>P. occarpa</i> , <i>P. leiophylla</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. pseudostrobus</i> , <i>P. ayacahuite</i> and <i>Pinus tenuifolia</i> Benth.	Perusquía-Ortiz (1979)
1976-1979	<i>D. frontalis</i>	Chipinque and Cumbres de Monterrey, Nuevo León	<i>P. montezumae</i> , <i>P. pringlei</i> and <i>P. teocote</i>	Perusquía-Ortiz (1979); Martínez-González, (1979)
1978-1979		Lagunas de Montebello, Chiapas	<i>Pinus</i> spp.	Martínez-González (1979)
1981-1982	<i>D. adjunctus</i>	Nevado de Colima, Jalisco	<i>P. hartwegii</i>	Villa-Castillo (1985)
1980, 1995-1996	<i>Dendroctonus rhizophagus</i> Thomas & Bright	Guachochi and Madera, Chihuahua.	<i>Pinus engelmannii</i> Carr.	Sánchez-Martínez (S/F)
1992 and 1996	-	Baja California	-	SEMARNAT (2005)
1993	<i>D. adjunctus</i>	Parque Nacional Nevado de Colima, Jalisco	<i>P. hartwegii</i>	Íñiguez (1999)
1993	<i>D. frontalis</i>	Oaxaca	<i>P. occarpa</i> , <i>P. pseudostrobus</i> , <i>P. teocote</i> , <i>Pinus oaxacana</i> Mirov and <i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	Íñiguez (1999)
1993	<i>D. frontalis</i>	Guerrero	<i>P. occarpa</i> , <i>P. pseudostrobus</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. oaxacana</i> and <i>P. maximinoi</i>	Íñiguez (1999)
1995-2004	<i>Dendroctonus</i> spp.	Oaxaca	<i>Pinus</i> spp.	SEMARNAT-CONAFOR (2007)
1997-2002	<i>D. mexicanus</i>	Nuevo León	<i>P. teocote</i> , <i>P. cembroides</i> and <i>P. pseudostrobus</i>	Sánchez-Salas and Torres-Espinoza (2007)
1998-2003	<i>Dendroctonus</i> spp.	Baja California (Sierra Juárez and San Pedro Mártir)	<i>Pinus jeffreyi</i> Balf., <i>Pinus lambertiana</i> Douglas, <i>Pinus contorta</i> Douglas, <i>Pinus monophylla</i> Torr. & Frém. and <i>Abies concolor</i> (Gordon) Lindley ex Hildebr.	Tapia-Landeros (2003)
1999	<i>D. frontalis</i>	Lagunas de Montebello and Motozintla, Chiapas.	<i>P. occarpa</i> , <i>P. maximinoi</i>	Altúzar (2010)

Appendix 1. Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras. (cont.)
 Apéndice 1. Brotes históricos de descortezadores en México, Guatemala y Honduras. (cont.)

Year / Año	Bark beetles / Descortezador	Place of outbreak / Lugar del brote	Species affected / Especie afectada	Reference / Referencia
México				
1999-2000	<i>Dendroctonus pseudotsugae</i> Hopkins, <i>D. adjunctus</i> , <i>D. mexicanus</i> , <i>Dendroctonus brevicornis</i> LeConte, <i>Dendroctonus parallelcolollis</i> Chapuis, <i>D. valens</i> LeConte	Coahuila (La Roja, La Carbonera, Los Lirios, San Juan de los Dolores, Jamé, San Antonio de las Alazanas and Amargos) and Nuevo León (Galeana, Iturbide, Zaragoza, Aramberri, Santa Catarina and Santiago)	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, <i>Abies vejarii</i> Martínez, <i>P. rudis</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. pseudotsugae</i> , <i>P. arizonica</i> and <i>Cupressus arizonica</i> Greene	Sánchez-Salas et al. (2003)
1999-2002	<i>D. adjunctus</i>	Sierra de Arteaga, Coahuila	<i>P. rudis</i>	Torres-Espinosa and Sánchez-Salas (2006)
1999-2000	<i>D. mexicanus</i>	Sierra Gorda de Guanajuato	<i>P. cembroides</i>	Alvarado (2013)
2000-2005	<i>Dendroctonus</i> spp.	Estado de México (Texcoco, Tejupilco, Coatepec de Harinas and Valle de Bravo)	<i>Pinus</i> sp. and <i>Abies</i> sp.	Rescala (2009)
2000-2005, 2009	<i>Ips</i> spp. and <i>D. mexicanus</i>	Chihuahua		Narváez, Guevara, García, and Silva (2012)
2001-2002	<i>D. mexicanus</i>	Sierra Fría, Aguascalientes	<i>P. leiophylla</i> and <i>P. teocote</i>	Sánchez-Martínez (2004); Díaz-Núñez, Sánchez Martínez, Gillette (2006); Sánchez-Martínez, Torres-Espinosa, Vázquez-Collazo, González-Gaona, and Narváez-Flores (2007); Moreno-Rico, Sánchez-Martínez, Marmolejo-Monsiváis, Pérez-Hernández, and Moreno-Manzano (2015)
2001-2007 (more intense in 2005)	<i>D. adjunctus</i>	Sierra "La Raspadura", Namiquima, Chihuahua	<i>P. arizonica</i>	Sánchez-Martínez and Silva (2008)
2002	<i>Ips</i> spp. and <i>D. mexicanus</i>	Chihuahua	<i>P. arizonica</i> , <i>P. engelmannii</i> , <i>P. durangensis</i> , <i>P. leiophylla</i> and <i>P. cembroides</i>	Narváez et al. (2012)
2002-2003	<i>D. adjunctus</i>	Communal towns, Oaxaca	<i>P. rudis</i>	FAO (2007)

Appendix 1. Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras. (cont.)
 Apéndice 1. Brotes históricos de descortezadores en México, Guatemala y Honduras. (cont.)

Year / Año	Bark beetles / Descortezador	Place of outbreak / Lugar del brote	Species affected / Especie afectada	Reference / Referencia
México				
2002-2006	<i>D. pseudotsugae</i>	Guanaceví, Durango and Balleza, Ocampo, Guadalupe and Calvo, Chihuahua	<i>P. menziesii</i>	Sánchez-Martínez (S/F)
2004-2011 (more intense in 2006, 2007 and 2008)	<i>D. adjunctus</i> , <i>D. frontalis</i> and <i>D. mexicanus</i>	Communal towns (Lachatao, Amatlán and Yavesía), Oaxaca	<i>P. rudis</i> , <i>P. patula</i> , <i>P. pseudostrabus</i> , <i>P. douglasiana</i> , <i>P. oaxacana</i> and <i>P. teocote</i>	Castellanos-Bolaños, Ruiz-Martínez, Gómez-Cárdenas, and González-Cubas (2013)
2005 and 2009	<i>D. adjunctus</i>	Estado de México (APFF Nevado de Toluca Zinacantepec, Calimaya, Coatepec Harinas and Toluca)	<i>P. hartwegii</i> , <i>P. pseudostrabus</i> and <i>P. montezumae</i>	Agramont, Maass, Bernal, Hernández, and Fredericksen (2012); Guadarrama de Nova (2017)
2005	<i>D. adjunctus</i>	Estado de México (Nevado de Toluca)	<i>P. hartwegii</i>	Guadarrama de Nova (2017)
2007	<i>Ips</i> spp. and <i>D. mexicanus</i>	Papigochic Flora and Fauna Protection Area, Chihuahua / Área de Protección de Flora y Fauna Papigochic, Chihuahua	<i>P. arizonica</i> , <i>P. engelmannii</i> , <i>P. durangensis</i> and <i>P. leiophylla</i>	Narváez et al. (2012)
2007 and 2012	<i>D. rhizophagus</i>	San Juanito, Bocoyna, Chihuahua	<i>P. arizonica</i> , <i>P. durangensis</i> , <i>P. engelmannii</i> and <i>P. leiophylla</i>	Narváez et al. (2012)
2008-2009	<i>Scolytus mundus</i> Wood	Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Michoacán / Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, Michoacán	<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schldl. & Cham.	Manzo-Delgado, López-García, and Alcántara-Ayala (2014)
2008-2012	<i>D. mexicanus</i>	Aramberri, Nuevo León	<i>P. cembroides</i> and <i>P. pseudostrabus</i>	Cuéllar-Rodríguez et al. (2012)
2009-2010	<i>D. frontalis</i> and <i>D. adjunctus</i>	Chiapas (Acacoyahua)	<i>P. oocarpa</i> and <i>P. oaxacana</i>	Proprietarios de Chiapas, A. C. (2010)
2012	<i>D. frontalis</i> and <i>D. mexicanus</i>	Biosphere Reserve of the Sierra Gorda de Querétaro / Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Querétaro	<i>P. patula</i> and <i>Pinus greggii</i> Engelm. & Parl.	López-Gómez, Torres-Huerta, Reséndiz-Martínez, Sánchez-Martínez, and Gijón-Hernández (2017)
2012	<i>Ips lecontei</i> Swaine and <i>D. mexicanus</i>	Balleza, Guachochi, Bocoyna, Chihuahua	<i>P. arizonica</i> , <i>P. engelmannii</i> , <i>P. durangensis</i> , <i>P. leiophylla</i> and <i>P. cembroides</i>	Benet (2014); CONAFOR (2014); Sánchez-Martínez et al. (2017)

Appendix 1. Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras. (cont.)
 Apéndice 1. Brotes históricos de descortezadores en México, Guatemala y Honduras. (cont.)

Year/Año	Bark beetles/ Descortezador	Place of outbreak/ Lugar del brote	Species affected/ Especie afectada	Reference/ Referencia
México				
2012 and 2013	<i>I. lecontei</i> and <i>D. mexicanus</i>	Durango (Ejido Estación de Otinapa, San Carlos, San Pedro de la Máquina, Rodríguez Puebla) and San Dimas (ejido Vencedores and annexes)	<i>P. leiophylla</i> and <i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	Sánchez-Martínez, Reséndiz-Martínez, and Santana-Espinoza (2017)
2013	<i>I. lecontei</i> and <i>D. mexicanus</i>	Balleza, Guachochi, Bocoyna, Chihuahua	<i>P. arizonica</i> , <i>P. durangensis</i> , <i>P. leiophylla</i> , <i>P. engelmannii</i> and <i>P. cembroides</i>	Benet (2014); CONAFOR (2014); Sánchez-Martínez et al. (2017)
2013, 2014 and 2015	<i>D. frontalis</i> , <i>D. mexicanus</i> , <i>D. adjunctus</i> , <i>Scolytus</i> sp. <i>Pseudohylesinus</i> sp. <i>Ips</i> sp.	Michoacán (Ario de Rosales, Madero, Salvador Escalante, Tancitaro, Tacámbaro, Uruapan, Ocampo, Tocumbo, Periban, Morelia, Los Reyes, Cotija, Zitácuaro and Pátzcuaro).	<i>P. oocarpa</i> , <i>P. pringlei</i> , <i>P. lawsonii</i> and <i>P. leiophylla</i> .	SEMARNAT-CONAFOR- COFOM (2015)
2014	<i>I. lecontei</i> and <i>D. mexicanus</i>	Balleza, Guachochi, Chihuahua	<i>P. arizonica</i> , <i>P. engelmannii</i> , <i>P. durangensis</i> and <i>P. leiophylla</i>	Sánchez-Martínez et al. (2017)
Guatemala				
1895	<i>Dendroctonus</i> spp.	Alta Verapaz and Totonicapán	<i>Pinus caribaea</i> Morelet, <i>P. oocarpa</i> , <i>P. maximinoi</i> , <i>P. pseudostrubus</i> and <i>P. montezumae</i>	Castañeda (2001)
1928 and 1936	<i>D. adjunctus</i>	Totonicapán	<i>P. hartwegii</i> , <i>P. maximinoi</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. ayacahuite</i> , <i>P. pseudostrubus</i> and <i>P. oocarpa</i>	Medina (1980); Castañeda (2002); Hernández (2003)
1964	<i>Ips calligraphus</i> (Germar) and <i>D. frontalis</i>	Petén	<i>P. caribaea</i>	Leyva (1980)
1973-1977	<i>D. frontalis</i> , <i>D. adjunctus</i> , <i>D. valens</i> and <i>D. parallelcolis</i>	Alta Verapaz, Petén, Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Xela, Solola, Totonicapán	<i>P. hartwegii</i> , <i>P. herrerae</i> , <i>P. rudis</i> , <i>P. michoacana</i> , <i>P. pinceana</i> , <i>P. moctezumae</i> and <i>P. oocarpa</i>	Leyva (1980)
1977 and 1980	<i>Dendroctonus</i> spp., <i>D. adjunctus</i>	Quetzaltenango, Quiché, Huehuetenango, Totonicapán, Sololá and San Marcos	<i>P. rudis</i> , <i>P. ayacahuite</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. maximinoi</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. pseudostrubus</i> , <i>P. oocarpa</i>	Pitoni (1980); Castañeda (2002); Hernández- Dávila (2003)
1998	<i>D. frontalis</i>		<i>P. caribaea</i> , <i>P. maximinoi</i> , <i>P. montezumae</i> and <i>P. oocarpa</i>	Revista Forestal Centroamericana (2001)
1997 and 2001	<i>D. frontalis</i>	Petén	<i>P. caribaea</i>	Castañeda (2002); Hernández-Dávila (2003)

Appendix 1. Historical bark beetle outbreaks in Mexico, Guatemala and Honduras. (cont.)
 Apéndice 1. Brotes históricos de descortezadores en México, Guatemala y Honduras. (cont.)

Year / Año	Bark beetles / Descortezador	Place of outbreak / Lugar del brote	Species affected / Especie afectada	Reference / Referencia
Guatemala				
2007-2013 (more intense in 2008)	<i>D. adjunctus</i>	Totonicapán, Quetzaltenango	<i>P. rudis</i>	
Honduras				
1962-1965	<i>D. frontalis</i>	Eastern and Western Departments / Departamentos de oriente y occidente	<i>P. oocarpa</i> and <i>P. caribaea</i>	CESPAD (2015)
1982-1984	<i>D. frontalis</i>	Western Central and Eastern Region (Departments Francisco Morazán, El Paraíso, and Olancho; Intibucá, Comayagua, La Paz) / Región centro occidental y oriental (Departamentos Francisco Morazán, El Paraíso, y Olancho; Intibucá, Comayagua, La Paz)	<i>P. oocarpa</i> and <i>P. caribaea</i>	COHDEFOR (2002)
1998-2003	<i>D. frontalis</i>	Yoro, Comayagua, La Paz, Intibucá, Francisco Morazán, Santa Bárbara and El Paraíso	<i>P. oocarpa</i> and <i>P. caribaea</i>	Carias-Arias, Barrios, Espino, and Ouelí (2017)
2001	<i>D. frontalis</i>	From the south of Mexico to the north of Nicaragua / Desde sur de México hasta norte de Nicaragua	<i>P. oocarpa</i> , <i>P. caribaea</i> , <i>P. maximinoi</i> , <i>Pinus tecumumanii</i> F. Schwerdtf. ex Eguluz & J. P. Perry, <i>P. ayacahuite</i> and <i>P. pseudostrabus</i>	COHDEFOR (2002)
2002-2003	<i>D. frontalis</i>	Western and Eastern Central Region (departments Francisco Morazán, El Paraíso, and Olancho; Intibucá, Comayagua, La Paz)	<i>P. caribaea</i> , <i>P. oocarpa</i> , <i>P. maximinoi</i> , <i>P. tecumumanii</i> and <i>P. ayacahuite</i>	COHDEFOR (2002)
2012-2014	<i>D. frontalis</i>	Olancho, Comayagua, El Paraíso, Francisco Morazán and Yoro	<i>P. oocarpa</i> and <i>P. caribaea</i>	CESPAD (2015)
2015	<i>D. frontalis</i>	Olancho, Comayagua, El Paraíso, Francisco Morazán and Yoro	<i>Pinus</i> spp.	CONADEH (2016)

Appendix references / Referencias del Apéndice

- Agramont, A. R. E., Maass, S. F., Bernal, G. N., Hernández, J. I. V., & Fredericksen, T. S. (2012). Effect of human disturbance on the structure and regeneration of forests in the Nevado de Toluca National Park, Mexico. *Journal of Forestry Research*, 23(1), 39–44.
- Alvarado, V. O. (2013). Evaluación de los factores asociados a las infestaciones de descortezadores (Coleóptera: Scolytinae) en bosques de piñones (*Pinus cembroides*) en la Reserva de la Sierra Gorda de Guanajuato. Tesis de Mestría, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.
- Altúzar, M. R. (2010). Implementación de un sistema de trampeo para el monitoreo de *Dendroctonus frontalis* en el Parque Nacional Lagunas de Montebello. Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México. Retrieved from <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/956/61276s.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Benet, K. R. (2014). La atención a la contingencia fitosanitaria de Chihuahua 2012-2014. Estudio de caso. Alianza México para la reducción de emisiones por deforestación y degradación. Retrieved from <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/files/original/4b46a8f7c5ddcae85f5076a8cbf58074.pdf>
- Castañeda, C. (2001). Informe final: diagnóstico y rápida evaluación de ataque del gorgojo del pino en pinares de Poptún, Petén, Guatemala. Guatemala: INAB.
- Castañeda, C. (2002). El gorgojo del pino *Dendroctonus* y sostenibilidad de bienes y servicios de los pinares de Guatemala. Guatemala: Congreso Forestal Latinoamericano.
- Carias-Arias, A. B., Barrios, J. A., Espino, V., & Oqueli, R. O. (2017). Estrategias de mitigación del ataque del gorgojo descortezador de pino en Honduras periodo 2014-2016. *Revista Ciencias Espaciales*, 10(1), 198–215.
- Castellanos-Bolaños, J. F., Ruiz-Martínez, E. O., Gómez-Cárdenas, M., & González-Cubas, R. (2013). *Fundamentos técnicos para el control de insectos descortezadores de pinos en Oaxaca*. Santo Domingo Barrio Bajo, Villa de Etla, Oaxaca, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Pacifico Sur, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca.
- Centro de Estudio para la Democracia (CESPAD). (2015). El gorgojo descortezador, entre los efectos del cambio climático y la débil gobernanza forestal del Estado de Honduras. Retrieved from <http://cespad.org.hn/wp-content/uploads/2017/06/Monitoreo-RRNN-oct-1.pdf>
- Comisionado Nacional de los Derechos Humanos (CONADEH). (2016). Informe especial el gorgojo descortezador del pino y otras graves amenazas ambientales a la vida digna de los hondureños y hondureñas. Retrieved from <http://conadeh.hn/wp-content/uploads/2016/05/Informe-Especial-Gorgojo-del-Pino-y-Amenazas-Ambientales.pdf>
- Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR). (2002). *Manejo integral de plagas y enfermedades forestales*. Tegucigalpa, Honduras: Autor.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). *Base de datos: predios afectados por Ips confusus*. Chihuahua, México: Departamento de Sanidad Forestal.
- Cuéllar-Rodríguez, G., Equihua-Martínez, A., Estrada-Venegas, E., Méndez-Montiel, T., Villa-Castillo, J., & Romero-Nápoles, J. (2012). Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* en el noreste de México. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 13(2), 12–19.
- Díaz-Núñez, V., Sánchez-Martínez, G., & Gillette, N. (2006). Respuesta de *Dendroctonus mexicanus* (Hopkins) a dos isómeros ópticos de verbenona. *Agrociencia*, 40(3), 349–354.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2007). *Overview of forest pests Mexico*. Rome, Italy: Forest Health and Biosecurity Working Papers. Forestry Department.
- González, V. C. E. (1979). Documentación científica y popular sobre plagas y enfermedades forestales. 1.ª reunión sobre plagas y enfermedades forestales. Publicación especial núm. 32. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales-SARH.
- Guadarrama de Nova, C. (2017). Identificación de brotes de descortezadores en el “Área de protección de flora y fauna del Nevado de Toluca”. Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Hernández-Dávila, A. (2003). *Estimación de la efectividad de control del Dendroctonus*. Guatemala: USAC, Facultad de Agronomía.
- Iñiguez, H. G. (1999). Sistemas de clasificación de riesgo para *Dendroctonus frontalis* y *D. mexicanus* en “El Manzano” en Villa de Santiago, Nuevo León, México. Tesis de Maestría, UANL, Linares, Nuevo León, México.
- Leyva, P. J. M. (1980). *El gorgojo del pino (Dendroctonus sp.) en los bosques de coníferas de Guatemala*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- López-Gómez, V., Torres-Huerta, B., Reséndiz-Martínez, J. F., Sánchez-Martínez, G., & Gijón-Hernández, A. R. (2017). Influencia de parámetros climáticos sobre las fluctuaciones poblacionales del complejo *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(41), 7–29.
- Manzo-Delgado, L., López-García, J., & Alcántara-Ayala, I. (2014). Role of forest conservation in lessening land degradation in a temperate region: The Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Journal of Environmental Management*, 138, 55–66.
- Martínez-González, F. (1979). Evaluación de la situación sanitaria forestal. 1.ª reunión sobre plagas y enfermedades forestales. Publicación Especial Núm. 32. México: SARH-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- Medina, G. E. A. (1980). Susceptibilidad de los bosques de coníferas al ataque del gorgojo del pino *Dendroctonus* (Coleóptera: Scolytidae) en función de la composición,

- edad y densidad de los mismos. Tesis, USAC, Guatemala.
- Moreno-Rico, O., Sánchez-Martínez, G., Marmolejo-Monsiváis, J. G., Pérez-Hernández, K., & Moreno-Manzano, C. E. (2015). Diversidad de hongos Ophiostomatoides en pinos de la sierra Fría de Aguascalientes, México, asociados con *Dendroctonus mexicanus*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 1–8. doi: 10.7550/rmb.46751
- Narváez, F. R., Guevara, R. A., García, R. M. G., & Silva, R. S. (2012). *Manual de los principales insectos y enfermedades forestales del área de protección de flora y fauna Papigochi*. Chihuahua, Chihuahua, México: SEMARNAT-CONANP.
- Perusquía, O. J. (1979). Principales plagas forestales. 1.^a reunión sobre plagas y enfermedades forestales. Publicación especial núm. 32. México: SARH-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
- Pitoni, A. (1980). *Planificación del control de la plaga del Dendroctonus y del aprovechamiento de la madera dañada*. Guatemala: FAO.
- Propietarios de Chiapas, A. C. (2010). *Estudio regional forestal UMAFOR 0701 Centro*. Chiapas, México.
- Rescala, P. J. (2009). Historia del sector forestal. In G. Ceballos, R. List, G. Garduño, R. López, M. J. Muñozcano, E. Collado, & J. E. San Román. *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado* (pp. 319–330). México: Gobierno del Estado de México. Retrieved from https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EEB_EDOMEX_baja.pdf
- Revista Forestal Centroamericana. (2001). *La vulnerabilidad y los retos para el desarrollo sostenible*. Costa Rica: CATIE.
- Rodríguez, L. R. (1990). *Plagas forestales y su control en México*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Sánchez-Martínez, G. (S/F). Comportamiento de insectos descortezadores y recomendaciones para su control en la Sierra Madre Occidental. Aguascalientes, México: Campo Experimental Pabellón de Arteaga, INIFAP.
- Sánchez-Martínez, G. (2004). *Diagnóstico fitosanitario de los bosques de pino, pino-encino y encino-pino en la sierra Fría, Aguascalientes*. Aguascalientes, Aguascalientes: Campo Experimental de Pabellón de Arteaga, INIFAP.
- Sánchez-Martínez, G., Torres-Espinosa, L. M., Vázquez-Collazo, I., González-Gaona, E., & Narvaéz-Flores, R. (2007). *Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas*. Aguascalientes, México. INIFAP-CIRNOC.
- Sánchez-Martínez, G., & Silva, R. S. (2008). Caracterización de un brote de *Dendroctonus adjunctus* registrado en el estado de Chihuahua. Aguascalientes, México: INIFAP-CIRNOC.
- Sánchez-Martínez, G., Reséndiz-Martínez, J. F., Santana-Espinoza, S. (2017). Fundamentos para el uso de semioquímicos en el manejo integral de insectos descortezadores de coníferas en México. INIFAP-CIRNOC. Campo Experimental Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. Folleto Técnico Num.74. Aguascalientes, México.
- Sánchez-Salas, J. A., Torres-Espinosa, L. M., Cano, A. P., & Martínez, B. O. U. (2003). Daños y diversidad de insectos descortezadores de coníferas del noreste de México. *Ciencia Forestal*, 28(93), 41–56.
- Sánchez-Salas, J. A., & Torres-Espinosa, L. M. (2007). Biología y hábitos del descortezador *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y estrategias de control en *Pinus teocote* en Nuevo León. Coahuila, México: INIFAP-CIRNE. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/989/216.pdf?sequence=1>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2005). *Compendio de estadísticas ambientales*. México: Autor.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional Forestal (SEMARNAT-CONAFOR). (2007). Programa estratégico forestal del estado de Oaxaca 2007-2030. Retrieved from <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/187Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%20del%20Estado%20de%20Oaxaca.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional Forestal-Comisión Forestal del Estado de Michoacán (SEMARNAT-CONAFOR-COFOM). (2015). Diagnóstico fitosanitario forestal del estado de Michoacán. Retrieved from <http://cofom.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2016/05/DIAGN%C3%93STICO-FITOSANITARIO-DEL-ESTADO-DE-MICHOAC%C3%81N-FINAL-1.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Universidad Autónoma Chapingo (SEMARNAT-UACH). (2014). Sanidad forestal para la evaluación de la avispa y control de descortezadores, muérdagos y heno motita. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/268966886/Informe-Final-Proyecto-Sanidad-Forestal-Hidalgo1-pdf>
- Tapia-Landeros, A. (2003). ¿Resquicio legal para una... Tala ilegal disfrazada? O, cómo vender en el extranjero, lo que era de la nación. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Landeros2/publication/282022550_Resquicio_legal_para_talar_en_Baja_California_Mexico/links/56018f9e08aed98518278eb1/Resquicio-legal-para-talar-en-Baja-California-Mexico.pdf
- Torres-Espinosa, L. M., & Sánchez-Salas, J. A. (2006). Determinación de la fluctuación estacional de *Dendroctonus adjunctus* Blandford en *Pinus rudis* mediante el uso de feromonas. Coahuila, México: INIFAP-CIRNE.
- Verduzco, G. J. (1976). *Protección forestal*. Chapingo, México: Escuela Nacional de Agricultura-Patena, A. C.
- Villa-Castillo, J. (1985). *Enemigos naturales y organismos asociados al descortezador de pinos Dendroctonus adjunctus blandford en el Nevado de Colima*. México: INIFAP.