



DOI:<https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.1079>

Artículo

## **Análisis temporal de la distribución de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) en México (2009-2018)**

## **Temporal analysis of the distribution of *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) in Mexico (2009-2018)**

Ramiro Perez-Miranda<sup>1</sup>, Antonio González-Hernández<sup>1</sup>, Efraín Velasco-Bautista<sup>1</sup>, Martín Enrique Romero-Sánchez<sup>1\*</sup>, Víctor Javier Arriola-Padilla<sup>1</sup> Miguel Acosta-Mireles<sup>2</sup> Fernando Carrillo Anzures<sup>2</sup>

### **Abstract**

Bark beetles are one of the main agents of forest degradation in Mexico. Within this group, *Dendroctonus mexicanus* is considered the most aggressive because it affects several pine species every year. This study aimed to analyze the temporal and spatial distribution of this species based on databases from official forest notifications by the Ministry of Natural Resources (Semarnat) in Mexico from 2009 to 2018. The databases were reviewed, analyzed and debugged. The ecological zone (North, Center, and South) on the affected area variable was correlated by using a fixed effects model. During the interval of the years under study, the bark beetle was distributed in 25 Mexican states, mainly in the Western *Sierra Madre*, the Eastern *Sierra Madre* and the Transversal Neovolcanic Axis. The years with the highest number of records were from 2012 to 2014, when the beetle was present mainly in mixed pine-oak and oak-pine forests. *Nuevo León*, *Chihuahua*, *Durango*, *Zacatecas* and *Michoacán* are the states with had the largest surface areas affected by the beetle. *Michoacán*, *Oaxaca*, *Durango*, the State of *Mexico*, *Nuevo León* and *Chihuahua* had the largest volume of timber affected by the pest. The overall test value of  $F_{2,14}$  (fixed effects) was 17.99, and the  $p$ -value was 0.0001. There are highly significant differences among the three zones analyzed, in regard to the response variable.

**Key words:** Data bases, pine forest, correlation, bark beetle, population fluctuation, insect pest.

### **Resumen**

En México, uno de los principales agentes de degradación forestal son los insectos descortezadores; entre ellos, *Dendroctonus mexicanus* es considerado uno de los más agresivos, ya que cada año afecta a varias especies de pino en México. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la distribución temporal y espacial de esta especie, a partir de las bases de datos de las notificaciones forestales oficiales, entregadas a la Secretaría de Recursos Naturales (Semarnat) de 2009 a 2018. Las bases de datos se revisaron, analizaron y depuraron. Se correlacionó la variable área ecológica (norte, centro y sur) en la superficie afectada mediante un modelo de efectos fijos. Durante el intervalo de años en estudio, el escarabajo de la corteza se distribuyó en 25 estados de la república mexicana, principalmente en la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico Transversal. Los años con mayor número de registros fueron de 2012 a 2014, con presencia en bosques de pino-encino y encino-pino. *Nuevo León*, *Chihuahua*, *Durango*, *Zacatecas* y *Michoacán* tuvieron la mayor superficie afectada por *D. mexicanus*. *Michoacán*, *Oaxaca*, *Durango*, *Estado de México*, *Nuevo León* y *Chihuahua* fueron las entidades que presentaron una mayor cantidad de madera afectada por la plaga. El valor de la prueba global de  $F_{2,14}$  (efectos fijos) fue de 17.99, y el valor  $p$  fue de 0.0001. Entre las tres zonas analizadas existen diferencias altamente significativas en cuanto a la variable de respuesta.

**Palabras clave:** Base de datos, bosques de pino, correlación, descortezador, fluctuación poblacional, insecto plaga.

Fecha de recepción/Reception date: 17 de febrero de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 7 de junio de 2021

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. México.  
Autor para correspondencia; correo-e: [romero.martin@inifap.gob.mx](mailto:romero.martin@inifap.gob.mx)

## Introducción

Los bosques son un sustento importante para las poblaciones humanas, ya que proporcionan diversos bienes y servicios ambientales (FAO, 2018). México posee un poco más de 66 millones de hectáreas de ecosistemas forestales templados y tropicales, lo cual representa 33 % del territorio nacional (INEGI, 2016); de las cuales 16 millones de hectáreas corresponden a especies de coníferas (FAO, 2014). Históricamente, las plagas de insectos han ocasionado daños a los ecosistemas forestales, como agentes causales de la disminución del crecimiento, deformaciones, debilitamiento o la muerte de los individuos hospederos; y con ello se provocan diferentes impactos ecológicos, económicos y sociales (FAO, 1993; Arguedas, 2006).

En México, se registran más de 70 especies de insectos que causan daños en los ecosistemas forestales (Semarnat, 2016a). Algunos factores naturales que facilitan el ataque de plagas son los fenómenos meteorológicos, tales como sequías, huracanes y nevadas; además de, los incendios y las actividades antropogénicas (Semarnat, 2008). La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2016a) consignó 50 483 ha afectadas por plagas y enfermedades entre 1990 y 2014, la mayor parte por descortezadores (39 %), seguida por muérdagos (32 %), defoliadores (19 %) y barrenadores (6 %).

En las últimas décadas han aumentado los brotes de plagas que dañan a miles de árboles, con las consecuentes pérdidas económicas de gran magnitud para los productores (Díaz *et al.*, 2006; del-Val y Sáenz-Romero, 2017). Los insectos descortezadores más comunes en los bosques de pino de América del Norte corresponden a los géneros: *Dendroctonus* Erichson, *Ips* De Geer, *Scolytus* Geoffroy, *Hypothenemus* Ferrari y *Tomicus* Latreille (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (Raffa *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 2013).

Bajo condiciones normales los efectos del género *Dendroctonus* son menores y solo matan unos pocos árboles aislados o en pequeños grupos; sin embargo, en ciertas

circunstancias, las poblaciones locales pueden explotar en epidemias que duran varios años y producen la muerte de miles de individuos en superficies mayores.

En México, *Dendroctonus frontalis* Dietz (1890) y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) son las especies más importantes en altitudes medianas o bajas al nivel del mar; mientras que, *Dendroctonus adjunctus* Blandford (1897) tiene mayor impacto en zonas altas (Salinas-Moreno *et al.*, 2004; Atkinson, 2017).

El descortezador mexicano (*Dendroctonus mexicanus*) representa un factor esencial en la degradación y pérdida de ecosistemas forestales en México, con implicaciones ambientales, económicas y sociales (Cibrián *et al.*, 1995; Moser *et al.*, 2005; Manzo-Delgado *et al.*, 2014). Por esta razón es necesario generar información para el desarrollo de estrategias de protección contra posibles brotes (Salinas-Moreno *et al.*, 2010) así como determinar la distribución de los taxones de descortezador para identificar zonas forestales con riesgo de infestación y propensas a ser afectadas (González-Hernández *et al.*, 2020).

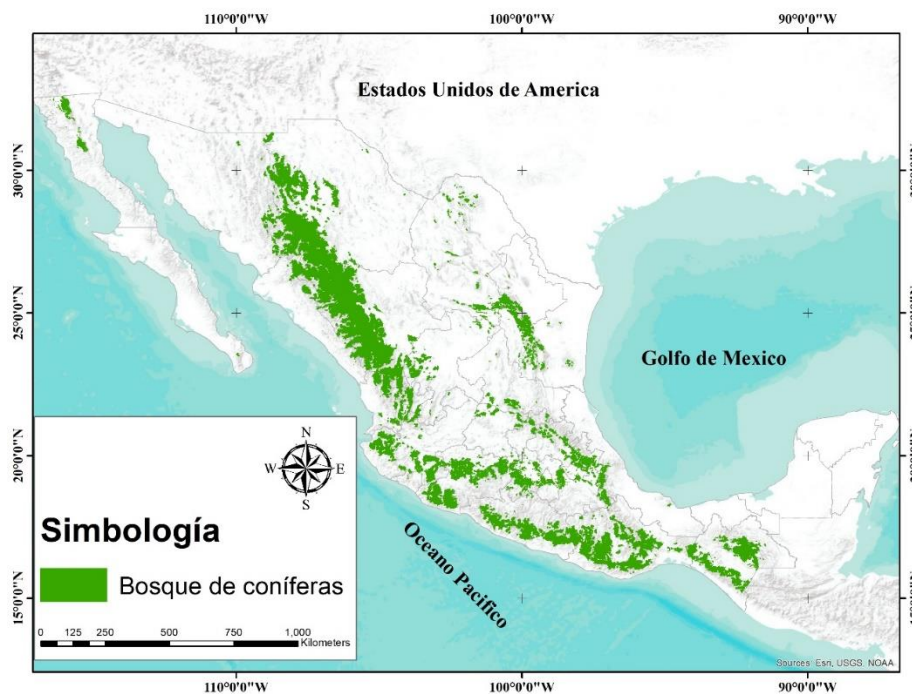
La presencia de escarabajos descortezadores puede prevenirse mediante la vigilancia, ya que la detección oportuna y un buen diagnóstico aumentan la posibilidad de erradicar y gestionar la especie problemática, además de evitar su dispersión hacia otros sitios (Sánchez-Martínez y Wagner 2009). El objetivo del presente estudio fue analizar la distribución temporal y espacial del descortezador mexicano a partir de las bases de datos de las notificaciones forestales oficiales, entregadas a la Secretaría de Recursos Naturales (Semarnat) de 2009 a 2018, para correlacionar estadísticamente las zonas con más incidencia de *D. mexicanus* a través de los años.



## Materiales y Métodos

### Área de estudio

Se consideró como referencia la distribución natural de los bosques de pino en México (Figura 1), presentes en casi todo el país con excepción de la Península de Yucatán (Rzedowski, 2006; INEGI, 2016). Fisiográficamente, predominan en la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y Sierra del Sur (INEGI, 2001). Los climas donde crecen son los templados subhúmedos [C(w)], semicálidos subhúmedos [(A)C], semiáridos y áridos (BS), semifríos subhúmedos (Cb), cálidos subhúmedos (Aw) (García y Conabio, 1998). La altitud en la que prosperan varía de 200 m hasta 4 200 m (Inegi, 2018). Las temperaturas dominantes son de 0 a 17 °C (Guevara y Arroyo, 2016; INEGI, 2016).



Fuente: INEGI (2016).

**Figura 1.** Localización de los bosques de coníferas en la república mexicana.

## Análisis de datos

Datos geográficos y generales de las notificaciones forestales. Las coordenadas geográficas de presencia del descortezador mexicano se obtuvieron de las bases de datos proporcionadas por el Departamento de Análisis y Referencia en Sanidad Forestal de la Dirección de Salud Forestal y Conservación de Recursos Genéticos, de la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos (DGGFS), de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

La información correspondió a los años de 2009 al 2018 y comprendió dos tipos:

- 1) Información sobre la plaga. Estructurada por el número de notificaciones con plaga, denominadas como "Indicador", durante los periodos 2009 al 2013 y 2014 al 2018.
- 2) Información anual. Denominada como "Indicador-geográficas" de 2009 a 2018, sobre polígonos de predios afectados por *Dendroctonus mexicanus*.

Las bases de datos fueron analizadas, en primera instancia, en el laboratorio de Análisis y Referencia en Sanidad Forestal de la DGGF; y posteriormente depuradas por especialistas del área de Sanidad Forestal del Centro Nacional en Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (Cenid Comef).

Los criterios utilizados para el filtrado de la información fueron que todas las notificaciones coincidieran con la distribución natural y hospedero del insecto, de acuerdo con lo citado por diferentes autores (Cibrián *et al.*, 1995; Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018). Además, el nombre científico registrado en las notificaciones lo validaron entomólogos del área de Sanidad Forestal del Cenid Comef.

Para fines de manejo espacial de los datos, las coordenadas geográficas consignadas en las notificaciones se transformaron a grados decimales. La información se importó al sistema de información geográfica (SIG) *ArcGis™* 10.1 para crear una capa de puntos en formato *shapefile* (shp) con los datos correspondientes a cada registro.

Posteriormente, se evaluaron los datos georreferenciados y se revisó que los vértices de los polígonos muestreados para la plaga coincidieran con el número de bitácora y la entidad política indicada. Las notificaciones que no cumplieron con este criterio se descartaron. El análisis se realizó por estado de la república. Además de filtrar la tabla de atributos de cada capa espacial por número de bitácora, para evitar duplicidad. Mediante geoprocesamiento en *ArcGis™* se adicionó información correspondiente al tipo de vegetación de cada registro, de acuerdo con la Carta de Uso de Suelo y Vegetación de la Serie 6 de INEGI (2016).

### **Análisis estadístico**

A partir de la superficie forestal afectada en cada estado, se generó la variable estimada en este estudio: superficie afectada total. Con base en su distribución geográfica, las superficies estatales se agruparon en una de las siguientes zonas: Norte, Centro y Sur (Cuadro 1). La asignación de las zonas fue con fines del análisis de la información y para respetar el arreglo original de la fuente de los datos.



**Cuadro 1.** Zonificación geográfica.

<b>Zonas</b>	<b>Estados*</b>
Norte	Aguascalientes (Ags), Chihuahua (Chih), Coahuila (Coah), Durango (Dgo), Nuevo León (NL), Sinaloa (Sin), Tamaulipas (Tamps), Zacatecas (Zac).
Centro	Ciudad de México (CDMX), Guanajuato (Gto), Hidalgo (Hgo), Jalisco (Jal), Estado de México (Méx), Michoacán (Mich), Morelos (Mor), Puebla (Pue), Querétaro (Qro), San Luis Potosí (SLP), Tlaxcala (Tlax), Veracruz (Ver).
Sur	Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Chiapas (Chis)

\*Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades (Inegi).

La categorización por grandes zonas obedeció a que factores abióticos, como periodos extendidos de sequía, pueden ser detonadores de brotes de *Dendroctonus* sp.; además, la distribución de los descortezadores se asocia a la altitud y la latitud, entre otros factores (González-Hernández *et al.*, 2020).

Para el análisis estadístico se utilizó el siguiente modelo de efectos fijos (Montgomery, 2013):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$



Donde:

$y_{ij}$  = Superficie afectada total en la entidad federativa  $i$  de la zona  $j$

$i = 1, 2, \dots, 17$

$j = 1, 2, 3$

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto de la zona  $j$

$\varepsilon_{ij}$  = Error aleatorio

Hipótesis:  $H_0: \mu_j = \mu_{j'} ; j = 1, 2; j' = 2, 3 ; H_1: \mu_j \neq \mu_{j'}$

Se calcularon las diferencias de las medias de cuadrados mínimos como medida de comparación entre las diferentes zonas. Para el caso de las pruebas de normalidad de los residuales se utilizaron las pruebas de *Shaphiro-Wilk*, *Kolmogorov-Smirnov*, *Cramer-von Misses* y *Anderson-Darling*.

Todos los análisis estadísticos, pruebas de efectos fijos y análisis de residuales del modelo se llevaron a cabo dentro del ambiente del sistema de análisis estadístico SAS® v9.3 (SAS, 2017).





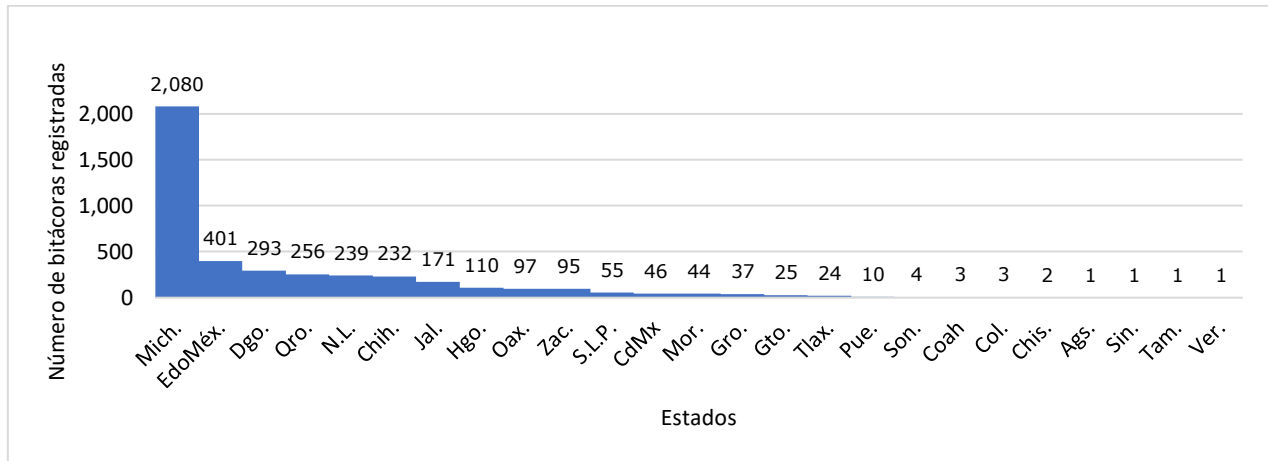
## Resultados y Discusión

### Datos generales de las notificaciones

Se obtuvieron un total de 4 231 registros del descortezador mexicano para el periodo de 2009 a 2018. Es importante señalar que *Dendroctonus mexicanus* se confunde con *D. frontalis* y *D. vitei* Wood (1974); sin embargo, se diferencia de ambas especies, confiablemente, por la forma de la varilla seminal y el ancla; en particular, se distingue de *D. vitei* por la ausencia de concavidades circulares en la cara anterior de la maza antenal (Cibrián *et al.*, 1995; Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018). Esta diferenciación es imposible llevarla a cabo en campo, por lo que se asumió que la mayoría de los registros son correctos después del control de calidad que realizaron entomólogos expertos y que se indicó en la sección de métodos.

La plaga se presentó en 25 de las 32 entidades federativas de la república mexicana, incluidas la Ciudad de México, Sonora (Atkinson, 2019) y Guanajuato; lo cual contrasta con lo señalado por Salinas-Moreno *et al.* (2010) quienes mencionan que el descortezador se distribuye en 23 estados. Michoacán tuvo el mayor número de registros, seguido por Méx, Dgo, Qro, NL y Chih. En cambio, a Ags, Sin, Tam, Ver y luego Son, Coah, Col y Chis les correspondió el menor número de registros (Figura 2).



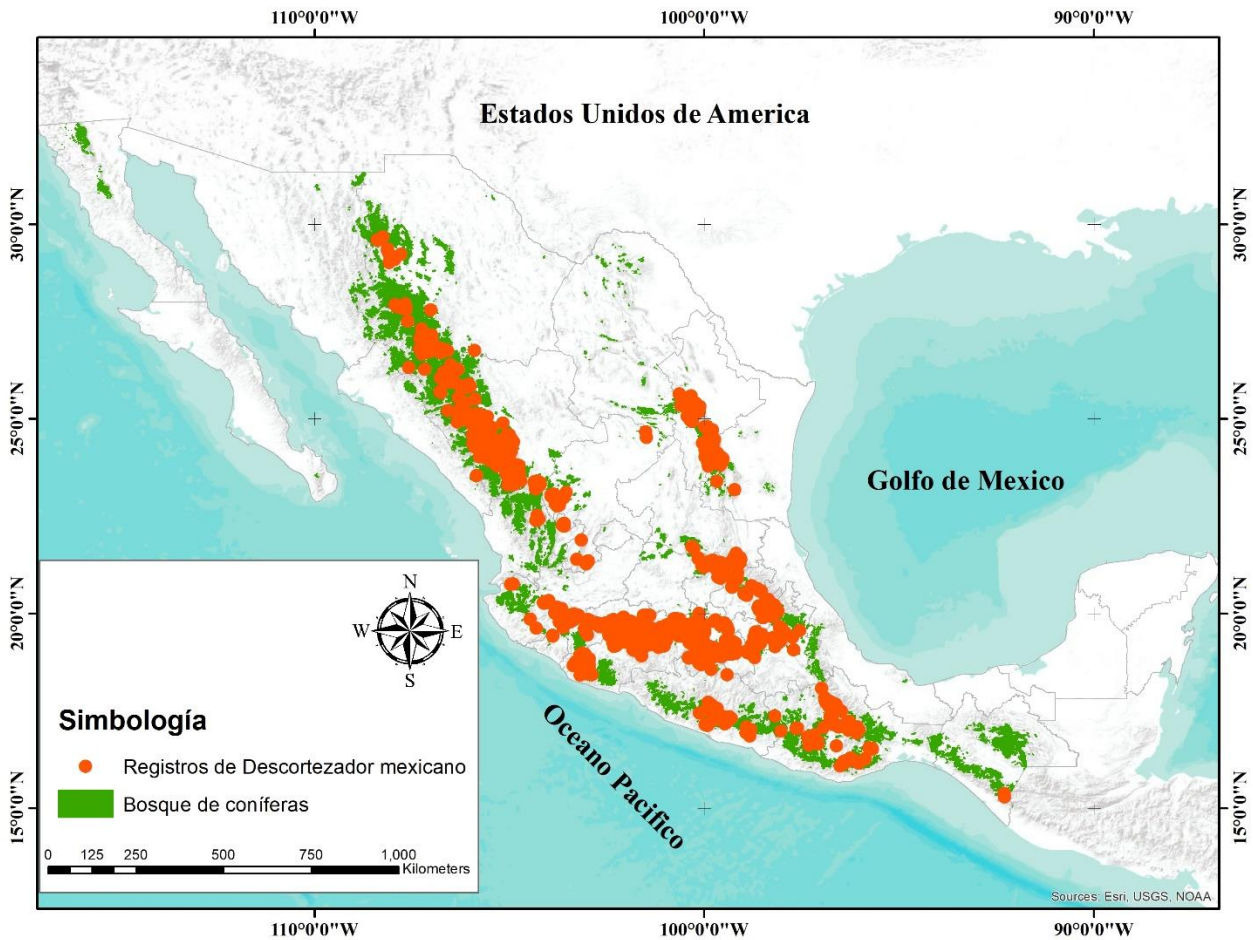


**Figura 2.** Bitácoras con registros de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) por estado (2009 a 2018).

Con respecto al número y distribución de registros del descortezador mexicano, la mayor cantidad coincide con las entidades con más producción forestal de madera; mientras que, las menos correspondieron a estados con un nivel de intermedio a bajo en producción maderable (Semarnat, 2016b).

En lo referente a su distribución espacial, se observó una tendencia de presencia dominante en el Eje Neovolcánico Transversal, seguida de la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur (Figura 3).

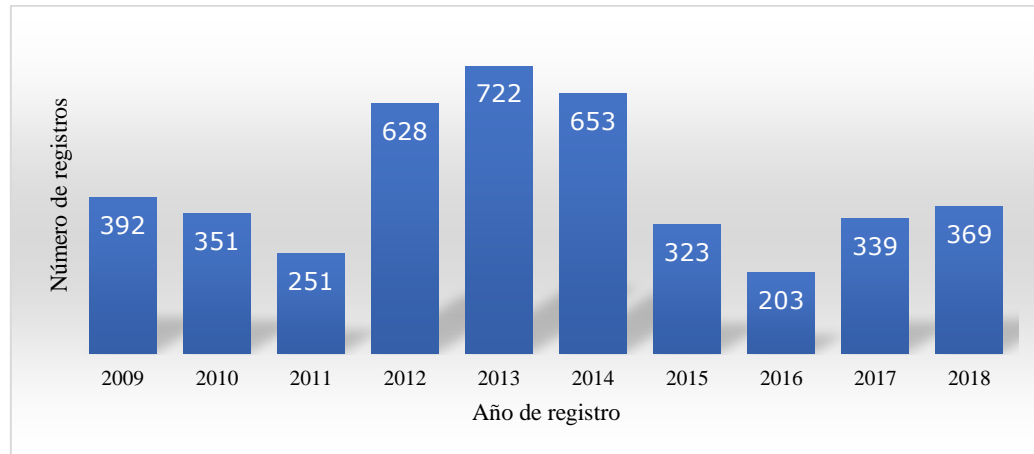




**Figura 3.** Distribución de los registros de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) en vegetación de coníferas de la república mexicana.

Los registros de la plaga mostraron un descenso en el periodo de 2009 a 2011, y un incremento de 2012 a 2014, a partir del cual descendió hasta su punto más bajo (203 casos) en 2016, para luego ascender (Figura 4).





**Figura 4.** Número de registros de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) del 2009 al 2018.

En general, los porcentajes de registros del descortezador por tipo de vegetación se describen a continuación: 72.66 % se encuentra en bosques naturales de coníferas, 47.2 % en mixtos (pino-encino) y 27.3 % en perturbados (vegetación secundaria), de acuerdo con la nomenclatura vigente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). Los datos indicaron que la dominancia del ataque se ubicó, principalmente, en bosques primarios (72.66 %).

Los estados con más presencia de *D. mexicanus* en el periodo de análisis fueron: Nuevo León, Chihuahua, Durango y Zacatecas, que representaron 59.6 % del total en el país. En relación con la superficie afectada Nuevo León, Chihuahua, Durango y Zacatecas sumaron 39 895.7 ha de bosque de pinos dañados (Cuadro 2).



**Cuadro 2.** Superficie con registro de infestación por el descortezador mexicano por estado durante el periodo 2009-2018 (en hectáreas).

<b>Núm.</b>	<b>Estado</b>	<b>Superficie afectada</b>	<b>%</b>
1	NL	15 480.9	23.1
2	Chih	10 381.1	15.5
3	Dgo	8 936.4	13.3
4	Zac	5 097.3	7.6
5	Mich	3 806.3	5.7
6	Gro	3 796.3	5.7
7	SLP	3 725.0	5.6
8	Mex	3 399.3	5.1
9	Oaxaca	2 500.3	3.7
10	Hgo	2 148.1	3.2
11	Gto	1 880.1	2.8
12	Jal	1 771.2	2.6
13	Qro	1 321.3	2.0
14	Mor	1 246.90	1.9
15	Son	523	0.8
16	Tlax	328.3	0.5
17	Chis	216.5	0.3
18	Pue	155.2	0.2
19	CDMX	107.6	0.2
20	Coah	96.4	0.1
21	Col	12	0.0
22	Ags	11.6	0.0
23	Son	6.3	0.0
24	Tam	1.5	0.0
25	Ver	0.2	0.0
	<b>Total</b>	<b>66 949.0</b>	<b>100.0</b>

Durango con 25 % de sus bosques y Chihuahua con 18 % fueron los estados con mayor superficie forestal y producción maderable afectados por descortezadores. Los que tuvieron porcentajes menores fueron Puebla (0.2 %), Ciudad de México y Coahuila (0.2 %), Aguascalientes, Colima, Sonora, Tamaulipas y Veracruz que en conjunto alcanzaron 0.05 %. Las entidades localizadas en la zona Centro del país: Jalisco, Michoacán, Estado de México, Morelos, Ciudad de México, Hidalgo, Puebla y Veracruz, sumaron 12 635 ha afectadas (equivalente a 19 % de la superficie total); región en la cual, de acuerdo con algunos autores, es común encontrar *Dendroctonus mexicanus* (Salinas-Moreno *et al.*, 2010; González-Hernández *et al.*, 2020). Con respecto a la zona Sur: Guerrero, Chiapas y Oaxaca registraron un total afectado de 6 513.1 ha (9.72 %). Cabe destacar que la superficie con presencia del descortezador mexicano en Oaxaca aumentó en la última década (Conafor, 2020).

Referente a la temporalidad de las afectaciones por descortezador durante el periodo bajo estudio, la superficie con daño fue variable; sin embargo, se observó que en el 2014 se presentó el porcentaje más alto equivalente a 34.2 % del total del periodo; mientras que, en 2013 representó 18.6 % y en 2015, 16.2 %; que correspondió a 69.1 % de afectación del total de los años evaluados.

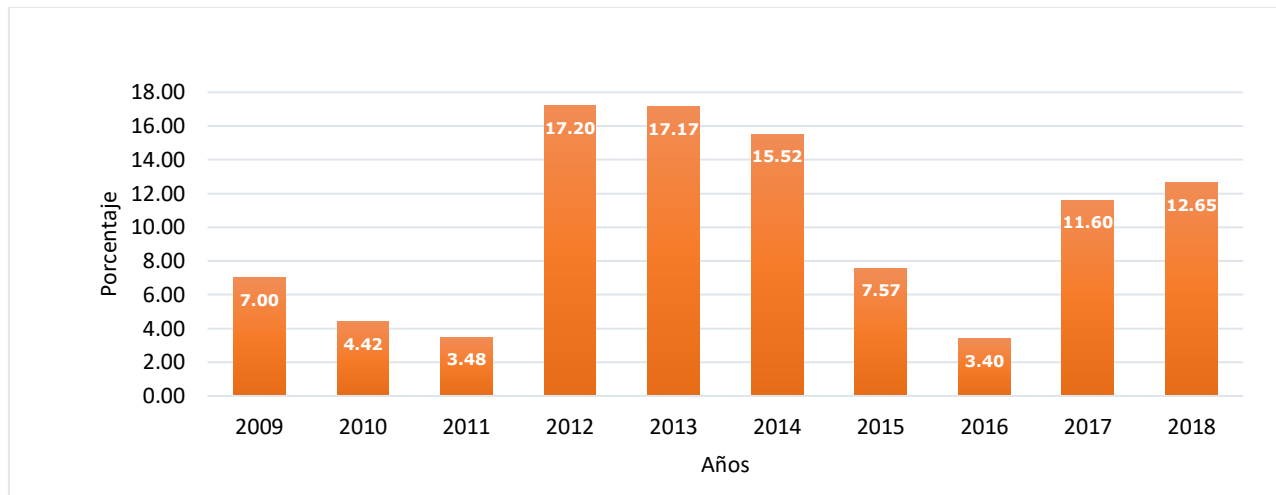
El volumen de madera dañada por *Dendroctonus mexicanus* fue superior en Michoacán, Oaxaca, Durango y Estado de México, que en conjunto sumaron 1 014 455.6 m<sup>3</sup>, equivalente a 71.1 % del total en el país. En contraste, los que tuvieron menos daños fueron Veracruz, Tamaulipas, Aguascalientes, Coahuila, Colima, Sonora y Sinaloa; los cuales acumularon 0.22 % del total (Cuadro 3). Es importante señalar que estas entidades no tienen una considerable extensión de coníferas (INEGI, 2016), excepto Sinaloa, por lo que se asume que debido a su poca superficie forestal hubo menos registros, en comparación con los otros estados.



**Cuadro 3** Volumen de madera afectada por estado en el periodo 2009 a 2018 en México.

<b>Núm.</b>	<b>Estado</b>	<b>Madera afectada (m<sup>3</sup>)</b>
1	Mich	438 198.6
2	Oax	306 006.5
3	Dgo	154 829.8
4	Méx.	115 420.7
5	NL	80 766.8
6	Chih	80 282.9
7	Gro	70 151.6
8	Qro	45 001.3
9	Jal	32 029.7
10	Hgo	27 707.9
11	Zac	19 871.6
12	SLP	15 842.4
13	CDMX	10 482.0
14	Mor	8 064.5
15	Gto	6 425.9
16	Chis	5 631.5
17	Tlax	4 954.9
18	Pue	1 735.9
19	Sin	1 400.0
20	Son	1 027.4
21	Col	219.0
22	Coah	198.8
23	Ags	140.2
24	Tam	112.5
25	Ver	7.6
	<b>Total</b>	<b>1 426 510.1</b>

Es importante notar que, durante el periodo estudiado, el volumen de madera afectada tuvo altibajos; sin embargo, la tendencia fue en aumento. De manera particular, del 2012 al 2014 hubo un acumulado de daños a la madera de casi 50 % (Figura 5).

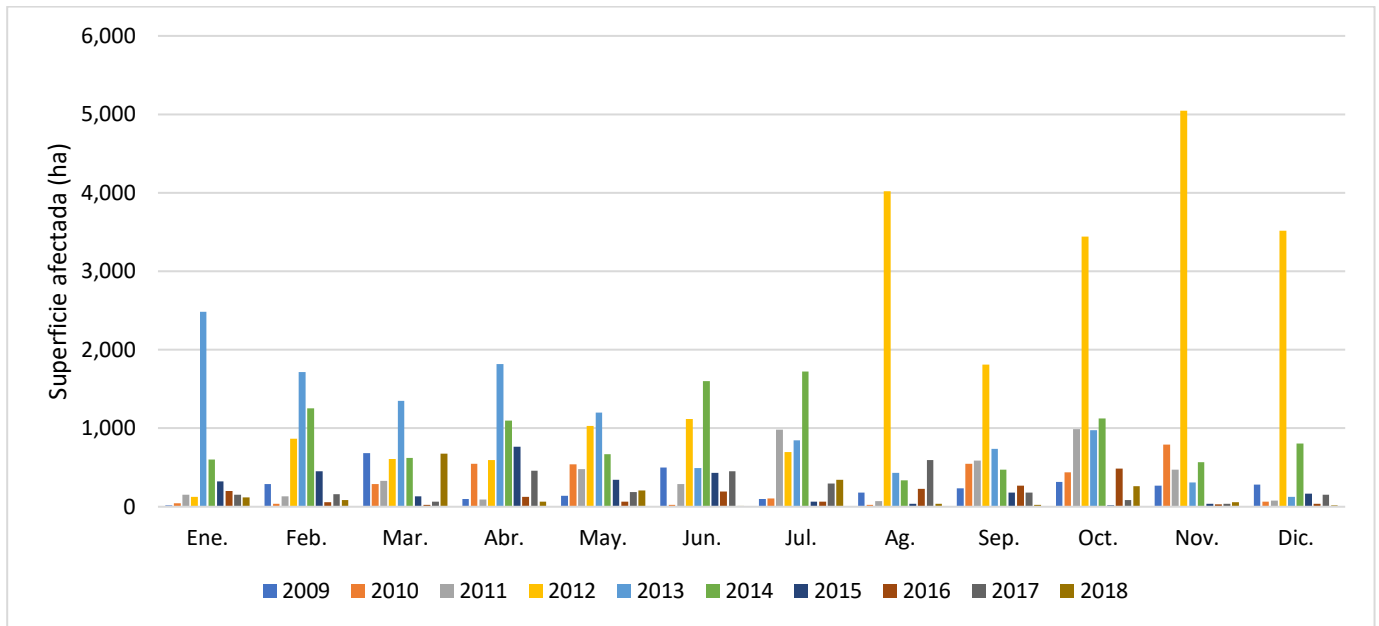


**Figura 5.** Porcentaje del volumen de madera dañada por *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) durante el periodo 2009 a 2018.

De acuerdo con Safranyik *et al.* (2010) y Rubín-Aguirre *et al.* (2015), el crecimiento poblacional de los descortezadores está limitado por variables ambientales como la temperatura y humedad, lo cual explicaría el comportamiento anual para cada zona en particular. Por ejemplo, en el 2012 los meses en los que se concentraron más registros fueron de agosto a diciembre; de enero a mayo en el 2013; y de febrero a julio en 2014 en (Figura 6); razón por la cual debe analizarse de acuerdo con las condiciones climáticas de cada estado.







**Figura 6.** Superficie afectada (ha) mensualmente en México por *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) en el periodo de 2009 al 2018.

Se detectaron, principalmente, dos picos de vuelo: entre los meses de abril a junio, y de septiembre a diciembre que dependerán de la región geográfica del país (Vázquez-Collazo *et al.*, 2007; Avilés-Carrillo *et al.*, 2016; Morales-Rangel *et al.*, 2016; del-Val y Sáenz-Romero, 2017) (Figura 6).

Los escarabajos descortezadores forman parte de la dinámica forestal, pero últimamente, al cambiar el clima, en especial con anomalías en la temperatura (por lo regular altas), las condiciones son más favorables para el desarrollo de estos insectos como plaga de los bosques templados de coníferas mexicanos (IPCC, 2014). En *Dendroctonus mexicanus* se ha demostrado una distribución preferente hacia ambientes templados, húmedos y subhúmedos, con una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C (Cuéllar *et al.*, 2012; González-Hernández *et al.*, 2020). En cuanto a la precipitación, *D. mexicanus* se ha observado en áreas con 600 a 1 200 mm de precipitación (Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018); sin embargo, en modelaciones

anteriores se indica su distribución potencial en un intervalo óptimo alrededor de los 800 mm (González-Hernández *et al.*, 2020).

La tasa de desarrollo de algunas especies de descortezadores del género *Dendroctonus*, incluido *Dendroctonus mexicanus*, dependen, principalmente, de la temperatura (Mitton y Sturgeon 1982); por ello, el comportamiento mensual estaría asociado a las condiciones particulares de temperatura para cada año y estado evaluados. Aunque se carece de datos al respecto, se ha demostrado la relación de la falta de lluvias con el aumento en el número de notificaciones de descortezadores (Esparza, 2014); lo que explicaría un repentino aumento de registros de la plaga en el periodo de 2009 al 2011, en la zona Norte de México.

### **Correlación del efecto de la zona geográfica sobre la superficie afectada total**

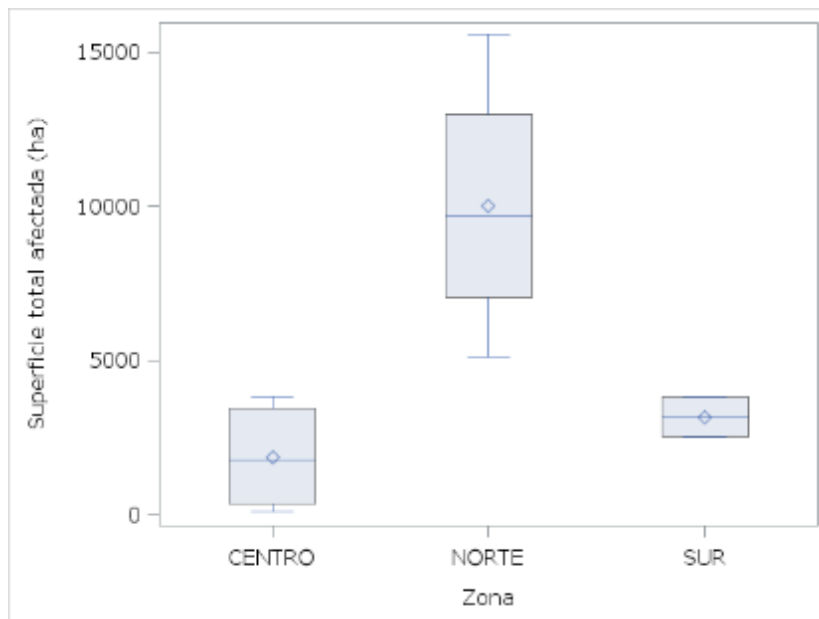
El valor de la prueba global de  $F_{2,14}$  —efectos fijos— fue de 17.99, y su correspondiente valor de  $p$  resultó de 0.0001. Entonces, se tienen evidencias suficientes para concluir que entre las tres zonas bajo estudio (Norte, Centro y Sur) existen diferencias altamente significativas respecto a la variable respuesta: superficie afectada total por descortezadores. No obstante, las medias de cuadrados mínimos resultaron diferentes de cero para la zona Centro y Norte con un nivel de significancia de 0.05; en tanto que, la zona Sur con un nivel de 0.10 (Cuadro 4).



**Cuadro 4.** Medias de cuadrados mínimos.

Zona	Estimación	Error estándar	Grados de libertad	Valor <i>t</i>	Valor <i>P</i>
Centro	1 846.13	704.65	14	2.62	0.0202
Norte	10 003.00	1 168.52	14	8.56	<0.0001
Sur	3 156.66	1 652.54	14	1.91	0.0768

La media estimada de la zona Norte (alrededor de 10 000 ha) superó por más de cinco veces a la media de la zona Centro, y fue tres veces superior a la zona Sur; asimismo, la variabilidad más alta fue característica de la zona Norte, y en la zona Sur los valores fueron más parecidos (Figura 7).



**Figura 7.** Valores medios y variabilidad de la superficie total afectada por descortezadores en función de la zona.

De manera particular, se observó que las diferencias entre las zonas Centro y Norte, así como Norte y Sur fueron altamente significativas para la variable superficie afectada total por descortezadores. Este comportamiento no se detectó en las zonas Centro y Sur (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Diferencia de medias de cuadrados mínimos.

<b>Zona <i>i</i></b>	<b>Zona <i>i'</i></b>	<b>Estimación</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Valor t</b>	<b>Valor P</b>
Centro	Norte	-8 156.38	1 364.54	14	-5.98	<0.0001
Centro	Sur	-1 310.52	1 796.50	14	-0.73	0.4777
Norte	Sur	6 845.86	2 023.94	14	3.38	0.0045

Las pruebas de normalidad indicaron que los residuales estudentizados presentan una distribución normal. Las cuatro pruebas estadísticas aplicadas tuvieron valores de *p* superiores a 0.05 (Cuadro 6), lo cual es congruente con la distribución simétrica de los residuales, cuyos extremos son menores de 3. En todo caso, cualquier violación potencial de otros supuestos del modelo no es crítica, dado que los valores de *p* correspondientes a la prueba global de efectos fijos y las diferencias de medias son contundentes; es decir, están alejados del valor referencial de 0.05.

**Cuadro 6.** Normalidad de residuales.

<b>Prueba</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor de <i>p</i></b>
<i>Shapiro-Wilk (W)</i>	0.9175	0.1342
<i>Kolmogorov-Smirnov (D)</i>	0.1718	>0.1500
<i>Cramer-von Mises (W-Sq)</i>	0.0794	0.2047
<i>Anderson-Darling (A-Sq)</i>	0.5741	0.1193

Las diferencias entre las zonas geográficas pudiesen deberse a los niveles de fragmentación de los bosques en cada región (Moreno-Sanchez *et al.*, 2012), las anomalías regionales de variables climáticas (Romero-Sanchez *et al.*, 2018) y, posiblemente, a la respuesta institucional de los organismos encargados de la sanidad forestal en los estados. Por último, las poblaciones de descortezador mexicano con alta densidad han sido responsables de pérdidas económicas, ambientales y sociales en los ecosistemas forestales (Moser *et al.* 2005; Manzo-Delgado *et al.*, 2014). Por ello, es importante identificar las zonas con mayor incidencia histórica de esta plaga para que la toma de decisiones sea adecuada tanto para el manejo del bosque, como de este descortezador en particular.

## Conclusiones

En el periodo 2009–2018, la distribución temporal y espacial de *Dendroctonus mexicanus* ha sido constante en bosques de pino, con presencia en 25 estados de la república. Las mayores superficies y volumen afectados se encuentran en los estados del del norte y centro del país, de acuerdo con los registros del periodo evaluado.

Los análisis sugieren la existencia de diferencias significativas entre las zonas Norte, Centro y Sur, respecto a la variable superficie afectada total por descortezadores; lo cual se explica, en parte, por el sesgo en las medias calculadas; ya que la media estimada de la variable superficie afectada total por descortezadores para la zona Norte es mayor, y supera por más de cinco veces a la media de la Centro, y es de tres veces superior a la Sur. Es necesario evaluar otros factores estatales, las estrategias de control y manejo, las prácticas preventivas, el presupuesto asignado para realizar un análisis más fino de las condiciones que influyen en el comportamiento temporal del descortezador mexicano.

## **Agradecimientos**

Los autores desean expresar su agradecimiento al Laboratorio de Análisis y Referencia en Sanidad Forestal de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) bajo la dirección del Ing. Oscar Trejo Ramírez; además, agradecen y reconocen a los tres revisores anónimos por sus valiosos comentarios y sugerencias para la mejora sustancial de este manuscrito.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## **Contribución por autor**

Ramiro Pérez-Miranda, Antonio González-Hernández y Martín Enrique Romero-Sánchez: conceptualización del estudio y escritura de la mayor parte del documento; Efraín Velasco Bautista: análisis estadísticos; Víctor Javier Arriola-Padilla: análisis y depuración de las bases de datos de los descortezadores; Miguel Acosta Mireles y Fernando Carrillo Anzures: soporte técnico durante el análisis de datos y escritura del manuscrito. Todos los autores revisaron y contribuyeron de manera equitativa en la revisión y redacción del documento final.

## **Referencias**

Arguedas, M. 2006. Clasificación de tipos de daños producidos por insectos forestales. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 3(9):1-8.  
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/518> (28 de enero de 2020).

- Atkinson, T. 2017. Familia *Curculionidae*: Subfamilia *Scolitinae*. In: Cibrián T., D. (Ed.). Fundamentos de Entomología Forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México, México. pp. 306-313.
- Atkinson, T. 2019. Escarabajos descortezadores y ambrosiales (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae, Platypodinae) de Sonora, México. *Dugesiana* 26(1):41-49. Doi:<http://dx.doi.org/10.32870/dugesiana.v26i1.7068>.
- Armendáriz-Toledano, F., G. Zúñiga, L. J. García-Román, O. Valerio-Mendoza y P. G. García-Navarrete. 2018. Guía ilustrada para identificar a las especies del género *Dendroctonus* presentes en México y Centroamérica. Instituto Politécnico Nacional. México, CDMX, México. 114 p.
- Avilés-Carrillo, I., S. Vergara-Pineda, V. H. Cambrón-Sandoval y J. A. Obregón-Zuñiga. 2016. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 (Curculionidae: Scolytinae) en relación a la variación en la altitud y factores climáticos en un bosque de pino en Zimapán, Hidalgo. *Entomología Mexicana* 3: 649-655.  
<http://www.socmexent.org/entomologia/revista/2016/EF/Em%20649-655.pdf>  
(7 de febrero de 2021).
- Cibrián D., J. T. Méndez, R. Campos, H. O. Yates III y J. Flores. 1995. Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo, México-SARH-USDA-FOREST SERVICE-COFAN. Chapingo, Edo. de Méx., México. 453 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2020. Diagnóstico fitosanitario del estado de Oaxaca, Primer semestre, año 2020. Gerencia Estatal Oaxaca.  
<http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/02%20Informes%20de%20acciones%20operativas/DiagnosticosEstatales/Oaxaca.pdf> (9 de marzo de 2021).

Cuéllar, R. G., A. Equihua M., E. Estrada V., T. Méndez M., J. Villa C. y N. J. Romero. 2012. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleóptera: *Curculionidae: Scolytinae*) atraídos a trampas en el noroeste de México y correlación con variables climáticas. Boletín Del Museo de Entomología de La Universidad Del Valle 13(2): 12–19. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/4356/Fluctuacion%20poblacional.pdf?sequence=1> (20 de enero de 2020).

del-Val, E. y C. Sáenz-Romero. 2017. Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: problemática actual y perspectivas en los bosques templados. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas 20(2):53-60. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.006>.

Díaz N., V., G. Sánchez. M. y N. Gillette. 2006. Respuesta de *Dendroctonus mexicanus* (Hopkins) a dos isómeros ópticos de berverona. Agrociencia 40(3): 349-354. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30240307.pdf> (18 de enero de 2020).

Esparza, M. 2014. La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. Secuencia, (89): 193-219. <https://www.redalyc.org/pdf/3191/319131309008.pdf>. (12 de febrero de 2021).

García, E.-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 1998. Climas (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (25 de marzo de 2020).

González-Hernández, A., R. Morales-Villafañá, M. E. Romero-Sánchez, B. Islas-Trejo and R. Pérez-Miranda. 2020. Modelling potential distribution of a pine bark beetle in Mexican temperate forests using forecast data and spatial analysis tools. Journal of Forestry Research 31(2): 649–659. Doi:<https://doi.org/10.1007/s11676-018-0858-4>.

Guevara M., C. E. y C. Arroyo. 2016. Pendiente, escala: 1:4 000 0 00. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (19 de enero de 2020).



Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001. Conjunto de Datos Vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Serie I. Aguascalientes, Ags., México. <https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/> (25 de marzo de 2020).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2016. Conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Serie VI (Capa Unión), escala: 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (25 de marzo de 2020).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2018. Modelo Digital de Elevación. Escala 1:50 000. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> (15 de febrero de 2020)

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. IPCC. Geneva, Switzerland. 151 p.

Manzo-Delgado, L., J. López-García and I. Alcántara-Ayala. 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. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.017>.

Mitton, J. B. and K. B. Sturgeon. 1982. Bark beetles in North American Conifers: A system for the study of Evolutionary Biology. University of Texas Press. Austin, TX, USA. 540 p.

Montgomery, D. G. 2013. Design and analysis of experiments. 8<sup>th</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, USA. 741 p.

Morales-Rangel, A., V. H. Cambrón-Sandoval, S. Vergara-Pineda y J. A. Obregón-Zuñiga. 2016. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) y su asociación con variables climáticas en bosques de pino en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, México. *Entomología Mexicana* 3:633-638.  
<http://www.socmexent.org/entomologia/revista/2016/EF/Em%20649-655.pdf>  
(31 de enero de 2020).

Moreno-Sanchez, R., J. M. Torres-Rojo, F. Moreno-Sánchez, S. Hawkins, J. Little and S. McPartland. 2012. National assessment of the fragmentation, accessibility, and anthropogenic pressure on the forests in Mexico. *Journal of Forestry Research* 23:529–541. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0293-x>.

Moser, J. C., B. A. Fitzgibbon and K. D. Klepzig. 2005. The Mexican pine beetle, *Dendroctonus mexicanus*: first record in the United States and co-occurrence with the southern pine beetle *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae or Curculionidae: Scolytinae). *Entomological News* 116(4): 253-243.  
[https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja\\_moser005.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_moser005.pdf) (10 de diciembre de 2019).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). 1993. *The Challenge of Sustainable Forest Management. What future for the world's forests?* Roma, Italia: Food and Agriculture Organization.  
<http://www.fao.org/3/t0829e/t0829e00.htm> (25 de marzo de 2020).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). 2014. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Informe nacional: México.* Roma, Italia. 261 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). 2018. *El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible.* Roma, Italia. 32 p.

- Raffa, K. F., B. H. Aukema, B. J. Bentz, A. L. Carroll, J.A . Hicke, M. Turner and W. H. Romme. 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience* 58(6): 501–517. Doi: <https://doi.org/10.1641/B580607>.
- Romero-Sanchez, M., R. Perez-Miranda, A. Gonzalez-Hernandez, M. Velasco-Garcia, E. Velasco-Bautista and A. Flores. 2018. Current and Potential Spatial Distribution of Six Endangered Pine Species of Mexico: Towards a Conservation Strategy. *Forests* 9(12): 767. Doi: <https://doi.org/10.3390/f9120767>.
- Rubín-Aguirre, A., C. Sáenz-Romero, R. Lindig-Cisneros, A. A. del-Río-Mora, C. A. Tena Morelos, R. Campos Bolaños and E. del Val. 2015. Bark beetle pests in an altitudinal gradient of a Mexican managed forest. *Forest Ecology and Management* 343: 73–79. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.01.028>.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ª. Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F., México. 504 p. [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx\\_Cont.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf) (17 de enero de 2020).
- Salinas-Moreno, Y., M. G. Mendoza, M. A. Barrios, R. Cisneros, J. Macías-Sámano and G. Zúñiga. 2004. Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. *Journal of Biogeography* 31: 1163-1177. Doi:10.1111/j.1365-2699.2004.01110.
- Safranyik L., A. L. Carroll, J. Régnière, D. W. Langor, W. G. Riel, T. L. Shore, B. Peter, B.J. Cooke, V. G. Nealis and S. W. Taylor. 2010. Potential for range expansion of mountain pine beetle into the boreal forest of North America. *The Canadian Entomologist* 142(5): 415–442. Doi: <https://doi.org/10.4039/n08-CPA01>.

Salinas-Moreno, C., F. Vargas M., G. Zuñiga, J. Victor, A. Ager y J. L. Hayes. 2010. Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México/Atlas of the geographic distribution of bark beetles of the genus *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. Instituto Politécnico Nacional-Comisión Nacional Forestal. México, D.F., México. 90 p.

Sánchez-Martínez, G. and M. R. Wagner. 2009. Host Preference and Attack Pattern of *Dendroctonus rhizophagus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): A Bark Beetle Specialist on Pine Regeneration. *Environmental Entomology* 38(4):1197–1204. Doi:<https://doi.org/10.1603/022.038.0429>.

Statistical Analysis System (SAS). 2017. SAS/STAT User's Guide: The Mixed Procedure. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 213 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2008. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales. México, D. F., México. 358 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2016a. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. México, D. F., México. 470 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2016b. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2015. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Dirección del Registro y del Sistema Nacional de Gestión Forestal. México, CDMX, México. 228 p.

Smith, S. E., M. G. Mendoza, G. Zúñiga, K. Halbrook, J. L. Hayes and D. N. Byrne. 2013. Predicting the distribution of a novel bark beetle and its pine hosts under future climate conditions. *Agricultural and Forest Entomology* 15(2): 212–226. Doi:<https://doi.org/10.1111/afe.12007>.

Vázquez-Collazo, I., G. Sánchez-Martínez y S. Madrigal-Huendo. 2007. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopk. Bajo dos condiciones de manejo forestal en Michoacán, México. Revista Ciencia Forestal en México 32(102):57-77. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/750> (10 de abril de 2020).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.