



**Influencia de parámetros climáticos sobre las
fluctuaciones poblacionales del complejo *Dendroctonus
frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus*
Hopkins, 1909**

Víctor López Gómez¹

Brenda Torres Huerta²

José Francisco Reséndiz Martínez^{3*}

Guillermo Sánchez Martínez⁴

Adriana Rosalía Gijón Hernández³

¹Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

²Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.

³Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. México.

⁴Campo Experimental Pabellón. CIR-Norte Centro. INIFAP. México.

*Autor por correspondencia: José Francisco Reséndiz Martínez, Correo-e:

resendiz.francisco@inifap.gob.mx



Resumen:

Los escarabajos descortezadores son los responsables de la pérdida de masa forestal en México como la segunda causa, por lo que conocer los factores que aumentan la probabilidad de brotes activos ayudará a tomar mejores decisiones para su control. Los objetivos del presente trabajo consistieron en determinar la influencia de ocho parámetros climatológicos sobre las fluctuaciones poblacionales de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* en dos municipios de la Sierra Gorda de Querétaro; así como elaborar modelos matemáticos de predicción. En un monitoreo de diez meses se observó que sólo seis parámetros (temperatura, precipitación, presión atmosférica, temperatura del viento, sensación térmica y cociente temperatura/humedad) se relacionan con el número de escarabajos de ambas especies, mismas que solo se reconocieron en un solo municipio; mientras que la humedad relativa y velocidad del viento no tuvieron ningún efecto. La sensación térmica y la presión atmosférica influyeron más en el tamaño de las poblaciones de *D. frontalis*, mientras que la precipitación acumulativa lo hizo para *D. mexicanus*. Se concluye que existen condiciones atmosféricas que se asocian con las variaciones numéricas de los escarabajos descortezadores, adicionales a las que por lo general se prueban (temperatura y humedad). Los componentes climáticos que explican las diferencias más importantes tienen un efecto particular en función de la especie del coleóptero; finalmente, la distancia de la estación meteorológica que los registra debe considerarse al interpretar tal relación pues puede generar una alta incertidumbre.

Palabras clave: Bosque templado, escarabajos descortezadores, feromonas de agregación, modelos predictivos, monitoreo, trampas *Lindgren*.

Introducción

Las plagas y enfermedades constituyen un factor importante en la preservación de los ecosistemas forestales. En México, el promedio de la superficie con problemas fitosanitarios fue de 51 mil ha entre 1999 y 2010, y uno de los agentes causales de mayor importancia fueron los escarabajos descortezadores (principalmente los géneros *Dendroctonus*, *Ips* y *Xyleborus*) con 15 mil ha infestadas en promedio anual (Díaz, 2005; Semarnat, 2012).

Sin embargo, los escarabajos descortezadores son cruciales en la regeneración de los sistemas forestales, ya que, de manera natural, sólo atacan y matan árboles enfermos o individuos longevos, lo que mantiene al bosque en un estado saludable y productivo. Bajo ciertas condiciones, los ciclos de vida de estos insectos se aceleran, por lo que las poblaciones aumentan de tamaño y se convierten en plagas, lo que conduce a pérdidas de grandes extensiones de bosques. Los brotes de las plagas del género *Dendroctonus* se han intensificado en los últimos años en varios estados de la república mexicana, sobre todo en la parte norte y centro; en 2013 la superficie afectada por estos insectos superó a la dañada por los incendios forestales (12 %) (McFarlane y Witson, 2008; Moore *et al.*, Allard, 2009; CCMSS, 2012; Cuellar *et al.*, 2012; Durán y Poloni, 2014).

Querétaro es uno de los estados en dónde se registraron infestaciones altas por descortezadores, principalmente por *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *D. mexicanus* Hopkins, 1909. En 2012 se presentó una contingencia fitosanitaria en varios municipios pertenecientes a la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, con daños aproximados de 71 000 m³ de madera (Cibrián *et al.*, 2014).

La ecología de los escarabajos descortezadores es compleja y dinámica y en los últimos años se han buscado alternativas de prevención y manejo. Algunos estudios se han enfocado en determinar la influencia de los parámetros climatológicos sobre

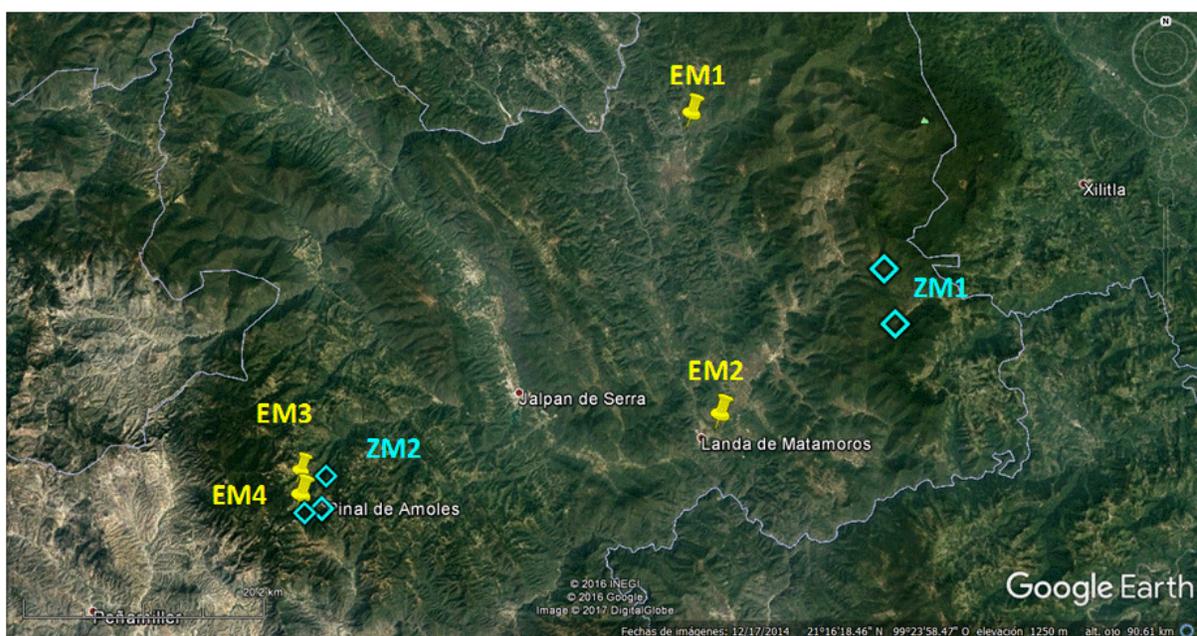
el incremento de sus poblaciones con el fin de generar sistemas de previsión de situaciones epidémicas, ya que se ha documentado que las poblaciones de estos descortezadores se regulan, en parte, por las condiciones ambientales (Flores, 1977; Olivera, 2014).

Sin embargo, en la actualidad existen pocos registros y sus resultados son contrastantes, lo que hace necesario fortalecer las evidencias que exhiban las principales tendencias y permitan identificar los parámetros climáticos que tienen una mayor influencia sobre las fluctuaciones de estos escarabajos. Asimismo, este tema cobra mayor relevancia ya que se ha observado un aumento en el número de generaciones por año y un incremento en la extensión de estas especies por el cambio climático (Moore y Allard, 2009; Rivera *et al.*, 2010; Bentz *et al.*, 2010); así, un mayor conocimiento de la respuesta de estos insectos a su ambiente abiótico brindará los elementos para ubicar las zonas de probable riesgo al ataque de descortezadores, elaborar escenarios y tomar las precauciones necesarias.

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo consistieron en determinar la relación de ocho parámetros climáticos (temperatura, humedad, precipitación, presión atmosférica, velocidad del viento, temperatura del viento, sensación térmica y el cociente entre la temperatura y la humedad), con las abundancias de dos escarabajos descortezadores de importancia ambiental y comercial (*D. frontalis* y *D. mexicanus*), a partir de un monitoreo de 10 meses en dos municipios de la Reserva de la Biosfera de la Sierra Gorda de Querétaro (Landa de Matamoros y Pinal de Amoles). Además, generar modelos matemáticos que estimen el tamaño de la población de estos escarabajos, con ello se pretende aportar evidencias para diseñar modelos predictivos en el futuro que permitan prever la aparición de brotes activos para que se realicen acciones de control. Actualmente, los modelos que atienden el problema son muy escasos, pero destaca el trabajo de Cuellar *et al.* (2012) en el que los autores describieron un modelo matemático de esta índole.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en bosques de pino de los municipios Landa de Matamoros y Pinal de Amoles dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Querétaro, donde predominan *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham y *P. greggii* Engelm. En el municipio Pinal de Amoles se seleccionaron tres sitios de monitoreo (*i.e.*, La Gachupina, Camposanto y Tejamanil), y en Landa de Matamoros, dos (Pinalito de la Cruz y El Madroño) (Figura 1). Los sitios reúnen pinos con fustes mayores a 15 cm de diámetro normal y con infestación por insectos descortezadores del complejo *D. mexicanus* y *D. frontalis*.



EM1 = Tancoyol; EM2 = Landa de Matamoros; EM3 = Pinal de Amoles; EM4 = Puerta del Cielo; ZM1 = Landa de Matamoros; ZM2 = Pinal de Amoles.

Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas (EM) y zonas de monitoreo (ZM) en los municipios Pinal de Amoles y Landa de Matamoros, Querétaro.

En cada lugar de monitoreo se establecieron cuatro trampas de embudo tipo *Lindgren* de 12 conos en donde se pusieron al azar feromonas comerciales de agregación (dos con frontalina y dos con endo-brevicomina), además de alfa-pineno para cada caso (*Synergy*). En los contenedores de cada trampa se colocó una tira plástica de 2 cm impregnada con un insecticida de baja toxicidad compuesto por Geraniol (2.48 %) y Lavandin (1.86 %), para evitar el escape de los insectos y prevenir su depredación.

El monitoreo consistió en colectas quincenales durante 10 meses (de abril de 2014 a enero de 2015) y los cebos fueron reemplazados cada mes y medio para mantener su efecto atrayente. Los insectos capturados en las trampas se preservaron en alcohol al 70 %, para después trasladarlos al Laboratorio de Sanidad Forestal del Cenid-Comef (INIFAP), donde se contabilizaron y se determinaron los descortezadores del género *Dendroctonus* a nivel especie por su morfología (Wood, 1963; Cibrián *et al.*, 1995) y mediante la extracción de la varilla seminal (Perusquía, 1978; Ríos *et al.*, 2008). Sólo se determinó 10 % de la muestra cuando el número de insectos superó los 1 000 individuos. A partir de los registros quincenales se determinó la abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* para cada mes (con la sumatoria de los organismos recolectados de todas las trampas).

La información relativa al clima procede de cuatro estaciones meteorológicas y fue proporcionada por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) de la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda de Querétaro (con registros cada 30 minutos) y del Centro de Investigaciones del Agua Querétaro (CIAQ) de la Universidad Autónoma de Querétaro (con datos por minuto). Los parámetros considerados fueron temperatura, humedad, precipitación, presión atmosférica, velocidad del viento, temperatura del viento, sensación térmica, y el cociente entre la temperatura y la humedad (T/H); de cada uno de los cuales se determinó la media por mes, mientras que el cociente de temperatura/humedad se calculó con base en las medias mensuales. Cabe señalar que, debido a fallas técnicas de las estaciones

meteorológicas, no se contó con los datos completos y, por lo tanto, el número de días para cada mes varió entre 8 y 31 (Cuadro 1).

En este estudio se incorporó el mayor número posible de componentes atmosféricos, ya que brindan un panorama más completo de las condiciones prevalecientes. Así, es factible probar las posibles relaciones entre parámetros poco utilizados y las poblaciones de escarabajos descortezadores; ya que la mayoría de los trabajos de esta índole solo manejan temperatura y humedad.

Cuadro 1. Relación de los meses y días disponibles de los registros procedentes de las estaciones meteorológicas de la Reserva de la Biósfera de la Sierra Gorda de Querétaro.

Meses registrados	Intervalo de los días registrados	Institución	Estación meteorológica (municipio)
mayo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre de 2014 y enero de 2015	10-31	Conanp	Puerta del Cielo (Pinal de Amoles)
abril, agosto y septiembre de 2014	9-31	CIAQ	Poblado de Pinal de Amoles (Pinal de Amoles)
junio, julio, agosto, septiembre y diciembre de 2014	12-28	Conanp	Tancoyol (Landa de Matamoros)
abril, mayo, octubre y noviembre de 2014 y enero de	8-18	CIAQ	Poblado de Landa de Matamoros

2015

(Landa de Matamoros)

Los registros de escarabajos de las localidades del municipio Landa de Matamoros se asociaron con las estaciones meteorológicas de Tancoyol y la del poblado de Landa de Matamoros, mientras que los datos de las localidades de Pinal de Amoles se vincularon con las estaciones de Puerta del Cielo y la del poblado de Pinal de Amoles.

Se realizaron pruebas de correlación de *Spearman* para cada municipio con la finalidad de determinar la relación entre las abundancias de *D. frontalis* y *D. mexicanus* con los ocho parámetros climáticos de cada mes. Se utilizó una prueba no paramétrica porque los datos no tuvieron una normalidad en su distribución (Figura 2).

Posteriormente, se hicieron análisis de regresión lineal (con una prueba de ANOVA de significancia) solo si las correlaciones fueron significativas ($P < 0.05$). Para cada caso, los datos fueron transformados con el logaritmo base 10 para obtener los diferentes modelos matemáticos (lineal, logarítmico, exponencial y potencial). El mejor ajuste se determinó a partir del coeficiente de determinación (R^2) y los modelos matemáticos con la técnica de mínimos cuadrados.

Resultados

En total se colectaron 136 409 escarabajos descortezadores en ambos municipios, de los cuales 121 841 fueron de *D. frontalis* y 14 568 de *D. mexicanus* (Cuadro 2).

Respecto a los registros de Pinal de Amoles, se obtuvieron correlaciones positivas y significativas entre la temperatura, la temperatura del viento, la sensación térmica y el cociente T/H con la abundancia de ambas especies de descortezadores (*D.*

frontalis y *D. mexicanus*), así como relaciones negativas y significativas entre la precipitación y la presión atmosférica con las mismas| (figuras 2 y 3). Por otra parte, no se presentaron relaciones significativas entre las abundancias de las dos especies de escarabajos y dos de los parámetros climáticos (humedad y velocidad del viento).

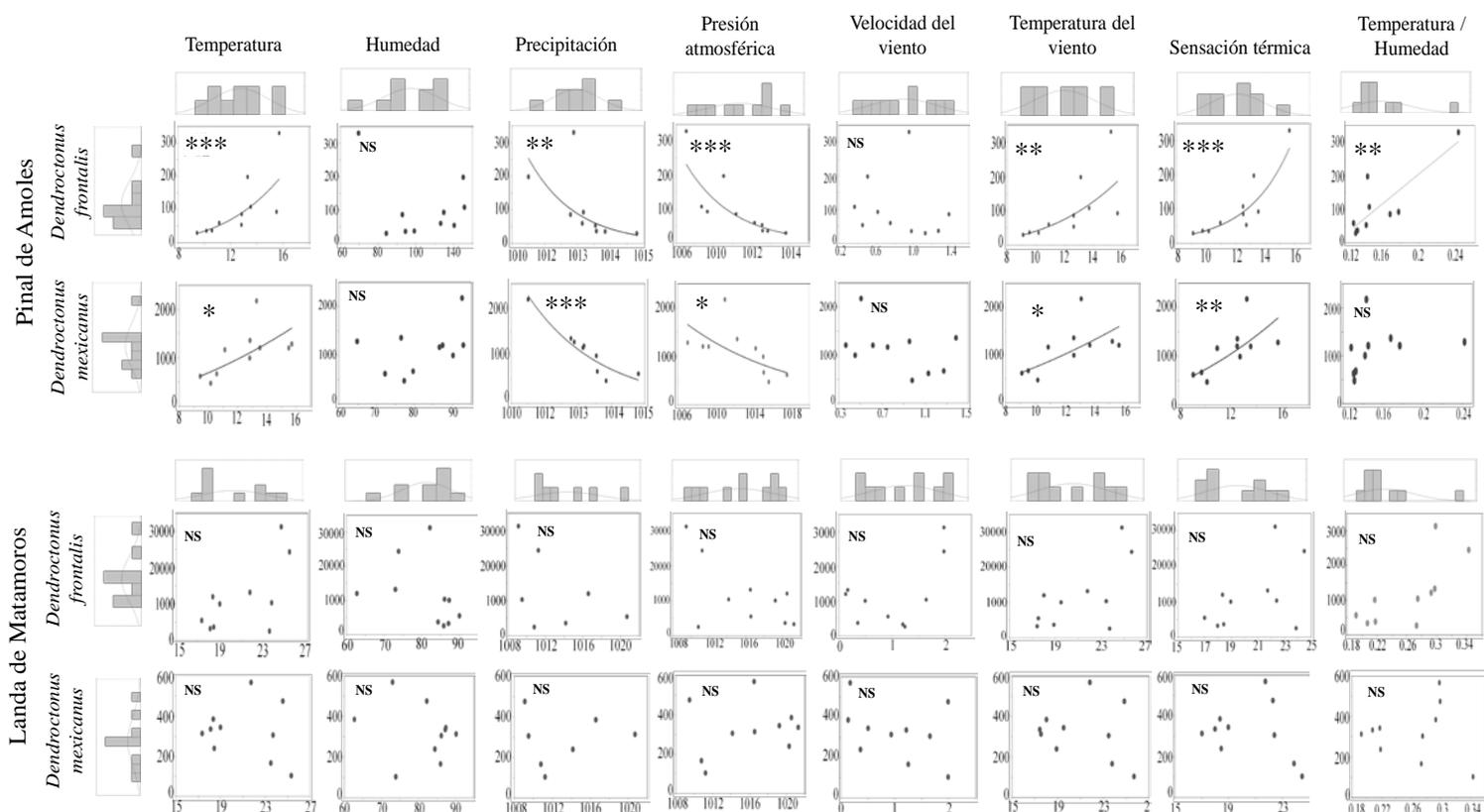
Cuadro 2. Número de individuos colectados de cada especie de escarabajo descortezador en los dos municipios de la Reserva de la Biósfera de la Sierra Gorda de Querétaro.

Municipio	Especie	
	<i>Dendroctonus frontalis</i>	<i>Dendroctonus mexicanus</i>
Pinal de Amoles	956	11 326
Landa de Matamoros	120 885	3 242

De las correlaciones significativas, los parámetros climáticos que explican una mayor variación de las abundancias de *D. frontalis* en Pinal de Amoles fueron (en orden de descendente): la presión atmosférica, la sensación térmica, la temperatura, la temperatura del viento y la precipitación. En contraste, para *D. mexicanus* fueron la precipitación, la sensación térmica, las dos temperaturas y la presión atmosférica (Cuadro 3).

A partir de las regresiones significativas, los mejores modelos matemáticos entre el número de escarabajos descortezadores y los parámetros climáticos fueron principalmente de tipo potencial y exponencial. Para el primero, se verificó entre la temperatura y la temperatura del viento para ambas especies y la sensación térmica para el número de *D. mexicanus*. El modelo exponencial se confirmó para las dos especies de plagas cuando se relacionó con la presión atmosférica y la precipitación, y solo entre la sensación térmica y la abundancia de *D. frontalis*.

Asimismo, se obtuvo un solo modelo lineal significativo entre los individuos registrados de *D. frontalis* y el cociente T/H (Cuadro 3). Por otra parte, los datos del municipio Landa de Matamoros no mostraron correlaciones significativas de los parámetros climáticos con ambas especies de descortezador (Figura 2 y Cuadro 4).



NS = No significativo; * = < 0.05; ** = < 0.01; *** = < 0.001.

Figura 2. Correlaciones entre las abundancias del complejo *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868, *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 y ocho parámetros climáticos de los municipios Pinal de Amoles y Landa de Matamoros en la Reserva de la Sierra Gorda de Querétaro.

Cuadro 3. Resultados de las correlaciones entre las abundancias del complejo *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 y ocho parámetros climáticos del municipio Pinal de Amoles, Reserva de la Sierra Gorda de Querétaro.

Parámetros climáticos	<i>Dendroctonus frontalis</i>				<i>Dendroctonus mexicanus</i>			
	r_s / F^*	P	r_s^2 / r^2	Modelo matemático	r_s / F^*	P	r_s^2 / r^2	Modelo matemático
Temperatura media (°C)	0.94 / 20.82	< 0.001*	/ 0.72	Potencial $y = 0.006 x^{3.7869}$	9.12 / 9.12	<0.01*	/ 0.53	Potencial $y = 9.053x^{1.8817}$
Temperatura media del viento (°C)	0.87 / 17.46	0.001*	/ 0.68	Potencial $y = 0.0173 x^{3.3748}$	8.62 / 8.62	0.03*	/ 0.51	Potencial $y = 14.952x^{1.6982}$
Sensación térmica media (°C)	0.84/ 42.35	< 0.01*	/ 0.84	Exponencial $y = 1.090 e^{0.3545x}$	10.8 / 10.8	0.01*	/ 0.57	Potencial $y = 6.989x^{2.0164}$
Presión atmosférica media (mBar)	-0.96 / 42.35	< 0.001*	/ 0.85	Exponencial $y=1 \times 10^{89} e^{-0.199x}$	6.82 / 6.82	<0.01*	/ 0.48	Exponencial $y = 2 \times 10^{41}e^{-0.087x}$
Precipitación acumulativa (mm)	-0.88 / 10.53	$\leq 0.001^*$	/ 0.60	Exponencial $y = 1 \times 10^{157} e^{-0.352x}$	22.98 / 22.98	<0.001*	/ 0.77	Exponencial $y = 6 \times 10^{104}e^{-0.231x}$
Humedad relativa (%)	0.27 /	0.45	0.07 /	NS	0.24 /	0.51	0.05 /	NS
Velocidad media del viento (m/s)	-0.45 /	0.19	0.21 /	NS	-0.23 /	0.48	0.06 /	NS
Media de temperatura (°C)/humedad relativa (%)	0.95 / 9.25	< 0.001*	/ 0.73	Potencial $y = 1 \times 10^{109} x^{3.7924}$	0.81 /9.33	<0.01*	/0.54	Potencial $y = 4 \times 10^{66}x^{1.8897}$

*Se realizó el ANOVA de significancia sólo en aquellas correlaciones significativas de *Spearman*. NS = No se indica el modelo porque la regresión no fue significativa.

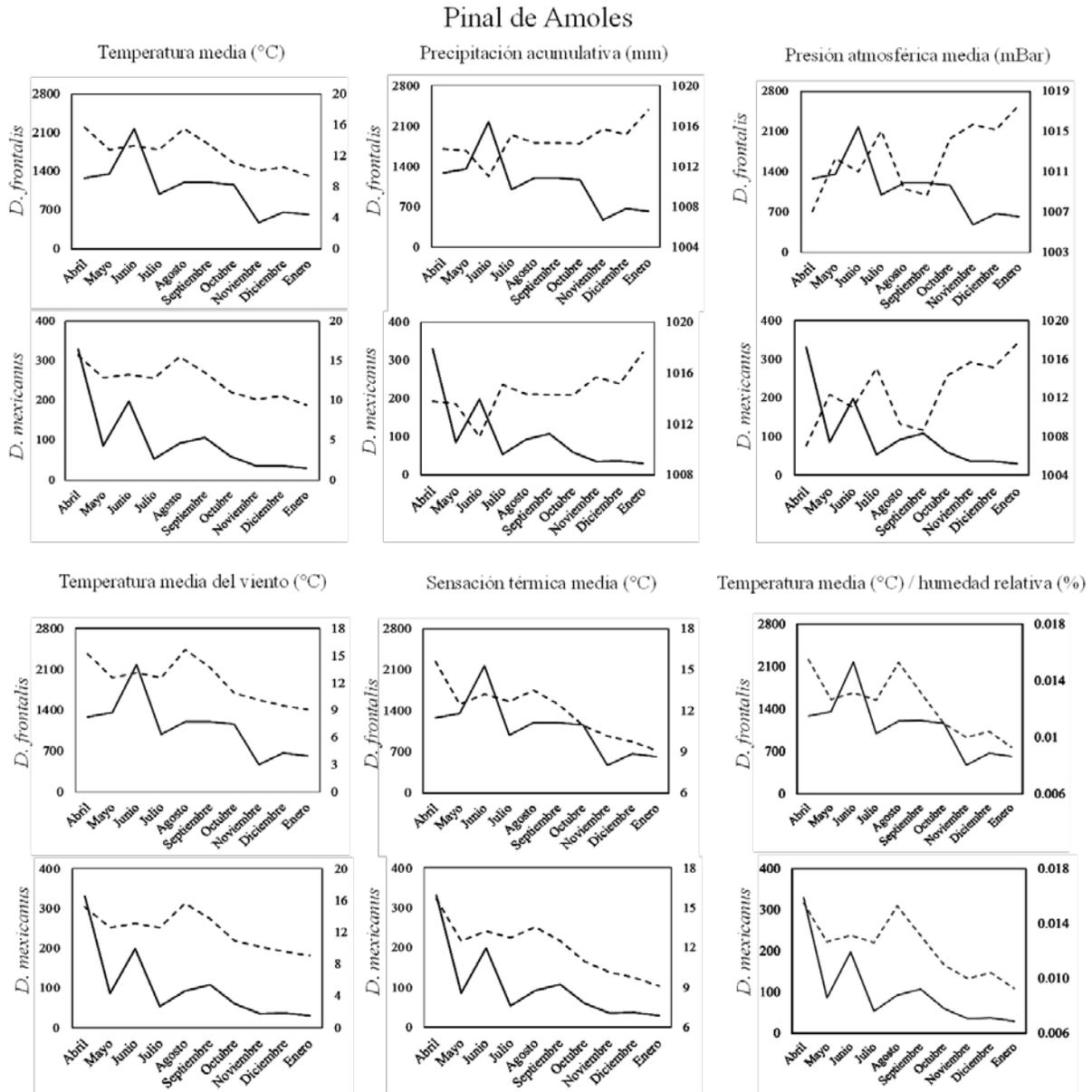


Cuadro 4. Resultados de las correlaciones entre las abundancias del complejo *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 y ocho parámetros climáticos del municipio Landa de Matamoros, Reserva de la Sierra Gorda de Querétaro.

Parámetros climáticos	<i>Dendroctonus frontalis</i>				<i>Dendroctonus mexicanus</i>			
	r_s	P	r_s^2	Modelo matemático	r_s	P	r_s^2	Modelo matemático
Temperatura media (°C)	0.60	0.15	0.36	NS	-0.23	0.61	0.05	NS
Temperatura media del viento (°C)	0.60	0.15	0.36	NS	-0.26	0.60	0.06	NS
Sensación térmica media (°C)	0.44	0.323	0.19	NS	-0.42	0.35	0.18	NS
Presión atmosférica media (mBar)	-0.55	0.20	0.30	NS	0.14	0.77	0.02	NS
Precipitación acumulativa (mm)	-0.47	0.29	0.22	NS	0.09	0.85	0.01	NS
Humedad relativa (%)	-0.33	0.47	0.11	NS	-0.09	0.84	0.001	NS
Velocidad media del viento (m/s)	0.66	0.11	0.43	NS	-0.12	0.80	0.01	NS
Media de Temperatura (°C)/humedad relativa (%)	0.53	0.21	0.29	NS	0.10	0.77	0.01	NS

NS = No se indica el modelo porque la regresión no fue significativa.





La línea punteada representa el parámetro climático para cada caso y sus unidades están en el eje secundario de las ordenadas.

Figura 3. Registros de las abundancias de los escarabajos descortezadores *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 en Pinal de Amoles (a lo largo de un año) y los seis parámetros climáticos de interés.

Discusión

Se corroboró la relación entre seis factores ambientales (temperatura, precipitación, presión atmosférica, temperatura del viento, sensación térmica y el cociente temperatura/humedad) y las abundancias de dos especies de escarabajos descortezadores de importancia económica y ambiental (*D. frontalis* y *D. mexicanus*). Sin embargo, solo en Pinal de Amoles se confirmaron correlaciones y modelos matemáticos significativos, pues en Landa de Matamoros no se verificó ninguna relación, lo que probablemente se deba a la gran lejanía (21.70 ± 2.60 km) entre los sitios de monitoreo (El Madroño y Pinalito de la Cruz) y las estaciones meteorológicas (Landa de Matamoros y Tancoyol); esta situación reduce la probabilidad de que los datos reflejen las condiciones microclimáticas de las parcelas en el momento del muestreo. En contraste, los sitios de estudio ubicados en el municipio Pinal de Amoles (La Gachupina, Tejamanil y Campo Santo) se localizan a una distancia promedio de 2.51 km (± 0.93 d.s.) a las estaciones meteorológicas de Puerta del Cielo y Pinal de Amoles.

Las relaciones directas obtenidas entre el número de descortezadores y los parámetros relacionados con la temperatura (temperatura media, temperatura media del viento y la sensación térmica media) se pueden explicar con la dependencia de las actividades de los insectos (i.e., dispersión, reproducción, desarrollo, crecimiento, entre otros) a la temperatura ambiental, la cual influye en su metabolismo poiquilotérmico (Logan y Powell, 2001; Bentz *et al.*, 2009; Dukes *et al.*, 2009). Sin embargo, para el caso de *Dendroctonus* se han observado resultados contrastantes con la temperatura con la que se ha consignado una relación positiva (Bentz, 2009; Hebertson y Jerkins, 2008) o no significativa (Morales *et al.*, 2016), lo cual puede estar relacionado con la lejanía a las estaciones meteorológicas, y que no se especifica en los trabajos antes mencionados.

La sensación térmica puede ser un mejor parámetro para proyectar las abundancias de ambos descortezadores (*D. frontalis* y *D. mexicanus*), ya que explica una mayor variación de los datos ($R^2 = 0.84$ y 0.57) en comparación con la temperatura ($R^2 = 0.72$ y 0.53) (Cuadro 1). Es el resultado de la relación entre la temperatura y la velocidad del viento, por lo que presentará valores altos cuando la temperatura así lo sea y la velocidad del viento baja, y viceversa (Pasek, 1988). Al parecer, engloba dos parámetros que determinan las actividades de los insectos: por un lado, la temperatura afecta su tasa metabólica, mientras que la velocidad del viento incide sobre el vuelo y su capacidad de dispersión (Glick, 1939); esta influencia se hace más evidente cuando los organismos son de tamaño reducido como los descortezadores (Compton, 2002). Sin embargo, en este estudio en particular, la velocidad del viento no explicó las abundancias de los escarabajos (Cuadro 1).

La relación inversa entre la precipitación con las abundancias de ambos escolítinos se puede explicar con el posible debilitamiento de los árboles en su estrategia de defensa, ocasionado por un estrés hídrico derivado de una baja precipitación o disponibilidad de agua; se puede reflejar en la baja producción de resina y menor capacidad de los hospederos para obstruir los orificios de entrada y así detener la infestación de los escarabajos (Powell y Logan, 2005; Rivera *et al.*, 2010).

Respecto a la presión atmosférica, Bennet y Borden (1971) mencionan que este parámetro se asocia al tiempo climatológico inestable y que puede llegar a inhibir la dispersión de los descortezadores. Se ha descrito que dicho comportamiento es percibido por medio través de receptores del escarabajo (burbujas de gas) que detectan la fluctuación a corto plazo de la presión barométrica del ambiente (Geiger, 1966).

Durante los periodos de baja presión y de transición en esta surgen las velocidades del viento más altas; los cambios en este sentido intervienen en la dispersión de los escarabajos descortezadores, ya sea para continuar o terminar el vuelo (Chapman, 1967).

El cociente T/H se relacionó proporcionalmente con las abundancias de *D. frontalis* y *D. mexicanus* en Pinal de Amoles (Figura 1, Cuadro 1) y explicó una variación de los datos por arriba de 53 %, lo que confirma que es un buen parámetro para relacionarlo con la fluctuación de dichas plagas. Sin embargo, no explicó una mayor variación de los datos (R^2) en comparación con la obtenida con la temperatura para ambas especies de escarabajos (Cuadro 1), lo cual coincide con los resultados de Cuellar *et al.* (2012). Lo anterior sugiere que este parámetro debe ser utilizado en futuros estudios para la proyección de las fluctuaciones poblacionales de *D. frontalis* y *D. mexicanus*, ya que este tipo de índice se calcula con dos parámetros con gran influencia en las actividades y desarrollo de los descortezadores.

No se encontró una relación de la abundancia de los descortezadores y la humedad atmosférica, patrón consistente con otros estudios que muestran que esta variable ambiental tiene baja capacidad de predicción sobre las fluctuaciones poblacionales de los escarabajos (García *et al.*, 2012). Sin embargo, se ha propuesto que el desarrollo de estos insectos está más relacionado con la humedad subcortical, ya que los descortezadores son insectos que pasan la mayor parte de su ciclo de vida (etapa inmadura) por debajo de la corteza del hospedero (Íñiguez, 1999; Romero *et al.*, 2007; Cuellar *et al.*, 2012; Alvarado, 2013).

Los modelos matemáticos obtenidos fueron en su mayoría exponenciales y potenciales (y solo hubo uno lineal), lo cual sugiere que el aumento o disminución del número de escarabajos generalmente es multiplicativo conforme cambian los parámetros climáticos, lo que describe la naturaleza de la relación entre estos dos tipos de variables.

A partir de su frecuente sobreposición geográfica y coexistencia en el mismo huésped, es común que se afirme que *D. frontalis* y *D. mexicanus* tienen los mismos requerimientos ecológicos (Zúñiga *et al.*, 1995; Zúñiga *et al.*, 1999; Salinas *et al.*, 2004). Sin embargo, los resultados aquí consignados muestran que la presión atmosférica y la sensación térmica fueron los parámetros más influyentes sobre la fluctuación poblacional de *D. frontalis* (a partir de los valores de R^2 obtenidos)

(Cuadro 1), mientras que la precipitación acumulativa fue el factor que más afectó a la abundancia de *D. mexicanus*. Lo anterior sugiere que estas dos especies son diferentes en sus óptimos fisiológicos con los factores abióticos del ambiente que están estrechamente relacionados con su desarrollo y éxito de colonización a nuevos sitios (Zúñiga *et al.*, 1995).

Cabe señalar que los modelos matemáticos (aquellos que fueron significativos) son robustos para las especies de escarabajos que se investigaron (*D. frontalis* y *D. mexicanus*) y para el sitio en donde se realizó el estudio. Y si estos se aplican en otros ecosistemas puede variar su grado de predicción, ya que se presentan diferentes interacciones tróficas de distinta intensidad con sus depredadores y presas, así como condiciones abióticas desiguales.

El documento aquí descrito es el primer intento por conocer la relación de un gran número de parámetros climáticos con las fluctuaciones poblaciones de escarabajos descortezadores de importancia ambiental y comercial, así como por obtener los modelos matemáticos que ayudarán a generar proyecciones más sólidas. Sin embargo, se requiere de una mayor cantidad de evidencias de este tipo para corroborar las tendencias, así como probarlas en condiciones contrastantes.

Conclusiones

A los parámetros climáticos como la temperatura y la precipitación generalmente se les asocia con las fluctuaciones poblacionales de los escarabajos descortezadores debido a que su influencia sobre su desarrollo y dispersión se puede advertir de manera directa. Sin embargo, existen otras condiciones atmosféricas (presión atmosférica, la temperatura del viento, la sensación térmica y el cociente T/H) que presentan correlaciones significativas con las abundancias de *D. frontalis* y *D. mexicanus*, y que podrían explicar una mayor variación de las abundancias de estos escarabajos.

La distancia de las estaciones meteorológicas con las parcelas de muestreo es un factor que se debe ponderar ante la significancia de las relaciones entre los parámetros climáticos con las fluctuaciones poblacionales de *D. frontalis* y *D. mexicanus*, ya que reducen la probabilidad de reflejar las condiciones microclimáticas locales en el momento de tomar los datos. Por ello es conveniente contar con estaciones meteorológicas cercanas al sitio de monitoreo que registren las condiciones atmosféricas de la localidad, o bien, colocar estaciones portátiles en el lugar.

Agradecimientos

La primera autora desea expresar su agradecimiento al Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo, que forma parte del Proyecto SIGI Núm. 16433532511: "Generación de nuevas estrategias de monitoreo y control de los insectos descortezadores *Dendroctonus mexicanus*, *Dendroctonus frontalis* e *Ips lecontei*, mediante el uso de semioquímicos y entomopatógenos" (2014-2016).

A la Biól. Samara Bocanegra Flores, Coordinadora de programa subsidios PROCODES en Conanp y al Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López, Director del CIAQ, Universidad Autónoma de Querétaro, por proporcionar las bases de datos meteorológicas. Al Biól. Leonardo Escobar Betanzos por el apoyo técnico en el trabajo de campo y en el de gabinete.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Víctor López Gómez: trabajo de campo, asesoría sobre análisis estadístico y elaboración de manuscrito; Brenda Torres Huerta: trabajo de campo y de gabinete, determinación taxonómica, manejo de bases de datos y elaboración del manuscrito; José Francisco Reséndiz Martínez: trabajo de campo y de gabinete, revisión del manuscrito; Guillermo Sánchez Martínez: diseño experimental, trabajo en campo, revisión y edición del manuscrito; Adriana Rosalía Gijón Hernández: trabajo de campo, revisión y edición del texto.

Referencias

- 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 Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato. Tesis de Maestría. Centro Universitario. Querétaro, Qro., México. 58 p.
- Bennett, B. R. and H. J. Borden. 1971. Flight arrestment of tethered *Dendroctonus pseudotsugae* and *Trypodendron lineatum* (Coleoptera: Scolytidae) in response to olfactory stimuli. *Annals of the Entomological Society of America* 64(6): 1273-1286.
- Bentz, B. J., J. Logan, J. MacMahon, C. D. Allen, M. Ayres, E. Berg, A. Carroll, M. Hansen, J. Hicke, L. Joyce, W. Macfarlane, S. Munson, J. Negrón, T. Paine, J. Powell, K. Raffa, J. Regniere, M. Reid, B. Romme, S. J. Seybold, D. Six, D. Tomback, J. Vandygriff, T. Veblen, M. White, J. Witcosky and D. Wood. 2009. Bark beetle outbreaks in western North America: Causes and consequences. *Bark Beetle Symposium*; Snowbird, Utah; November, 2005. University of Utah Press. November 15-18. Salt Lake City, UT, USA. 42 p

Bentz, J. B., R. Jacques, C. J. Fetting, H. E. Matthew, J. L. Hayes, J. A. Hicke, K. G. Rick, J. F. Negrón and S. J. Steven. 2010. Climate change and bark beetles of the Western United States and Canada: direct and indirect effects. *BioScience* 60:602-613.

Chapman, J. A. 1967. Response behaviour of scolytid beetles and odour meteorology. *The Canadian Entomologist* 99 (11): 1132-1137. DOI: <https://doi.org/10.4039/Ent991132-11>

Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., H. O. Yates y J. Flores L.ara. 1995. Insectos forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, United States Departament of Agriculture, Natural Resources Canadá y Comisión Forestal de América del Norte. Chapingo, Edo. de Méx., México. 455 p.

Cibrián, T. D., S. F. Quiñonez A. y J. B. Morales. 2014. Diagnóstico de la situación actual de insectos en los bosques templados de México. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de Méx., México. 313 p.

Compton, G. S. 2002. Sailing with the wind: Dispersal by small flying insects. *In*: Bullock, K. M., R. E. Kenward and H. S. Rosie (eds.). 2002. Dispersal ecology. Chapter 6: Blackwell Publishing Company. Hoboken, NJ, USA. pp. 113-133.

Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS). 2012. Un nuevo enfoque para combatir la tala y el comercio de madera ilegal en México. Nota 33. <<http://www.ccmss.org.mx/documentacion/750-nota-info-33-un-nuevo-enfoque-paracombatir-la-tala-y-el-comercio-de-madera-ilegal-en-mexico/>> (2 de enero de 2016).

Cuellar, R. G., A. M. Equihua, E. Estrada, T. M. Méndez, J. C. Villa y J. N. Romero. 2012. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins atraídos a trampas en el noreste de México y su correlación con variables climáticas. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 13(2): 12-19.

Díaz N., V. 2005. Uso de semioquímicos para el manejo y monitoreo de escarabajos descortezadores (*Dendroctonus* spp.) del pino, en la Sierra Fría, Aguascalientes. Tesis de Maestría. Centro de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 94 p.

Dukes, J. S., J. Pontius, D. Orwig, J. R. Garnas, V. L. Rodgers, N. Brazeel, B. Cooke, K. A. Theoharides, E. E. Stange, R. Harrington, J. Ehrenfeld, J. Gurevitch, M. Lerda, K. Stinson, R. Wick and M. Ayres. 2009. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict? *Canadian Journal of Forest Research* 39: 231-248.

Durán, E. y A. Poloni. 2014. Escarabajos descortezadores: diversidad y saneamiento en bosques de Oaxaca. *Biodiversitas*: 7-12.

García L., A., E. Micó and E. Galante. 2012. From lowlands to highlands: searching for elevational patterns of species richness and distribution of scarab beetles in Costa Rica. *Diversity and Distributions* 18: 543–553.

Geiger, R. 1966. *The climate near the ground*. Harvard University Press. Cambridge, MA, USA. 611 p.

Glick, P. A. 1939. *The distribution of insects, spiders, and mites in the air*. US Department of Agriculture. Technical Bulletin Num. 673. Washington, DC USA. 151 p.

Hebertson, E. G. and M. J. Jerkins. 2008. Climate factors associated with historic spruce beetle (Coleoptera: Curculionidae) outbreaks in Utah and Colorado. *Environmental Entomology* 37(2): 281-292.

Íñiguez 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. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL., México. 84p.

- Logan, J. A. and J. A. Powell. 2001. Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle. *American Entomologist* 47:160-173.
- McFarlane, B. L. and D. O. Witson. 2008. Perceptions of ecological risk associated with mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) infestations in Banff and Kootenay National Parks of Canada. *Risk Analysis* (28): 203-212.
- Moore, B. et G. Allard. 2009. Les impacts du changement climatique sur la santé des forêts. Département des forêts, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). Rome, Italie. 194 p.
- Morales R., A., V. H. Cambrón S., S. Vergara P. y J. A. Obregón Z. 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.
- Olivera, L. N. 2014. Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y variación estacional de la temperatura y humedad relativa, en San Juan del Estado, Etna, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 73 p.
- Pasek, E. J. 1988. Influence of wind and wind breaks on local dispersal of insects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 539-554.
- Perusquía, O. J. 1978. Descortezador de los pinos *Dendroctonus* spp.: taxonomía y distribución. SARH, SFF, Dirección General de Investigación y Capacitación Forestal. México, D.F., México. Boletín Técnico Núm. 55. 31 p.
- Powell, J. A. and A. J. Logan. 2005. Insect seasonality: circle map analysis of temperature- driven life cycles. *Theoretical Population Biology* 67: 161–179.
- Ríos R., A. V., J. Valdez C. and A. M. Equihua. 2008. Identification of *Dendroctonus frontalis* (Zimmermann) and *D. mexicanus* (Hopkins) (Coleoptera: Curculionidae:

Scolytinae) through structures of the female Gennitalia. The Coleopterist Bulletin 62: 99-103.

Rivera, R. M., B. Locatelli y R. Billings. 2010. Cambio climático y eventos epidémicos del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* en Honduras. Forest Systems 19(1): 70-76.

Romero L., S., P. O. Romón, C. I. Bilbao y A. G. Lafuente. 2007. Los escolítidos de las coníferas del país Vasco: guía práctica para su identificación y control. Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco, Departamento de Agricultura, Pesca y Alimentación. Bilbao, España. 189 p.

Salinas M., Y., M. G. Mendoza, M. A. Barrios, R. Cisneros, J. E. Macías S. and G. Zúñiga. 2004. Aerography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. Journal of Biogeography 31: 1163–1177.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2012. Sistema de Información Ambiental y de Recursos Naturales. <<http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx>> (5 de enero de 2016).

Wood, S. L. 1963. A revision of bark beetle genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae). Great Basin Natural Park 23: 1-117.

Zúñiga, G., R. Cisneros y Y. Salinas. 1995. Coexistencia de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *D. mexicanus* Hopkins (Coleóptera: Scolytidae) sobre un mismo hospedero. Acta Zoológica Mexicana 64: 59-62.

Zúñiga, G., G. Mendoza C., R. Cisneros y Y. Salinas M. 1999. Zonas de sobreposición en las áreas de distribución geográfica de las especies mexicanas de *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae) y sus implicaciones ecológico evolutivas. Acta Zoológica Mexicana 77: 1-22.