

Abundancia altitudinal de *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae) en relación a variables climáticas en Hidalgo, México
Altitudinal abundance of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae) in relation to climatic variables in Hidalgo, Mexico

José Carmen Soto-Correa¹
Irma Avilés-Carrillo¹
Dioseline Giron-Gutiérrez¹
Víctor Hugo Cambrón-Sandoval^{1*}

¹. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Av. de las Ciencias s/n, Col. Juriquilla, Delegación Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, C.P. 76230; jocasoco@gmail.com, ixchel.iac@gmail.com, dioseli.gg@gmail.com, hugo.cambron@gmail.com

*Correspondencia

Recibido 29-VIII-2018

Corregido 26-XI-2018

Aceptado 22-II-2019

Abstract

The bark beetles *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) are a group of coleoptera closely linked to forest masses, and one of the most harmful pests in Mexico, causing the forest cover to be considerably reduced. Additionally factors such as climate change, favor the increase in populations of bark beetles of the genus *Dendroctonus*. Taking as a hypothesis that altitude and environmental variables affect the behavior in the abundance of *D. frontalis*, the objective was to estimate the temporary-spatial variation of *D. frontalis* populations in pine forests at different altitudes. The study was conducted in the community of Durango, Zimapán, Hidalgo, Mexico. An experimental design of paired plots with two treatments was used, pheromone and control. Seven traps were placed with both treatments in a range of 1 568 to 2 117 m.a.s.l. to determine the altitudinal abundance of *D. frontalis*. The sampling was realized from January to December 2015. A positive relationship was observed between the abundance of *D. frontalis* and the altitudinal gradient. About the abundance of *D. frontalis* and the temperature, a moderate but not significant relationship was observed in the same way for the average annual precipitation. The relation with the maximum average temperature and the spring summer precipitation balance were statistically significant. There was a positive trend on the abundance of *D. frontalis* according to the annual aridity index, which is why it is expected that the increase of temperatures the stress in the vegetation of the forests will be greater, favoring the increase of bark beetles populations.

Key words: climate change, bark beetle, aridity level, conifer forest, variability.

Resumen

Los descortezadores *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) son un grupo de coleópteros estrechamente ligado a las masas forestales y son una de las plagas más dañinas en México, ocasionando que la cobertura forestal se reduzca considerablemente. Adicionalmente factores como el cambio

climático, favorecen el aumento en las poblaciones de escarabajos descortezadores del género *Dendroctonus*. Por lo anterior es conveniente conocer la variación poblacional de descortezadores, particularmente de *Dendroctonus frontalis*, cuyas poblaciones dependen de la variabilidad climática que influye en su abundancia. Teniendo como hipótesis que la altitud y las variables ambientales afectan el comportamiento en la abundancia de *D. frontalis*, se planteó como objetivo estimar la variación espacio-temporal de poblaciones de *D. frontalis* en bosques de pino a diferentes altitudes. El estudio se realizó en la comunidad de Durango, Zimapán, Hidalgo, México. Se utilizó un diseño experimental de parcelas apareadas con dos tratamientos, de feromona y testigo. Se colocaron siete trampas con ambos tratamientos en un rango de 1 568 a 2 117 m.s.n.m. para determinar la abundancia altitudinal de *D. frontalis*. El muestreo se llevó a cabo de enero a diciembre 2015. Se obtuvo una relación positiva entre la abundancia de *D. frontalis* y el gradiente altitudinal y respecto a la abundancia de *D. frontalis* y la temperatura se observó una relación moderada, pero no significativa; de la misma forma para la precipitación media anual. La relación con la temperatura media máxima y el balance de precipitación de primavera/verano fueron estadísticamente significativos. Se presentó una tendencia positiva en la abundancia de *D. frontalis* de acuerdo al índice anual de aridez, por lo cual se espera que con el aumento de las temperaturas el estrés en la vegetación de los bosques sea mayor, favoreciendo el incremento de las poblaciones de escarabajos descortezadores.

Palabras clave: cambio climático, índice de aridez, descortezador, bosque de coníferas, variabilidad.

Introducción

Actualmente alrededor de 36.4 mil ha de bosques templados en México están infestados por insectos descortezadores del género *Dendroctonus* y otros barrenadores (Fonseca-González, de los Santos-Posadas, Rodríguez-Ortega, & Rodríguez-Laguna, 2014). Lo anterior, es considerado un serio problema debido a que México es considerado centro de diversificación de especies de pino, alberga cerca del 30 % de todas las especies del mundo aunado a su valor económico, ecológico y cultural (Sánchez-González, 2008). El impacto del cambio climático en general es perjudicial para los bosques; ya que promueve un desarrollo acelerado de las poblaciones de insectos patógenos y cambios en las dinámicas poblacionales que favorecen el aumento de plagas forestales, incluso se ha evidenciado que los episodios de calentamiento global anteceden a incrementos poblacionales de descortezadores (Chen, Jackson, Ott, & Spittlehouse, 2015; Régnière, Powell, Bentz, & Nealis, 2012). Se ha observado que los incendios forestales también incrementan los brotes de estos insectos, dado que la mortandad de los bosques aumentó significativamente en Hidalgo posteriormente a estos fenómenos (Fonseca-González et al., 2014).

Las interrupciones poblacionales de la mayoría de las especies plaga se considera que son multifactoriales, los elementos ambientales como la temperatura y humedad son determinantes debido a que están intrínsecamente relacionados al desarrollo de las poblaciones en insectos (Berg, Henry, Fastie, Volder, & De Matsuoka, 2006). Hoy en día se especula sobre el conjunto de factores que ocasionan el aumento en la abundancia de los escarabajos descortezadores; por ejemplo, se observa que la temperatura es uno de los factores de mayor importancia del fenómeno del cambio climático, que influye directamente en la fisiología de las plagas acelerando el crecimiento poblacional y la reproducción (Bale et al., 2002). Por otro lado, la información detallada sobre los procesos fisiológicos dependientes de la temperatura es

limitada para la mayoría de las especies de descortezadores en el suroeste de Estados Unidos y México (Bentz, Duncan, & Powell, 2016).

En el género *Dendroctonus* Erichson 1836 históricamente los incrementos poblacionales y las grandes infestaciones se han relacionado principalmente con la temperatura y al sistema de precipitación (Allen et al., 2010; Bentz & Jönsson, 2015; Six & Bracewell, 2014). Los brotes recientes de escarabajos descortezadores en el sureste de los EE.UU se han atribuido al incremento de la temperatura promedio de 3.3 °C en la temperatura invernal mínima desde 1960 a 2004 (Tran, Ylioja, Billings, Regniere, & Ayres, 2007) otros autores describen los impactos del escarabajo descortezador del pino de montaña (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins 1902) a partir de su incremento poblacional que llegó a ser de proporciones epidémicas en Canadá occidental donde durante varios años dicho crecimiento se asoció a factores térmicos (Bentz et al., 2016) debido a ello se espera que la abundancia de poblaciones de descortezadores aumente de acuerdo a las condiciones térmicas (De Lucía, Casteel, Nability, & O'Neill, 2008).

En México una de las especies de descortezador de mayor importancia es *Dendroctonus frontalis* (Zimmerman 1868) por ocasionar pérdida de masa forestal. Este escarabajo es una especie de escolítido perteneciente a la familia Curculionidae, que está relacionada evolutivamente al desarrollo de bosques de pino (Zúñiga, Cisneros, Salinas-Moreno, Hayes, & Rinehart, 2006). *D. frontalis*, se distribuye desde el centro de Uta y Colorado (EE.UU), hasta México y Honduras (Sullivan et al., 2012), y se ha registrado en un amplio rango de hospederos que incluyen, *Pinus arizonica* Engelm, *P. durangensis* Ehren, *P. greggii* Engelm, *P. maximinoi* H.E. Moore, *P. oocarpa* Shiede, *P. pringlei* Shaw, *P. tecunumannii* Eguiluz y J.P. Perry, *P. teocote* Shiede ex Schltldl, *P. echinata* Mill, *P. engelmannii* Carr, *P. glabra* Walter, *P. palustris* Mill, *P. ponderosa* Douglas ex C. Lawson, *P. rigida* Mill, *P. strobus* Linnaeus, *P. taeda* Linnaeus y *P. virginiana* Linnaeus. El estado de Hidalgo en México es considerado como una de las entidades con mayor riqueza de especies de pino así como áreas infestadas por *D. frontalis* (Sánchez-González, 2008). Por lo anterior, es muy importante conocer cómo los factores climáticos (temperatura y precipitación) asociados a la altitud influyen en la abundancia de *D. frontalis* en un bosque de pino-encino. La hipótesis fue: las diferencias altitudinales aunadas a las variables climáticas afectan la abundancia de poblaciones de insectos descortezadores como *D. frontalis* en los bosques de pino del estado de Hidalgo en México.

Materiales y métodos

Sitio de estudio: El estudio se realizó en el bosque de pino-encino de la comunidad de Durango, en el Parque Nacional Los Mármoles, municipio de Zimapán, Hidalgo, el parque se ubica en la Faja Volcánica Transversal Mexicana y la Sierra Madre Oriental. El clima de la zona es templado semiárido con una precipitación anual de 450 mm, lluvias de junio a agosto y temporadas de sequía entre octubre y abril. El estrato arbóreo se compone de *Pinus pinceana*, Gordón y Glen, *P. montezumae* Lamb., *P. cembroides* Zucc., *P. greggii* Engelm. ex Parl. 1868, *P. teocote* Schltldl. & Cham. 1830, *P. patula* Seem. 1856, *P. pseudostrobus* Lindl. 1858 asociados con *Quercus castanea* Née. 1801, *Q. crassifolia* Benth. 1840 y *Q. mexicana* Benth. 1840.

Establecimiento del experimento: El muestreo se estableció en enero 2015 mediante un sistema de recolecta a lo largo de siete sitios de muestreo en un rango altitudinal de 1 654 a 2 117 m.s.n.m. (100 m

altitudinales entre cada uno). El diseño experimental utilizado fue de parcelas apareadas con dos tratamientos (feromona y testigo). En cada sitio se instalaron dos trampas tipo Lindgren de ocho unidades (Synergy Semiochemicals Corp®) una testigo y otra control a una altura aproximada de 1.5-2 m del nivel del suelo, para ello se eligieron dos árboles diferentes a las especies huésped con una separación aproximada de 50 m entre sí, a la trampa testigo se le colocó un atrayente comercial para *D. frontalis* compuesto por frontalina (1,5-dimetil-6-8-dioxabicyclo [3,2,1,] octano) + endobrevicomina (endo-7-etil-5-metil-6-8-dioxabicyclo [3,2,1,] octano) + alfa-pineno (2, 6, 6-trimetibicyclo [3,1,1,] hept-2-eno) y en la otra trampa control (sin feromona), no se colocó ningún tipo de atrayente. Los atrayentes fueron reemplazados cada dos meses, para la recolecta y preservación de los insectos se colocó en el vaso colector una mezcla de anticongelante y alcohol en una proporción de 1:1. Las catorce trampas colocadas fueron georreferenciadas con la ayuda de un GPS Garmin® Montana 600 obteniendo de esta manera las coordenadas geográficas y elevación (Tabla 1).

TABLA 1

Sitios de trapeo de *Dendroctonus frontalis* y promedios climáticos estimados (1960-1990) con promedios climáticos proyectados al 2030

TABLE 1

Dendroctonus frontalis trapping sites and estimated climatic averages (1960-1990) with projected climatic averages to 2030

Sitio	Longitud N	Latitud W	Altitud (m.s.n.m.)	Periodo (1960-1990) [†]				2030 [‡]			
				TMA [§] (°C)	TMAX ^p (°C)	PMA [□] (mm)	SMRPB ^{††}	TMA [§] (°C)	TMAX ^p (°C)	PM [□] (mm)	SMRPB ^{††}
1	99°21'77''	20°93'81''	1 654	19.1	30.2	696	2.46	20.7	31.8	610	15.8
2	99°21'94''	20°93'76''	1 722	18.9	30.1	703	2.45	20.4	31.6	614	15.7
3	99°2'21''	20°93'74''	1 812	18.6	29.8	714	2.50	20.1	31.4	627	16.0
4	99°22'21''	20°93'7''	1 880	18.4	29.6	724	2.56	19.9	31.1	633	16.4
5	99°22'49''	20°93'44''	1 998	17.9	29.1	732	2.66	19.5	30.7	637	1.72
6	99°22'73''	20°93'05''	2 098	17.6	28.8	724	2.8	19.2	30.4	630	1.8
7	99°23'27''	20°92'14''	2 117	17.6	28.7	714	2.85	19.2	30.3	619	17.8

[†]Variables climáticas promedio 1960-1990. [‡]Variables climáticas predichas para el 2030. Se utilizó el escenario A1B para obtener: [§]Temperatura promedio anual, ^p= Precipitación promedio anual. ^{††}Balance de la precipitación primavera/verano.

Recolecta y procesamiento del material entomológico: La recolecta del material biológico se realizó cada quince días durante el periodo comprendido entre enero-diciembre 2015. El material se depositó en bolsas de sellado hermético, fueron etiquetadas y se trasladaron al Laboratorio de la Facultad de Ciencias Naturales en la Universidad Autónoma de Querétaro, México. La separación e identificación del material capturado se llevó a cabo en laboratorio de la colección entomológica, con base en características morfológicas diagnósticas. La identificación de las especies del género *Dendroctonus* se realizó con la ayuda de las claves taxonómicas de Wood (1982) y Cibrian, Mendez, Campos-Bolaños, Harry, & Flores-Lara (1995)

Modelación climática: Los valores estimados para la modelación climática fueron: temperatura media anual (TMA), temperatura media anual máxima (TMAX), precipitación media anual (PMA), balance de precipitación primavera/verano (SMRPB (precipitación de julio + agosto / precipitación de abril y mayo) e índice anual de aridez (Tabla 1).

Adicionalmente a las variables climáticas, se estimó el índice anual de aridez IAA (IAA = (DD5^{0.5})/ PMA; DD5 = grados día > 5 °C), temperaturas altas, bajas y disponibilidad de agua, tanto para promedios climáticos estimados (1960-1990), los cuales se obtuvieron mediante el modelo climático “thin plate spline” desarrollado para México (Crookston, 2010) el cual se basa en la transposición de superficies de datos climáticos mensuales normalizados de temperatura (mínima, media y máxima) y precipitación en el software ANUSPLIN 4.4 (Hutchinson & Xu, 2013) Los valores proyectados para el 2030 se calcularon modificando estos valores según estimaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y posteriormente ajustando el software en ANUSPLIN, de esta manera se obtuvieron valores estimados del clima futuro en un escenario intermedio de emisiones de gases de efecto invernadero (A1B, A altas emisiones y B bajas emisiones de carbono escenario con un panorama intermedio muy probable) (Crookston, 2010).

Se realizó un análisis de varianza para determinar posibles diferencias significativas entre la abundancia de *D. frontalis* en distintas altitudes y una prueba de Tukey para estimar como son dichas diferencias entre sitios. Para evaluar la relación entre las características de cada sitio de muestreo (altitud sobre el nivel del mar o variables climáticas) respecto a la abundancia (número de individuos por trampa), se realizó un análisis de regresión lineal y cuadrática con el siguiente modelo (Tabla 2). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS Versión 9.3 (SAS institute, 2004).

TABLA 2

Modelos de análisis de regresión de abundancia de *Dendroctonus frontalis*, altitud, grado de significancia y coeficiente de regresión

TABLE 2

Regression analysis models of abundance regression of *Dendroctonus frontalis*, altitude, degree of significance and regression coefficient

Modelo de regresión	Desarrollo	Grado de significancia $p \leq 0.05$	Coficiente de regresión R^2
$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + e_{ij}$	β_0 = intercepto, β_1 = pendiente, X_{i1} = altitud (m sobre el nivel del mar) otra variable climática estimada del <i>i</i> -ésimo sitio de muestreo, e_{ij} = error.	0.0518	0.6738
$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{i1}^2 + e_{ij}$	β_0 = intercepto, β_1 = pendiente, X_{i1} = altitud (m sobre el nivel del mar) ² u otra variable climática estimada del <i>i</i> -ésimo sitio de muestreo, e_{ij} = error.	0.0575	0.599

Donde Y_{ij} = media de la abundancia (individuos por trampa), β_0 = intercepto, β_1 = pendiente, X_i = altitud (m sobre el nivel del mar) variable climática (temperatura y/o precipitación) estimada del i -ésimo sitio, e_{ij} = error.

Resultados

La abundancia de *D. frontalis* mostró escasa relación lineal positiva con la altitud ($P = 0.0518$, $R^2 = 0.6738$) en el rango altitudinal de muestreo (1 654-2 117 m.s.n.m.) donde se observó que la mayor abundancia promedio de *D. frontalis* se presentó a mayor altitud (2 117 m.s.n.m.) y una menor abundancia promedio a menor altitud (1 654 m.s.n.m.; Fig. 1). Otro resultado que se observó es que el escarabajo descortezador *D. frontalis* en la Sierra de Zimapán, Hidalgo no mostró una relación muy marcada entre su abundancia y temperatura media anual ($R^2 = 0.6601$, $P = 0.064$, Fig. 2A), sin embargo la tendencia es que en sitios de menor altitud donde la temperatura media anual (TMA) es cercana a los 19 °C la abundancia es menor, que en sitios de mayor altitud donde la TMA es sobre los 17 °C donde *D. frontalis* es más abundante (Fig. 2A). Al analizar la precipitación media anual en estos sitios se determinó que no hay una correlación directa con la abundancia ($R^2 = 0.5705$, $P = 0.845$) (Fig. 2B). Por otro lado, se encontró una relación entre la abundancia de *D. frontalis* y temperatura media máxima (TMAX) donde el valor más alto se presentó en sitios donde la TMAX fue cercana a los 28 °C la cual ocurre en los sitios de mayor altitud, la frecuencia de *D. frontalis* fue menor en sitios donde la TMAX fue superior a 30 °C en sitios de menor altitud ($R^2 = 0.6613$, $P = 0.0261$) (Fig. 2C). Por otra parte, se evidenció una relación con el balance de precipitación primavera-verano ($R^2 = 0.5419$, $P = 0.0359$) (Fig. 2D) lo anterior es indicador que la afluencia de estos insectos disminuyó en relación a una mayor precipitación durante julio y agosto con respecto a la que precedió en abril y mayo, donde se observó una tendencia en el incremento poblacional de *D. frontalis* en relación al aumento de la variabilidad de precipitación (SMRPB).

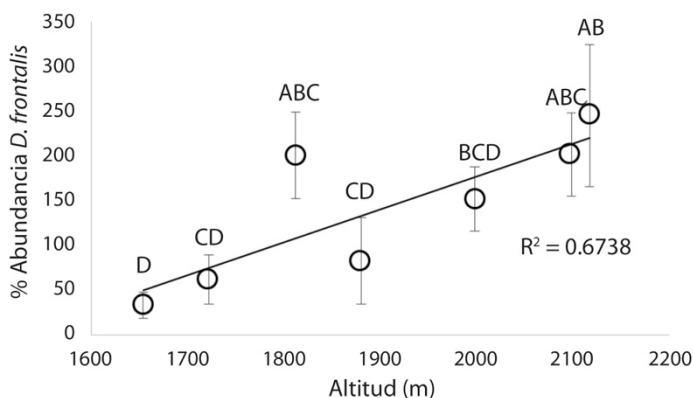


Fig. 1. Relación entre el porcentaje de abundancia y altitud en *D. frontalis*.

Fig. 1. Relationship between the percentage of abundance and altitude in *D. frontalis*.

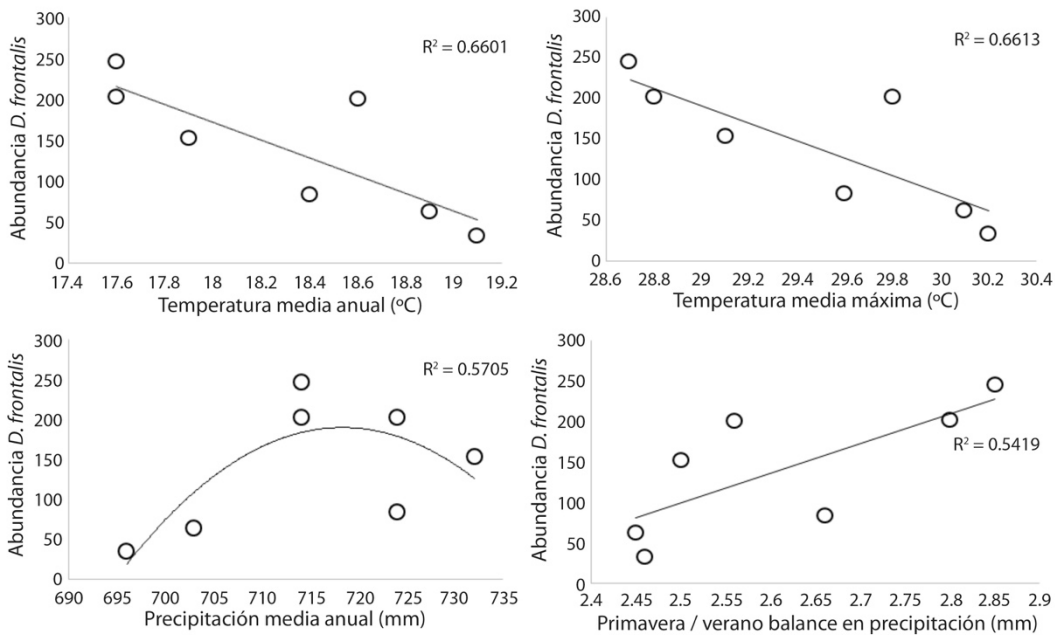


Fig. 2. Abundancia de *D. frontalis* de acuerdo a las diferentes temperaturas en los sitios muestreados.
Fig. 2. Abundance of *D. frontalis* according to the different temperatures in the sampled sites.

Durante el muestreo, se observó que el promedio más alto de abundancia en *D. frontalis* fue en marzo y disminuyó en los meses siguientes hasta octubre donde se observó la menor cantidad de individuos. La mayor frecuencia de *D. frontalis* se presentó en marzo y se asocia al inicio de las temperaturas elevadas y poca precipitación de marzo y abril, como se observa en el presente experimento teniendo como resultado un incremento en la afluencia de estos insectos con el incremento del índice de aridez anual (IAA) y decremento en la abundancia conforme disminuye la aridez en septiembre y octubre. Por otra parte existe una relación entre la temperatura media máxima (promedio de 30 años ocurrida) en los sitios de muestreo ($R^2 = 0.9918$, $P < 0.0001$) y una relación entre la temperatura media máxima predicha para el 2030 ($R^2 = 0.995$, $P < 0.0001$), con la altitud.

Discusión

La mayor abundancia promedio de *D. frontalis* a mayor elevación se puede explicar debido a que la altitud máxima de muestreo en este estudio fue de 2 117 m, dicha altitud es intermedia en el rango de distribución de especies de pinos que habitan en el Estado de Hidalgo y los cuales son hospederos de *D. frontalis*. Históricamente se ha registrado la distribución altitudinal de *D. frontalis* un en rango de distribución de 700 a 2 000 m de altitud (Salinas-Moreno et al., 2009). También se ha reportado dicha distribución hasta los 2 651 m.s.n.m. en EE.UU. En Arizona, donde se observó mayor abundancia de este descortezador en los sitios bajos (1 600-1 736 m.s.n.m.) y sitios medios (2 058-2 230 m.s.n.m.) y poco abundante en sitios altos (2 505-2 651 m.s.n.m.) (Williams, McMillin, DeGomez, Clancy, & Miller, 2008). Dentro del presente estudio se reportó la mayor cantidad de insectos descortezadores (*D. frontalis*) a una altitud de 2 117 m.s.n.m., también reportada como promedio de la distribución altitudinal natural

de esta especie (Williams et al., 2008). De acuerdo a la distribución altitudinal promedio, en el presente estudio se determinó que *D. frontalis* en el sitio de 2 117 m.s.n.m. presenta mayor abundancia esto es posible porque encuentra condiciones climáticas óptimas para su desarrollo. En otros estudios, se ha observado que la mayor abundancia se presenta en altitudes promedio (1 750 m.s.n.m.) dentro del rango de distribución natural con otros insectos descortezadores como *D. ponderosae*, esta altitud es considerada como un óptimo con base a su crecimiento poblacional en dicha distribución altitudinal (Bentz et al., 2016; Salinas-Moreno et al., 2009).

Por otra parte, la altitud engloba un conjunto de variables climáticas como la temperatura y precipitación que influyen en la fenología de muchos insectos descortezadores como *D. mexicanus* y *D. adjunctus* (Berg et al., 2006; Salinas-Moreno et al., 2009; Six & Bracewell, 2014; Tran, Ylioja, Billings, Regniere, et al., 2007) se ha considerado a la temperatura como la principal variable que determina la abundancia de los descortezadores en latitudes del norte a nivel global (Chen et al., 2015). La relación entre el tamaño poblacional de *D. frontalis* y la temperatura media máxima (TMAX) presentó indicadores, como mayor número de individuos en sitios donde la TMAX fue cercana a los 28 °C la cual ocurre en los sitios de mayor altitud, por otro lado la abundancia fue menor en sitios donde la TMAX fue superior a 30 °C en sitios con menor altitud, lo anterior crea evidencia que la TMAX en las zonas elevadas son las más bajas que en sitios de menor altitud y por lo cual en conjunto con la temperatura las altitudes de mayor elevación son las más adecuadas para que se presente una mayor abundancia de estos descortezadores, otros autores mencionan que las infestaciones de escarabajos son influenciadas por variables como las temperaturas extremas (Sambaraju et al., 2012), precipitación (Chapman, Veblen, & Schoennagel, 2012; Six & Bracewell, 2014), y la disponibilidad de huésped susceptible (Creeden, Hicke, & Buotte, 2014). Respecto a la relación del balance de precipitación primavera-verano y la abundancia se observó una tendencia en el incremento del número de escarabajos con relación al aumento de la variabilidad de precipitación (SMRPB). Cabe señalar que en los bosques de Pino de la localidad de Zimapán, la temporada de estiaje es entre octubre y abril con leve precipitación en las zonas de mayor elevación (2 117 m.s.n.m.) en invierno-primavera, mientras que la temporada de lluvias se distribuye de junio a agosto. Si consideramos que en otros estudios se ha observado que valores mayores en el SMRPB se han relacionado con un incremento en la estimulación de producción de biomasa en las plantas, lo cual puede ser asociado a una mayor disponibilidad de alimento para los insectos (Hovenden, Newton, & Wills, 2014).

La mayor abundancia promedio de *D. frontalis* ocurrió en marzo y disminuyó en los meses siguientes hasta octubre, los resultados de esta sección son similares a los reportados en Estado de Arizona (EE.UU.) donde la actividad de vuelo de *D. frontalis* ocurrió de marzo-abril y hasta finales de noviembre, aunque también se ha presentado mayor abundancia de *D. frontalis* en agosto como un evento que ocurrió en el 2002 (Gaylord, Kolb, Wallin, & Wagner, 2006; Williams et al., 2008). Dentro del periodo normal de lluvias en México se registra un fenómeno denominado canícula, el cual se presenta una etapa de ausencia de lluvia, evento que se caracteriza por un aumento de temperatura y disminución de la precipitación dicha condición puede favorecer la presencia de los descortezadores. La temperatura y la distribución espacio temporal de la precipitación responden al gradiente altitudinal, de manera que es posible que en los sitios más bajos la TMA es mayor que en los de mayor altitud y el SMRPB es menor en sitios bajos y mayor en aquellos elevados como en el presente estudio, durante la canícula, los puntos de monitoreo bajos que ya presentaban temperaturas elevadas se agudizaron ocasionándose condiciones desfavorables para el desarrollo de los descortezadores, por el contrario en los sitios altos el efecto de la canícula se amortiguo debido a que la temperatura media máxima es menor y hay una mayor precipitación en junio y julio, lo cual constituyen condiciones menos más favorables para el desarrollo de los insectos.

Sin embargo la mayor abundancia de *D. frontalis* se asocia al inicio de las temperaturas elevadas en marzo y abril, como se observó en este experimento, es posible que el estrés provocado por el IAA ocasione la susceptibilidad de los árboles al ataque de estos insectos (McDowell et al., 2008).

En el futuro en un contexto de cambio climático se espera un aumento en las temperaturas (IPCC, 2000) para estas localidades se espera el aumento en las temperaturas medias máximas de 1.6 °C para el 2030 en la Sierra de Zimapán (Crookston, 2010). Si consideramos lo mencionado por el Panel Interamericano de Cambio Climático refiere que el incremento de 1 °C grado en la temperatura global, corresponde con un aumento potencial de aproximadamente 170 metros de altitud hacia arriba en el rango distribución de las especies (Sutherts et al., 2007). Por ejemplo, en el 2030 los sitios de elevaciones entre los 2 100 m, donde hoy en día ocurren TMAX cercanas a los 28 °C asociadas a mayores abundancias promedio de *D. frontalis* aumentará a casi 30 °C en su TMAX (+2 °C), esperándose una disminución en la abundancia de *D. frontalis* a 2 100 m.s.n.m., pero podemos sugerir que la temperatura que hoy ocurre sobre los 2 100 m.s.n.m. se desplazará de entre 170 a 300 m.s.n.m. aproximadamente hacia arriba, ocasionando un ambiente propicio para el aumento de las poblaciones de *D. frontalis* a esta altitud de igual manera se espera la ausencia del insecto en altitudes bajas por el aumento en la ocurrencia de TMAX superiores a su umbral de desarrollo. El desplazamiento altitudinal en abundancia en insectos se ha predicho en otras especies como *D. ponderosae* donde las condición óptima para su desarrollo será a altitudes más elevada (Bentz et al., 2016). Este desplazamiento en altitud es muy probable que suceda *D. frontalis*, sin embargo, por otra parte, se desconoce la capacidad de adaptación de estos insectos a las nuevas temperaturas más elevadas. De acuerdo a nuestros resultados podemos enunciar que las temperaturas altas limitarán las poblaciones a altitudes bajas y se presenta mayor abundancia a altitudes más elevadas en climas más frescos, como se ha evidenciado en Sureste de Estados Unidos, donde *D. frontalis* se incrementó su supervivencia en climas más frescos (Tran, Ylioja, Billings, Régnière, & Ayres, 2007). En el estado de Hidalgo los Bosques de Pino se encuentran en sitios con un límite altitudinal alto cercanos a los 3 000 m.s.n.m., que en el futuro serán ambientes frescos y no tan fríos idóneos para presencia de *D. frontalis*. Si en un futuro el aumento en la TMAX que ocurre a altitudes bajas, estas funcionarán como control de la abundancia de *D. frontalis*, pero ello no es garantía de la conservación del bosque, los descortezadores se desplazarían a zonas de mayor altitud, donde ocurran TMAX apropiadas para su desarrollo y existan los hospederos. El bosque de Pino en el Estado de Hidalgo en el caso de que resista a las infestaciones de los descortezadores también puede verse afectado por no ser resistente al aumento de las TMAX que puedan ocurrir en el futuro (Allen & Breshears, 2007)

Se determinó una relación entre la cantidad de *D. frontalis* y la altitud donde elevaciones cercanas a los 1 700 m.s.n.m. reducirá el número de insectos descortezadores y altitudes de 2 000 m.s.n.m., aumenta la abundancia.

Finalmente, en el presente estudio se determinó que existe una relación entre las variables climáticas asociadas a la altitud como la temperatura e índice de aridez que influyen en la abundancia de escarabajos descortezadores de *D. frontalis* en los bosques de pino-encino en la Sierra de Zimapán en el Estado de Hidalgo, México.

Además que las temperaturas que ocurren en los 2 000 m.s.n.m. son las más favorables para las poblaciones de *D. frontalis*, debido a que se observó el mayor número de individuos de insectos.

Agradecimientos

Proyecto de investigación financiado por el Fondo Sectorial CONAFOR-CONACyT-2014, C01-234547. Los autores agradecen la beca Posdoctoral CONACYT para el primer autor.

Referencias

- Allen, D., & Breshears, D. (2007). Climate-induced forest dieback as an emergent global phenomenon. *Transactions American Geophysical Union*, 88, 504-505.
- Allen, D., Macalady, A., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 4, 660-684.
- Bale, S., Masters, G., Hodkinson, I., Awmark, C., Bezemer, T., Brown, V., & Whittaker, J. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8, 1-16.
- Bentz, B., Duncan, J., & Powell, J. (2016). Elevational shifts in thermal suitability for mountain pine beetle population growth in a changing climate. *Forestry*, 89, 271-283.
- Bentz, B., & Jönsson, A. (2015). Modeling bark beetle responses to climate change. En F. Vega & R. Hofstetter (Eds.), *Bark Beetles* (pp. 533-553). EE.UU: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00013-7>
- Berg, E., Henry, J., Fastie, C., Volder, A., & De Matsuoka, S. (2006). Spruce beetle outbreak on the Kenai Peninsula, Alaska, and Kluane National Park and Reserve, Yukon Territory: Relationship to summer temperatures and regional differences in disturbance régime. *Forest Ecology and Management*, 227, 219-239.
- Chapman, T., Veblen, T., & Schoennagel, T. (2012). Spatiotemporal patterns of mountain pine beetle activity in the southern Rocky Mountains. *Ecology*, 93, 2175-2185.
- Chen, H., Jackson, P., Ott, P., & Spittlehouse, D. (2015). A spatiotemporal pattern analysis of potential mountain pine beetle emergence in British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 339, 11-19.
- Cibrian, T., Mendez, J. T., Campos-Bolaños, R., Harry, O., & Flores-Lara, J. (1995). *Insectos forestales de México*. Mexico: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Creeden, E., Hicke, J., & Buotte, P. (2014). Climate, weather, and recent mountain pine beetle outbreaks in the western United States. *Forest Ecology and Management*, 312, 239-251.
- 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*. Recuperado de <http://charcoal.cnre.vt.edu/climate>
- De Lucía, E., Casteel, C., Nabity, P., & O'Neill, B. (2008). Insects take a bigger bite out of plants in a warmer, higher carbon dioxide world. *Proceedings National Academy of Sciences*, 105, 1781-1782.

Fonseca-González, J., de los Santos-Posadas, H., Rodríguez-Ortega, A., & Rodríguez-Laguna, R. (2014). Efecto del daño por fuego y descortezador sobre la mortalidad de *Pinus patula* Schl. et Cham en Hidalgo, México. *Agrociencia*, *48*, 103-113.

Gaylord, M., Kolb, T., Wallin, K., & Wagner, M. (2006). Seasonality and lure preference of bark beetles (Curculionidae: Scolytinae) and associates in a northern Arizona ponderosa pine forest. *Environmental Entomology*, *35*, 37-47.

Hovenden, M., Newton, P., & Wills, K. (2014). Seasonal not annual rainfall determines grassland biomass responses to carbon dioxide. *Nature*, *511*, 583-586.

Hutchinson, M. F., & Xu, T. (2013). *Anusplin* (version 4.4). Australia: The Australian National University.

IPCC. (2000). *Summary for Policymakers IPCC SPECIAL REPORT EMISSIONS SCENARIOS Summary for Policymakers Emissions Scenarios*. Recuperado de <https://ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>

McDowell, N., Pockman, W., Allen, C., Breshears, D., Cobb, N., Kolb, T., & Yezzer, E. (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *Tansley Review. New Phytologist*, *178*, 719-739.

Régnière, J., Powell, J., Bentz, B., & Nealis, V. (2012). Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: Experimental design, data analysis and modeling. *Insect of Physiology*, *58*, 634-647. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.01.010>

Salinas-Moreno, Y., Vargas-Mendoza, C., Zuñiga, G., Victor, J., Ager, A., & Hayes, J. (2009). *Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género*. México: Comisión Nacional Forestal.

Sambaraju, K., Carroll, A., Zhu, J., Stahl, K., Moore, R., & Aukema, B. (2012). Climate change could alter the distribution of mountain pine beetle outbreaks in western Canada. *Ecography*, *35*, 211-223.

Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución actual de los pinos de México. *Madera y Bosques*, *14*, 107-120.

SAS institute. (2004). SAS (version 9.1). North Carolina, USA: SAS

Six, D. L., & Bracewell, R. (2014). Chapter 8. *Dendroctonus*. En F. E. Vega & R. W. Hoffstetter (Eds.), *Biology and ecology of native and invasive species* (pp. 305-350). MT, EE.UU: Academic Press.

Sullivan, B. T., Niño, A., Moreno, B., Brownie, C., Macías-Samano, J., Clarke, S. R., & Zúñiga, G. (2012). Biochemical evidence that *Dendroctonus frontalis* consists of two sibling species in Belize and Chiapas, Mexico. *Entomological Society of America*, *105*, 817-831.

- Sutherts, W., Baker, R., Coakley, S., Harrington, R., Kriticos, D., & Scherm, H. (2007). Pest under global change-meeting your future landlords? En J. G. Canadell, D. E. Pataki, & L. F. Pitelka (Eds.), *Terrestrial Ecosystems in a Changing World* (pp. 210-226). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Tran, J., Ylioja, T., Billings, R., Regniere, J., & Ayres, M. (2007). Impact of minimum winter temperatures on the population dynamics of *Dendroctonus frontalis*. *Ecological Applications*, *17*(3), 882-899.
- Williams, K., McMillin, J., DeGomez, T., Clancy, K., & Miller, A. (2008). Influence of Elevation on Bark Beetle (Coleoptera: Curculionidae Scolytinae) Community Structure and Flight Periodicity in Ponderosa Pine Forest of Arizona. *Environmental Entomology*, *37*, 94-109.
- Wood, S. (1982). The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph. *Great Basin Naturalist Memoirs*, *6*, 1-1356.
- Zúñiga, G., Cisneros, R., Salinas-Moreno, Y., Hayes, J. L., & Rinehart, J. (2006). Genetic Structure of *Dendroctonus mexicanus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Annals of the Entomological Society of America*, *99*, 945-958.