



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.1161>

Artículo

Efecto de las variables climáticas en *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae) en bosques de Hidalgo
Effect of climatic variables on *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Curculionidae) from the Hidalgo forests

José Carmen Soto-Correa¹, Guillermo Hernández-Muñoz¹, Víctor Hugo Cambrón-Sandoval^{1*}

Abstract

The temperature in northern hemisphere latitudes in the north seems to be the most important factor that determines the greater abundance of bark beetles, in the pine forests of north-central Mexico there are other climatic variables that influence this event. There is a relationship between the changes in the climatic variables that influence the changes in the abundance of *D. mexicanus*, such as temperature, precipitation, aridity index and standardized precipitation index in the pine forest of *Hidalgo*. This study consisted of monitoring the abundance of bark beetles using Lindgren-type traps. Observing in the results, a relationship is apparent between the abundance of *D. mexicanus* and climatic variables, among which the precipitation ($r^2 = 0.59$) and the standardized precipitation index ($r^2 = 0.85$) stand out. The increase in the abundance of *D. mexicanus* in pine forests in *Hidalgo* is related to changes in the regimes of climatic variables such as temperature, aridity index and especially with precipitation and standardized precipitation index.

Key words: Abundance, bark beetles, seasons, standardized precipitation index, precipitation, temperature.

Resumen

La temperatura en latitudes septentrionales en el hemisferio norte es el factor más importante que determina la abundancia de los descortezadores. En los bosques de pino del centro-norte de México existen otras variables climáticas que influyen en este suceso. Se consideró como hipótesis que existe una relación entre las variables climáticas con la abundancia de *Dendroctonus mexicanus* y se planteó como objetivo describir la abundancia de *D. mexicanus* ocurrida durante los años 2015 y 2016, en relación con las variables climáticas: temperatura, precipitación, índice de aridez e índice de precipitación estandarizado en el bosque de pino de Hidalgo, mediante el monitoreo de la abundancia de los escarabajos descortezadores con trampas tipo *Lindgren*. Se observó una correlación entre la abundancia de *D. mexicanus* y las variables climáticas, de ellas destacaron la precipitación ($r^2=0.59$, $p=0.0035$) y el índice de precipitación estandarizado ($r^2=0.85$, $p=0.0082$). La mayor abundancia de *D. mexicanus* se presentó en un ambiente de ligero a moderadamente húmedo. El aumento en la abundancia del insecto descortezador en los bosques de pino del estado de Hidalgo está correlacionado con los regímenes de variables climáticas como la temperatura, el índice de aridez y en especial con la precipitación e índice de precipitación estandarizado.

Palabras clave: Abundancia, escarabajos descortezadores, estaciones del año, índice de precipitación estandarizado, precipitación, temperatura.

Fecha de recepción/Reception date: 16 de mayo de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de noviembre de 2021

¹Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: hugo.cambron@gmail.com

Introducción

La supervivencia de los escarabajos descortezadores en latitudes más septentrionales disminuye en el invierno por ser organismos poiquilotermos; por lo que, el aumento en la temperatura ambiental regula al número de individuos (Faccoli, 2002; Safranyik *et al.*, 2010). Además, se incrementan las generaciones por año debido a que su ritmo metabólico se acelera y disminuye el tiempo de la diapausa (Amat-García *et al.*, 2005; Aukema *et al.*, 2016); lo cual sucede con *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *D. ponderosae* Hopkins y se convierten en plagas (Trần *et al.*, 2007; Safranyik *et al.*, 2010; Six y Bracewell, 2015). Es por ello, que la variación en la temperatura se considera un factor importante en el aumento de la abundancia y en la dinámica poblacional de los descortezadores a lo largo del año (Chapman *et al.*, 2012; Gaylord *et al.*, 2013; Hart *et al.*, 2014).

Existen estudios que relacionan la precipitación y eventos extremos de temperatura con una mayor abundancia de descortezadores (Chapman *et al.*, 2012; Cervantes-Martínez *et al.*, 2019). A diferencia de los eventos climáticos extremos, como olas de frío no estacional, que disminuyen las poblaciones de descortezadores durante el invierno (Sambaraju *et al.*, 2012; Weed *et al.*, 2015; Rosenberger *et al.*, 2017); lo anterior, debido a que, en presencia de un clima frío y húmedo, los insectos quedan incapacitados para colonizar a los árboles hospederos.

La temperatura y precipitación son dos variables determinantes en el ciclo de vida de los insectos (Bentz y Jönsson, 2015; Six y Bracewell, 2015), como se reconoce para *D. mexicanus* Hopkins y *D. adjunctus* Blandford (Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Six y Bracewell, 2015; Soto-Correa *et al.*, 2019). En México, se ha observado una tendencia en el incremento del número de escarabajos de *D. frontalis*, el cual se relaciona con el aumento de la precipitación; no así con la temperatura, cuando esta tiende a ser en promedio de 19 °C (Soto-Correa *et al.*, 2019).

En los bosques de pino de Hidalgo, México, los brotes de insectos plaga del género *Dendroctonus* Erichson, desde 1836 son más frecuentes y son la causa de una elevada mortandad de árboles del género *Pinus* (Servicios Forestales de Hidalgo,

2017). Al respecto, se ha documentado la muerte de individuos de *Pinus patula* Schltdl. & Cham (Fonseca-González *et al.*, 2014), *Pinus teocote* Shiede ex Schltdl et Cham y *Pinus leiophylla* Shiede ex Schltdl et Cham (Sánchez-Martínez, 2004) en grandes áreas forestales.

Dendroctonus mexicanus es una especie generalista, ya que coloniza 21 de los 47 taxones de *Pinus* presentes en México (Salinas-Moreno *et al.*, 2004); por ello es de gran importancia comprender la dinámica poblacional de los descortezadores en los pinares del estado de Hidalgo, para así proponer estrategias de manejo que permitan prevenir y controlar la incidencia de los descortezadores (del-Val y Sáenz-Romero, 2017). El presente trabajo describe la relación entre variables climáticas y la abundancia de *D. mexicanus* en el boque de pino en el estado de Hidalgo, durante los años 2015 y 2016. La importancia de este estudio radica en la falta de estudios con recolectas continuas en la distribución espacio-temporal de *D. mexicanus*. El resultado será la pauta para comprender la dinámica de la abundancia del descortezador ante escenarios de futuros cambios en la temperatura, precipitación y aridez.

Materiales y Métodos

Caracterización del sitio de estudio

El estudio se realizó en bosques de pino del estado de Hidalgo, ubicados entre 21°24'2" y 19°38'3" N, y 99°53'43" y 97°59'8" O; área que forma parte de la Franja Volcánica Transversal Mexicana y la Sierra Madre Oriental, comprende los municipios Jacala, Pacula, Metztlán y Zimapán. El bosque se presenta en un intervalo altitudinal de 1 800 a 2 600 m (Conabio, 2004). Predomina el clima templado, con temperatura media anual de 16 °C; temperatura media mínima de 4 °C en enero (mes más frío) y una media máxima de 27 °C en abril y mayo. Las lluvias ocurren en verano, durante los meses de junio a septiembre, con una precipitación promedio de 800 mm, con oscilaciones de 600 a 1 500 mm y una temporada de sequía entre octubre y mayo (Conabio, 1998, Conabio, 2004).

Sistema de muestreo de *D. mexicanus*

El muestreo consistió en el trazado de cuatro transectos, uno por localidad, situados dentro del bosque de pino-encino; los transectos se conformaron de cuatro a seis sitios de muestreo con un intervalo altitudinal de separación de 100 m (Cuadro 1). El muestreo llevó a cabo mediante un sistema de trampas pareadas. En cada sitio de muestreo se establecieron dos trampas tipo *Lindgren*, compuestas de ocho embudos; una trampa con un cebo artificial (atrayente de *Dendroctonus* Alpha-pineno + Frontalina + Endobrevicomina; *yneSrgy Semiochemicals Corporation*TM) y una trampa control sin cebo con una distancia de 50 m entre ambas. En cada trampa se instaló un vaso colector (*BioQuip*TM) en el que se colocó una mezcla de anticongelante (*Prestone af ex*TM) y alcohol 70 % en partes iguales para el sacrificio y preservación de los insectos capturados (Macías-Sámano *et al.*, 2004).



Cuadro 1. Sitios de muestreo de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins en el bosque de pino en Hidalgo, abundancias por cada sitio en ambos años y datos climáticos modelados (1961-1990).

Municipio	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)	Abundancia		TMA	PMA	DD5	IAA
				2015	2016	(°C)	(mm)	(°C)	
Metztlán	20°42'40.8"	98°46'52.9"	2 222	802	---	16.1	846	4 016	0.21
Metztlán	20°40'20.3"	98°46'43.7"	2 216	969	---	16.0	844	4 010	0.21
Metztlán	20°42'36.4"	98°46'48.1"	2 163	978	---	16.1	855	4 019	0.21
Metztlán	20°42'53.3"	98°47'40.6"	2 046	1 290	---	16.0	903	4 007	0.23
Zimapán	20°55'49.9"	99°13'38.4"	2 098	143	363	17.1	521	4 406	0.12
Zimapán	20°56'03.7"	99°13'29.5"	1 998	436	818	17.4	502	4 499	0.11
Zimapán	20°56'13.1"	99°13'19.5"	1 880	838	625	17.7	476	4 602	0.10
Zimapán	20°56'14.8"	99°13'15.5"	1 812	436	318	17.9	456	4 662	0.10
Zimapán	20°56'15.4"	99°13'09.8"	1 722	1 493	1 386	18.0	439	4 725	0.09
Zimapán	20°56'17.0"	99°13'03.8"	1 654	717	1 190	18.1	432	4 755	0.09
Pacula	20°55'46.8"	99°14'14.4"	2 117	1 535	2 063	17.1	523	4 379	0.12
Pacula	20°56'24.7"	99°13'37.2"	2 014	311	83	17.3	506	4 469	0.11
Pacula	20°56'45.7"	99°14'42.8"	1 938	246	183	17.6	489	4 553	0.11
Pacula	20°56'46"	99°14'20.3"	1 880	1 993	1 675	17.7	476	4 602	0.10
Jacala	20°54'05.2"	99°09'21.0"	1 611	1 421	281	18.3	469	4 814	0.10
Jacala	20°54'14.8"	99°09'10.6"	1 532	570	210	18.6	455	4 927	0.09
Jacala	20°54'21.5"	99°09'12.3"	1 440	998	15	18.7	447	4 974	0.09
Jacala	20°54'25.8"	99°09'15.0"	1 342	773	53	18.7	447	4 992	0.09

TMA = Temperatura media anual; PMA = Precipitación media anual; DD5 = Grados día; IAA = Índice anual de aridez; --- = No existe el dato.

La recolección de los individuos del género *Dendroctonus* se realizó desde febrero 2015, hasta diciembre 2016. Los insectos se colectaron cada 15 días; posteriormente, se trasladaron a la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro; se identificaron con base en las claves propuestas por Cibrián-Tovar et al. (1995).

Para conocer el comportamiento del clima en 2015 y 2016, se utilizaron los datos de nueve estaciones meteorológicas del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2019) cercanas a los sitios de muestreo y se analizaron los promedios por

día. Los datos históricos de temperatura y precipitación disponibles fueron desde 1945 extraídos de tres estaciones (Huichapan, Ixmiquilpan y Zacualtipán), 1955 en cinco estaciones (Actopan, El Salto, Metztitlán, Mixquiahuala y San Cristóbal) y 1975 en una estación (Presa de Endho). Se utilizaron los datos promedio diarios y mensuales puntuales cada diez años hasta 2016; también se usaron datos del índice estandarizado de precipitación (SPI) (OMM, 2012) de los años 2015 y 2016 de las estaciones citadas.

Para la modelación de las variables climáticas específicas de cada sitio de muestreo, se aplicó un modelo climático de *thin plate splines* desarrollado para México (Hutchinson, 2004; Crookston, 2010). Las variables estimadas fueron la temperatura media mensual (TMM), precipitación media mensual (PMM), índice mensual de aridez (IAM = $(DD5^{0.5})/PMM$; DD5 = grados día >5 °C). Se estimó el valor del índice estandarizado de precipitación (SPI) para Hidalgo, calculado con base en los datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2019). El SPI se estimó con los valores de 24 meses y estos se agruparon de acuerdo con las estaciones del año en México: invierno (diciembre, enero, febrero), primavera (marzo, abril, mayo), verano (junio, julio, agosto), otoño (septiembre, octubre, noviembre). El SPI es un indicador de sequía que representa parámetros como la humedad en el suelo y anomalías en precipitación, entre otros (McKee *et al.*, 1993; OMM, 2012). El análisis de los datos se realizó con el paquete estadístico SAS[®] versión 9.3 (SAS, 2004). Se hizo un análisis de correlación de *Pearson* entre la abundancia de *D. mexicanus* y las variables climáticas (temperatura, precipitación, índice de aridez, SPI) y una regresión entre el número de *D. mexicanus*, la precipitación y el índice de precipitación estandarizado (SPI).



Resultados

Dendroctonus mexicanus presentó la mayor abundancia en el año 2015 en los meses de febrero y octubre, con cerca de 3 500 individuos por mes; mientras que, la menor abundancia se presentó en el 2016, durante el periodo de junio a octubre, con abundancias menores a 500 individuos; durante los otros meses, la abundancia se mantuvo sobre los 1 000 individuos (Figura 1). Respecto a la acumulación anual de todas las trampas, se observó una abundancia más alta en 2015, con 15 949 individuos que ocurrió a una temperatura promedio anual de 16 °C y 752 mm de precipitación. En 2016, la abundancia fue menor con 9 263 individuos de *D. mexicanus* capturados, con una temperatura promedio anual de 16.4 °C y 598 mm de precipitación.

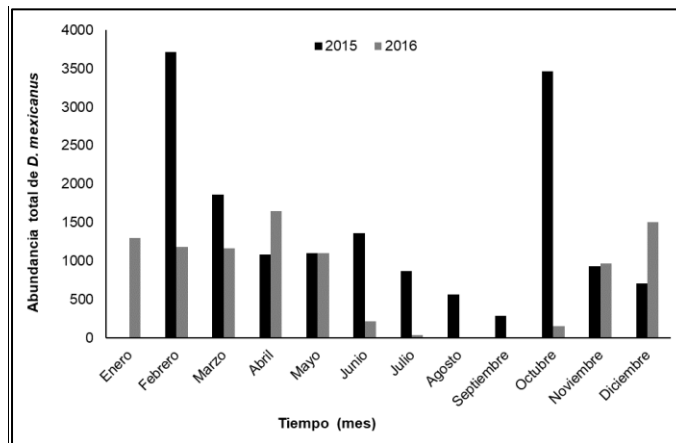


Figura 1. Abundancia total por mes de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins durante 2015 y 2016 en el bosque de pino en Hidalgo, México.

Las variables temperatura media mensual, precipitación media mensual e índice de aridez media mensual se caracterizan por presentar un patrón a lo largo del año. La temperatura es alta de marzo a septiembre; la precipitación se presenta en los meses de junio a septiembre y la aridez de noviembre a mayo (Figura 2).

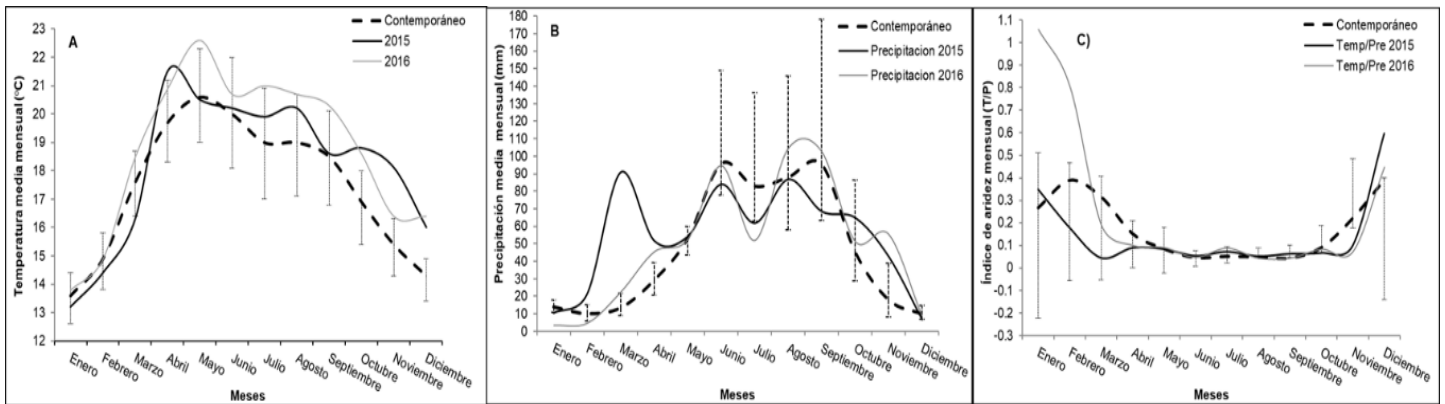


Figura 2. Temperatura mensual (A), Precipitación mensual; (B) Índice de aridez mensual; (C) en 2015, 2016 y datos contemporáneos (1963-1993) en el bosque de pino en el estado de Hidalgo.

Relación de la abundancia de *D. mexicanus* con las variables climáticas

Los resultados de correlación mostraron una baja asociación entre la abundancia de *D. mexicanus* con la temperatura media mínima en 2015 ($r = -0.51$); para 2016, con temperatura media mínima ($r = -0.63$), precipitación media mínima ($r = -0.77$), índice de aridez ($r = 0.52$) y el SPI ($r = 0.61$) (Cuadro 2). Por otro lado, existe una relación funcional entre la abundancia mensual y la precipitación media mensual para el año 2016 ($R^2 = 0.59$); mientras que, para 2015 no se observó relación (Figura 3A, Figura 3B; Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de correlación de *Pearson* (r) y de regresión (R^2) entre los datos de las estaciones climáticas cercanas a los sitios de muestreo y datos climáticos modelados en relación con la abundancia de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins durante 2015 y 2016 en el bosque de pino de Hidalgo.

Variable climática	Abundancia de <i>D. mexicanus</i>			
	Coeficiente Pearson (<i>r</i>)		Coeficiente <i>R</i> ²	
	Año	Año	Año	Año
	2015	2016	2015	2016
Temperatura media (Estaciones)	-0.47	-0.44	0.23	0.20
Temperatura media (Modelada)	-0.37	-0.41	0.14	0.17
Temperatura media máxima (Estaciones)	-0.34	-0.02	0.11	0.00
Temperatura media máxima (Modelada)	-0.19	0.00	0.04	0.00
Temperatura media mínima (Estaciones)	-0.51	-0.63	0.26	0.40
Temperatura media mínima (Modelada)	-0.44	-0.68	0.20	0.46
Precipitación media (Estaciones)	-0.16	-0.77	0.03	0.59
Precipitación media (Modelada)	-0.42	-0.86	0.18	0.74
Índice de aridez (Estaciones)	-0.11	0.52	0.01	0.27
Índice de aridez (Modelada)	0.37	0.77	0.13	0.60
Índice de precipitación estandarizado	-0.29	0.61	0.09	0.37
Temperatura máxima extrema (Estaciones)	-0.24	0.42	0.06	0.18
Temperatura mínima extrema (Modelado)	-0.62	-0.67	0.38	0.45

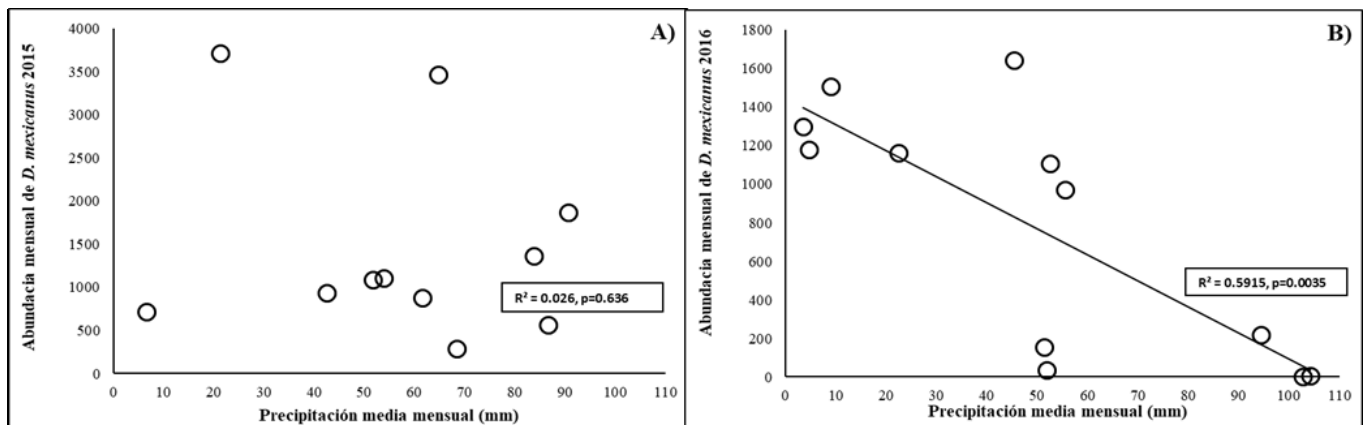


Figura 3. Análisis de regresión de la abundancia mensual de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins con la precipitación de estaciones en 2015 (A) y en 2016 (B) en el bosque de pino en Hidalgo, México.



También, se presentó una relación entre la abundancia de *D. mexicanus* y el SPI organizado en las temporadas de invierno, primavera, verano y otoño de ambos años ($r^2 = 0.854$). Se observó que para el año 2015, la abundancia de *D. mexicanus* fue alta en las cuatro estaciones del año; de la misma manera, el SPI presentó valores más altos. Para 2016 se determinó una mayor abundancia durante el invierno y la primavera; en verano y otoño se evidenció una menor abundancia (Figura 4).

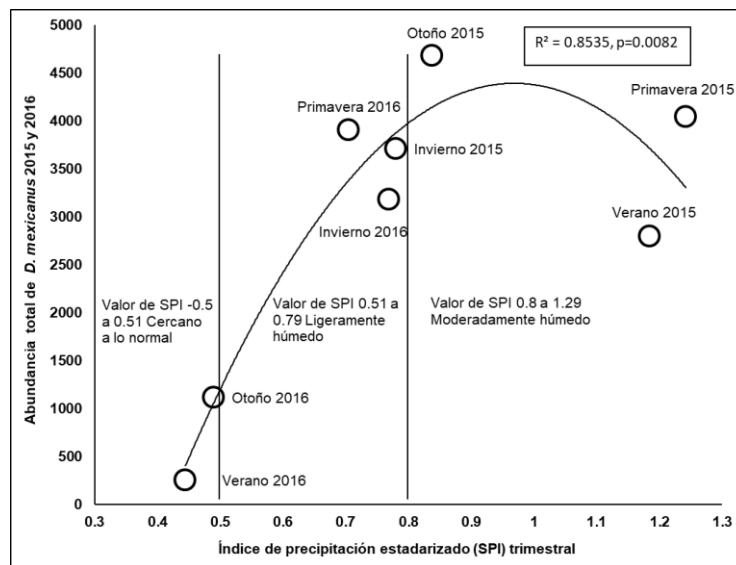


Figura 4. Relación entre la abundancia de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y los índices de precipitación estandarizados durante 2015 y 2016 en el bosque de pino en Hidalgo, México y los intervalos de SPI que indican la condición de humedad.

Discusión

El patrón de las variables climáticas, como la TMM, PMM y IAM explican parcialmente la ocurrencia de la mayor o menor abundancia de *D. mexicanus* a lo largo de los años 2015 y 2016. Por ejemplo, el intervalo de la temperatura en la zona de estudio presenta un patrón en la TMM a lo largo del año, en el cual se

observa que desciende desde noviembre hasta enero en 14 °C (-/+1 °C); posteriormente, la temperatura se incrementa de forma gradual a partir de febrero, hasta alcanzar los 20 °C (-/+2 °C) en abril y mayo; de junio a septiembre, la temperatura media disminuye a 19 °C (-/+2 °C) y se presenta el periodo de lluvias; la temperatura desciende a partir de septiembre hasta registrarse 14 °C (-/+1) en diciembre (Figura 2A).

Durante el 2015, la TMM fue superior con respecto a la histórica, en los meses de febrero, marzo y abril. Este cambio pudo ocasionar el aumento de los descortezadores durante ese periodo (Figura 2A). En otros estudios, el cambio en los regímenes de las variables climáticas provocó el aumento de la abundancia y cambios en la dinámica poblacional de los descortezadores (Chapman *et al.*, 2012; Gaylord *et al.*, 2013; Hart *et al.*, 2014; Bentz y Jönsson, 2015; Six y Bracewell, 2015; Soto-Correa *et al.*, 2019).

En los bosques de Hidalgo, la temporada de lluvias y la de secas son muy diferentes (Conabio, 1998) y los cambios en las variables climáticas son las causantes del aumento en la abundancia de los descortezadores; por ejemplo, a lo largo de 2015 ocurrieron cambios en el patrón de temperatura y precipitación, en el caso de la temperatura media mínima del mes de enero fue en promedio de 4 °C, por lo que no incidió en la disminución de las poblaciones de los descortezadores (Sambaraju *et al.*, 2012; Weed *et al.*, 2015; Rosenberger *et al.*, 2017); por ello, las temperaturas bajas cercanas a 0 °C son el factor que limita la abundancia (Hicke *et al.*, 2006; Aukema *et al.*, 2016); además, la condición idónea para la presencia de los descortezadores corresponde a una temperatura promedio de 5 a 11 °C (Hicke *et al.*, 2006).

Asimismo, un aumento en la temperatura mínima invernal de 3.3 °C ocasiona brotes epidémicos (Trần *et al.*, 2007; Bentz *et al.*, 2016). El incremento en la temperatura ambiental disminuye la mortalidad de los insectos en el invierno (Faccoli, 2002; Safranyik *et al.*, 2010). A lo anterior se sumó el patrón oscilatorio de la precipitación en el año 2015, cuando esta presentó un desfase con respecto a la histórica; en dicho año se presentaron tres picos importantes: el primero en marzo

con 90 mm (evento atípico); el segundo ocurrió en junio con 90 mm, y en julio disminuyó hasta 50 mm; el tercero, se presentó en agosto y septiembre.

Para el 2016, la precipitación fue más parecida a la histórica (Figura 2B). La presencia de lluvia en febrero provocó un menor nivel de aridez en esa temporada, en comparación con el histórico. En febrero del 2016, las condiciones climáticas (temperatura, precipitación y aridez) fueron similares a las históricas y existió una menor abundancia de *D. mexicanus*; la precipitación se presentó de manera habitual dentro de los meses de junio-septiembre, sin oscilaciones a lo largo del año. Es posible que, al no haber precipitación en febrero de ese año, el índice de aridez fuera más elevado, lo que ocasionó la mortalidad de los insectos por falta de humedad (Amat-García *et al.*, 2005).

Se estima que la temperatura media adecuada para que exista una mayor abundancia de *D. mexicanus* es de 18 °C (entre 13 y 25 °C) (Méndez-Encina *et al.*, 2020); asimismo en otro estudio se obtuvo una media óptima de 16.6 a 18 °C (Morales-Rangel *et al.*, 2018). Sin embargo, una temperatura media alta, también afecta la abundancia, como sucedió con *D. frontalis* que registró una menor abundancia con una TMM de 19 °C (Soto-Correa *et al.*, 2019). En este estudio, la temperatura media anual fue de 19 °C (con una oscilación de 14 a 21 °C). Durante todo el año, las temperaturas promedio fueron adecuadas para la existencia de una mayor abundancia de los descortezadores, sin embargo se observó que las temperaturas medias máximas pueden actuar como un factor limitante de la abundancia, como se estimó para *D. frontalis* que mostró una relación entre las temperaturas máximas superiores a 30 °C y una menor abundancia (Soto-Correa *et al.*, 2019): Lo anterior se puede atribuir a que en el ciclo de vida de los escarabajos existen estadios de crecimiento muy sensibles a la desecación (Amat-García *et al.*, 2005).

En el centro-norte de México, *D. mexicanus* vive en bosques donde se hay una asociación entre el incremento anticipado de la temperatura al finalizar el invierno

con una explosión en la abundancia de descortezadores (Hernández-Muñoz *et al.*, 2017); por otro lado, los cambios en el patrón de lluvias es otro factor que promueve una mayor abundancia de *D. mexicanus* en sitios donde la mayor parte del año, la temperatura es apropiada para su desarrollo, debido a la presencia de humedad en el ambiente como consecuencia de la precipitación (López-Gómez *et al.*, 2017; Cervantes-Martínez *et al.*, 2019). Esta relación se ha observado en 15 estados de la república mexicana (Cervantes-Martínez *et al.*, 2019).

Los ciclos de vida de los escarabajos están en concordancia y en armonía con la temporalidad del ciclo anual de la región donde habitan (Amat-García *et al.*, 2005). El cambio climático modifica la estacionalidad anual y ocasiona condiciones favorables para los escarabajos descortezadores (del-Val y Sáenz-Romero, 2017). En un estudio realizado en Hidalgo, se registraron brotes de *Dendroctonus* en 1940, 2011 y 2013, los cuales coincidieron con una menor precipitación en la época de lluvias (Cervantes-Martínez *et al.*, 2019).

Otra característica por considerar son las temperaturas mínimas promedio, que si son menores a 5 °C y las temperaturas altas superiores a 32 °C se limitaría la abundancia de los descortezadores; sin embargo, si ocurren precipitaciones se generan las condiciones adecuadas para una mayor abundancia, como sucede en diferentes tipos de escarabajos de áreas tropicales, donde la temperatura es la necesaria para cumplir con las funciones vitales y la humedad para evitar la desecación (Amat-García *et al.*, 2005).

Por otro lado, la relación que existe entre la abundancia de *D. mexicanus* y el índice de precipitación estandarizado (SPI) refuerza la importancia de la presencia de humedad en el ambiente para que la abundancia sea mayor; asimismo, esta coincide con valores más altos de SPI dentro del intervalo analizado, mientras que una menor abundancia corresponde con los valores bajos de SPI. Se observa que el SPI debe ser de ligera a moderadamente húmedo para que exista una mayor abundancia (OMM, 2012).

El presente estudio es una contribución que proporciona información sobre la abundancia de *D. mexicanus* asociada a variables climáticas; sin embargo, hace

falta ampliar el conocimiento de los procesos fisiológicos dependientes de la temperatura y precipitación, el cual hasta ahora es limitado para la mayoría de las especies de descortezadores tanto en el suroeste de Estados Unidos de América, como en México (Bentz *et al.*, 2016).

Conclusiones

Conocer cómo se relaciona la mayor o menor abundancia de *D. mexicanus* en los bosques de pino en Hidalgo, con los patrones de la temperatura, precipitación, índice de aridez y, en especial, el índice de precipitación estandarizado es muy importante debido a que permite tener una aproximación de dónde se presentan las condiciones adecuadas para la existencia de un brote de *D. mexicanus*. Este estudio genera evidencia, sobre el aumento de la abundancia de *D. mexicanus* en los bosques de Hidalgo y su relación con la humedad del ambiente, el cual debe caracterizarse por ser de poco húmedo (SPI = 0.51-0.79) a moderadamente húmedo (SPI = 0.8-1.29). Tener datos de solo dos años puede no ser suficiente para conocer la dinámica de la abundancia de *D. mexicanus*, ya que dependerá de las condiciones particulares de cada sitio.

Agradecimientos

Al fondo Conafor-Conacyt C01-234547 por el apoyo brindado para la realización del proyecto.

Conflicto de intereses

Los autores del presente artículo no tienen conflicto de interés alguno para la realización del estudio, la redacción del manuscrito, ni por la evaluación del mismo.

Contribución por autor

José Carmen Soto-Correa: análisis de datos, planeación del experimento y la redacción del manuscrito; Guillermo Hernández-Muños: identificación de los individuos, análisis de datos y redacción del texto; Víctor Hugo Cambrón-Sandoval: dirección del experimento y redacción del documento.

Referencias

Amat-García, G. Gasca H. J. y G. Amat E. 2005. Guía para cría de escarabajos. Fundación Natura-Universidad Nacional de Colombia. Banco ideas Impresores. Bogotá, Colombia. 80 p.

Aukema, B. H., F. R. McKee, D. L. Wytrykush and A. L. Carroll. 2016. Population dynamics and epidemiology of four species of *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae): 100 years since J. M. Swaine. *Canadian Entomologist* 148: S82-S110. Doi:<https://doi.org/10.4039/tce.2016.5>.

Bentz, B. J. and A. Jönsson. 2015. Modeling bark beetle responses to climate change. *In: Vega, F. and R. Hofstetter (eds). Bark Beetles: Biology of native and invasive species*, Elsevier Academic Press. Logan, UT, USA. pp. 533-553. Doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00013-7>.

Bentz, B., J Duncan and J. A. Powell. 2016. Elevational shifts in thermal suitability for mountain pine beetle population growth in a changing climate. *Forestry* 89(3): 271-283. Doi:<https://doi.org/10.1093/forestry/cpv054>.

Cervantes-Martínez, R., J. Cerano-Paredes, G. Sánchez-Martínez, J. Villanueva-Díaz, G. Esquivel-Arriaga, V. H. Cambrón-Sandoval, J. Méndez-González and L. U. Castruita-Esparza. 2019. Historical bark beetle outbreaks in México, Guatemala and Honduras (1895-2015) and their relationship with droughts. *Revista Chapingo*

Series Ciencias Forestales y del Ambiente 25(2): 269-290.
Doi:<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.006>.

Chapman, B. T., T. T. Veblen and T. Schoennagel. 2012. Spatiotemporal patterns of mountain pine beetle activity in the southern Rocky Mountains. *Ecology* 93: 2175-2185. Doi:<https://doi.org/10.1890/11-1055.1>.

Cibrián-Tovar, D. Méndez-Montiel, J. T. Campos-Bolans, R. Yates-Ho III y Flores-Lara, J. 1995. Insectos forestales de México/ Forest Insects of Mexico. Universidad Autónoma Chapingo. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, SARH, México, Forest Service, USDA, USA. Natural Resources Canada, Comisión Forestal de América del Norte, FAO. Texcoco, Edo. de Méx., México. 453 p.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 1998. 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México, D.F., México. s/p.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2004. Ordenamiento Ecológico Territorial de la región de "Los Mármoles" Hgo. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfDQ006_3a_parte.pdf (1 de julio de 2019).

Crookston, N. 2010. Research on forest climate change: Potential effects of global warming on forests and plant climate relationships in western north America and Mexico. <http://charcoal.cnre.vt.edu/climate> (4 de julio de 2019).

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>.

Faccoli, M. 2002. Winter mortality in sub-corticolous populations of *Ips typographus* (Coleoptera, Scolytidae) and its parasitoids in the south-eastern Alps. Journal of Pest Science 75: 62-68. Doi:<https://doi.org/10.1034/j.1399-5448.2002.02017.x>.

Fonseca-González, J., H. De los Santos-Posadas, A. Rodríguez-Ortega y R. Rodríguez-Laguna. 2014. Efecto del daño por el fuego y descortezadores sobre la mortalidad de *Pinus patula* Schl. et Cham en Hidalgo, México. Agrociencia 48: 103-113. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n1/v48n1a7.pdf> (16 de marzo de 2021).

Gaylord, M. L., T. E. Kolb, W. T. Pockman, J. A. Plaut, E. A. Yopez, A. K. Macalady, R. E. Pangle and N. G. McDowell. 2013. Drought predisposes piñon-juniper woodlands to insect attacks and mortality. New Phytologist 198: 567-578. Doi:<https://doi.org/10.1890/13-0230.1>.

Hart, S. J., T. T. Veblen, K. S. Eisenhart, D. Jarvis and D. Kulakowski. 2014. Drought induces spruce beetle (*Dendroctonus rufipennis*) outbreaks northwestern Colorado. Ecology 95: 930-939. Doi:<https://doi.org/10.1111/nph.12174>.

Hernández-Muñoz, G., J. C. Soto-Correa, V. H. Cambrón-Sandoval y I. Avilés-Carrillo. 2017. Explosión de la abundancia de descortezadores, un acontecimiento adelantado a la primavera en el bosque de pino en Hidalgo. Entomología Forestal 525-530.

http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2017/EF/EM1912017_525-530.pdf (4 de diciembre de 2020).

Hicke, J. A., J. A. Logan, J. Powell and D. S. Ojima. 2006. Changing temperatures influence suitability for modeled mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) outbreaks in the western United States. Journal of Geophysical Research Biogeosciences 111:2-12. Doi:<https://doi.org/10.1029/2005JG000101>.

Hutchinson, M. F. 2004. Anusplin (computer program) version 4.3. The Australian National University. Centre for Resource and Environmental Studies. Canberra, Australia. n/p.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2019. Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC), Software. Semarnat. México. <https://www.imta.gob.mx/es/productos/software/eric-iii-version-3-2-extractorrápido-de-informacion-climatolo-detail> (20 de agosto de 2018).

López-Gómez, V., B. Torre-Huerta, J. F. Reséndiz-Martínez, G. Sánchez-Martínez and A. R. Gijón-Hernández. 2017. Influence of climatic parameters on the population fluctuations of the complex *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1869 and *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8:7-29. Doi:<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.668>.

Macías-Sámano, J. E., A. Niño-Domínguez, J. Cruz-López, R. Altúzar-Mérida y O. Maldonado. 2004. Monitoreo de descortezadores y sus depredadores mediante el uso de semioquímicos: Manual operativo 2ª ed. El Colegio de la Frontera Sur, Ecosur Conafor. CONANP-USDA Forest Service. Tapachula, Chis, México. 11 p.

Méndez-Encina, F. M., J. Méndez-González y J. Cerano-Paredes. 2020. Distribución actual y potencial de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins bajo dos escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques* 26(2): 1-14. Doi: [10.21829/myb.2020.2622002](https://doi.org/10.21829/myb.2020.2622002).

McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. *In: Eighth Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society. January 17-22. Anaheim CA, USA. pp. 179-186.

Morales-Rangel, A., V. H. Cambrón-Sandoval, J. C. Soto-Correa, R. W. Jones y J. A. Obregón-Zuñiga. 2018. Efecto de la temperatura en poblaciones de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) bajo un escenario de cambio climático en la Sierra Gorda.

Acta Zoológica Mexicana (nueva serie) 34: 1-8.
Doi:<http://dx.doi.org/10.21829/azm.2018.3412141>.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2012. Índice normalizado de precipitación, Guía del usuario. No. 1090. Ginebra, Suiza 15 p.

Rosenberger, W. D., B. H. Aukema and R. C. Venette. 2017. Cold tolerance of mountain pine beetle among novel Eastern pines: A potential for trade-offs in an invaded range? *Forest Ecology and Management* 400: 28-37.
Doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.031>.

Safranyik, L., A. L. Carrol, 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, Y., A. Ager, C. F. Vargas, J. L. Hayes and G. Zúñiga. 2010. Determining the vulnerability of Mexican pine forests to bark beetles of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Forest Ecology and Management* 260: 52-61. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.029>.

Salinas-Moreno, Y., M. G. Mendoza, 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:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01110.x>.

Sambaraju, R. K., A. L. Carroll, J. Zhu, K. Stahl, R. Dan Moore and B. H. Aukema. 2012. Climate change could alter the distribution on mountain pines beetle outbreaks in western Canada. *Ecography* 35: 211-223. Doi:<https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.06847.x>.

Sánchez-Martínez, G. 2004. Diagnóstico fitosanitario de los bosques de pino, pino-encino y encino-pino en la sierra Fría, Aguascalientes. INIFAP. Campo Experimental de Pabellón de Arteaga. Folleto Técnico. Pabellón de Arteaga, Ags, México. 30 p.

Statistical Analysis System (SAS). 2004. SAS / STAT 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NA, Carolina, USA. 4975 p.

Servicios Forestales de Hidalgo. 2017. Información climatológica, Hidalgo. <https://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=hgo> (2 de julio de 2019). Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2019. Información climática del estado de Hidalgo. <https://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=hgo> (5 de julio de 2019).

Six, D. L. and R. R. Bracewell. 2015. Chapter 8. *Dendroctonus*. In: Vega F., E. and R. W. Hofstetter (eds.). Bark beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species. Academic Press. San Diego, CA, USA. pp. 305-350.

Soto-Correa, J. C., I. Avilés-Carrillo, D. Girón-Gutierrez y V. H. Cambrón-Sandoval. 2019. Abundancia altitudinal de *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae) en relación a variables climáticas en Hidalgo, México. *Revista de Biología Tropical* 67: 370-379. Doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i3.34436>.

Trần, J. K., T. Ylioja, R. F. Billings, J. Régnière and M. Ayres. 2007. Impact of minimum winter temperatures on the population dynamics of *Dendroctonus frontalis*. *Ecological Applications* 17: 882-899. Doi: <https://doi.org/10.1890/06-0512>.

Weed, S. A., B. Bentz, M. P. Ayres and T. P Holmes. 2015. Geographically variables response of *Dendroctonus ponderosae* to winter warming in the western United States. *Landscape Ecology* 30: 1075-1093. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0170-z>.



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.