

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Ciencias Biológicas

FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Dendroctonus frontalis* Y *Dendroctonus mexicanus* ATRAÍDOS A TRAMPAS CON SEMIOQUÍMICOS Y SU CORRELACIÓN CON VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA SIERRA GORDA QUERETANA

TESIS INDIVIDUAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

BIÓL. ADRIANA MORALES RANGEL

DIRIGIDO POR:

DR. VÍCTOR HUGO CAMBRÓN SANDOVAL

C. U. QUERÉTARO, QRO DICIEMBRE 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Maestría EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Dendroctonus frontalis* Y *Dendroctonus mexicanus* ATRAÍDOS A TRAMPAS CON SEMIOQUÍMICOS Y SU CORRELACIÓN CON VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA SIERRA GORDA QUERETANA

TESIS INDIVIDUAL

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestro en Ciencias

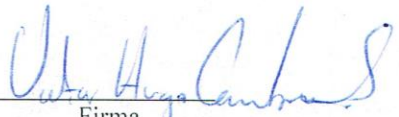
Presenta:

Biól. Adriana Morales Rangel

Dirigido por:

Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval

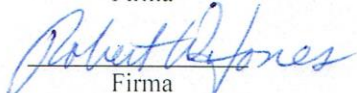
Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval
Presidente


Firma

Dr. José Carmen Soto Correa
Secretario


Firma

Dr. Robert Wallace Jones
Vocal

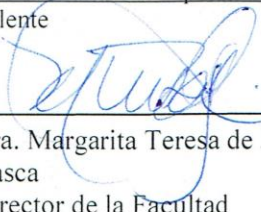

Firma

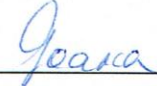
M en C. Javier Alejandro Obregón Zúñiga
Suplente


Firma

M en C. María Concepción Ledesma Colunga
Suplente


Firma


Dra. Margarita Teresa de Jesús García
Gasca
Director de la Facultad


Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Diciembre 2017
México

RESUMEN.

Los descortezadores, principalmente del género *Dendroctonus* Erichson, 1836, son un grupo de insectos de la familia Scolytinae de gran importancia ecológica y económica en el sector forestal. Las principales especies dentro de éste género en México son *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909. Ambas son consideradas una de las plagas más agresivas tanto en los bosques de coníferas de Norteamérica, como de Centroamérica. En el presente estudio, se realizó una evaluación espacio-temporal de las poblaciones de *D. frontalis* y *D. mexicanus* mediante trampas cebadas con semioquímicos en tres localidades de la Sierra Gorda Queretana, durante 22 meses. Se correlacionó además, la fluctuación de las poblaciones con la temperatura. Para ello, se realizaron transectos altitudinales con un par de trampas multiembudo tipo Lindgren cada 100 metros, una de cada par de trampas fue cebada con frontalina, *endo*-brevicomina y alfa/beta pineno y la otra permaneció como testigo. Para medir la temperatura se utilizaron colectores de datos (EasyLog EL-USB-2®) que registraron la temperatura cada 30 min en cada altura. Los resultados mostraron que la mayor abundancia de ambas especies se encuentra en altitudes menores de 2003 msnm y conforme aumenta la altitud, la abundancia de las especies disminuyó. Las poblaciones de ambas especies de *Dendroctonus*, tuvieron presencia durante los 22 meses de muestreo, particularmente en la temporada de invierno. Esta fluctuación se relacionó con el registro de altas temperaturas e inviernos cálidos, durante el periodo de colecta. La mayor actividad de *D. frontalis* y *D. mexicanus* se encontró a temperaturas promedio mayores a 16°C y temperaturas máximas entre 21 y 25°C. La disminución de ambas especies se encontró en altitudes mayores donde la temperatura mínima era menor a 13°C.

(Palabras clave: *Dendroctonus frontalis*, *Dendroctonus mexicanus*, temperatura, fluctuación poblacional, evaluación).

SUMMARY.

Bark beetles, mainly of the genus *Dendroctonus* Erichson, 1836, are a group of insects of the family Scolytinae of great ecological and economic importance, because they cause great damages to the forestry sector. The main species within this genus in Mexico are *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 and *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909, which cause important losses of coniferous forests in North and Central America and are considered one of the most aggressive pests in this type of forest. In this study, a spatiotemporal evaluation of the populations of *D. frontalis* and *D. mexicanus* attracted to traps with semiochemicals was conducted in three localities of the Sierra Gorda Queretana, focused mainly on the correlations of population fluctuations with the temperature. Altitudinal transects were established using a pair of Lindgren-type multi-traps every 100 meters. One of the traps was baited with frontalin, endo-brevicommin and a alpha/beta pinene, and the other remained as control. Temperature was measured with electronic data loggers (EasyLog EL-USB-2®) that registered temperature every 30 min at each altitude. The results showed the highest abundance of both species was found at lower altitudes below 2003 masl, and as altitude increased, the abundance of the species decreased. Temporally, the fluctuation of the populations of *Dendroctonus*, were present during the 22 months of sampling, particularly on winter season. The highest activity of *D. frontalis* and *D. mexicanus* was found at average temperatures above 16°C and maximum temperatures between 21 to 25°C. The decrease of both species was found at higher altitudes where the minimum temperature was lower than 13°C.

(Key words: *Dendroctonus frontalis*, *Dendroctonus mexicanus*, temperature, population fluctuation, evaluation)

A mi mamá E. Celina Rangel Suárez,
por el apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS.

Al fondo CONAFOR-CONACyT C01-234547 por el financiamiento para la realización de este proyecto.

A la beca de formación de grado maestría 710477 CONACyT, Agosto 2015-Julio 2017.

Al Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval, por su apoyo y confianza para realizar parte del este megaproyecto, por su paciencia y gran aprendizaje que obtuve.

Al Dr. José Carmen Soto Correa, por su gran ayuda con los análisis estadísticos y sus valiosas correcciones a este trabajo.

Al Dr. Robert Wallace Jones por sus observaciones a lo largo del proyecto.

Al M en C. Javier Alejandro Obregón Zúñiga por sus observaciones a lo largo del proyecto y sus valiosas correcciones.

A la M en C. Ma. Concepción Colunga por la gran ayuda con el análisis de los datos climáticos.

A Omar Noé Mendoza Villa por todo el apoyo, amor y ánimos para seguir en pie, así como en el trabajo de campo e identificación de las especies de descortezadores.

A Irma Avilés Carrillo, Ricardo Ortega Meléndez y Guillermo Hernández Muñoz por su valiosa amistad y apoyo en el trabajo de campo e identificación.

A los trabajadores de las localidades de Tepozán, Pingüica y El Lobo, por su apoyo y tiempo para realizar la colecta de descortezadores.

ÍNDICE.

RESUMEN.....	5
SUMMARY.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos.....	8
Índice.....	9
Índice de cuadros.....	11
Índice de figuras.....	13
Capítulo 1. FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE <i>Dendroctonus frontalis</i> Y <i>Dendroctonus mexicanus</i> ATRAÍDOS A TRAMPAS CON SEMIOQUÍMICOS Y SU CORRELACIÓN CON VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA SIERRA GORDA QUERETANA.....	16
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. HIPÓTESIS.....	19
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 General.....	19
3.2 Específico.....	19
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
4.1 Importancia de los bosques de coníferas.....	20
4.2 Ecología e importancia de los descortezadores.....	21
4.2.1 Descripción del grupo.....	21
4.2.2 Ciclo de vida.....	22
4.2.3 El género <i>Dendroctonus</i>	23
4.2.4 Distribución.....	24
4.2.5 Factores asociados a brotes de descortezadores.....	24
4.2.6 Uso de feromonas y monitoreo.....	25
4.3 <i>Dendroctonus frontalis</i> y <i>Dendroctonus mexicanus</i>.....	26
4.3.1 Distribución.....	27
4.3.2 Características.....	27
4.3.3 Temperatura.....	28
4.3.4 Interacciones ecológicas.....	29
4.3.5 Condiciones del hospedero.....	29
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
5.1 Área de estudio.....	30
5.2 Selección de sitios y localización de trampas.....	30
5.3 Colecta e identificación de descortezadores.....	34
5.4 Variables climáticas.....	35

5.5 Análisis de datos.....	35
6. RESULTADOS.....	37
6.1 Muestreo de insectos del género <i>Dendroctonus</i>	37
6.2 Abundancia altitudinal.....	39
6.3 Fluctuación temporal.....	41
6.4 Fluctuación espacio-temporal por sitio.....	42
6.4.1 El Lobo-Madroño, Landa de Matamoros.....	42
6.4.2 Tepozán, Arroyo Seco.....	48
6.4.3 La Pingüica, Pinal de Amoles.....	53
7. DISCUSIÓN.....	59
7.1 Fluctuación espacio-temporal.....	59
8. CONCLUSIÓN.....	64
9. LITERATURA CITADA.....	65

Capítulo 2. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN POBLACIONES DE *Dendroctonus frontalis* Y *Dendroctonus mexicanus* BAJO UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SIERRA GORDA QUERETANA..... 75

RESUMEN.....	76
ABSTRACT.....	77
1. INTRODUCCIÓN.....	78
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	79
2.1 Área de estudio.....	79
2.2 Establecimiento de trampas.....	79
2.3 Colecta e identificación de insectos.....	79
2.4 Temperatura.....	80
2.5 Análisis de datos.....	80
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	82
4. CONCLUSIÓN.....	85
5. LITERATURA CITADA.....	86

ÍNDICE DE CUADROS.

Capítulo 1.

Cuadro 1. Sitios de muestreo de las especies de <i>D. frontalis</i> y <i>D. mexicanus</i> , abundancia y temperaturas registradas por los data logger.....	36
Cuadro 2. Prueba de comparación de rangos Steel-Dwass de la abundancia de las especies de <i>Dendroctonus</i> y temperatura por altitud para el estado de Querétaro.....	39 y 40
Cuadro 3. Temperaturas registradas en los meses de mayor abundancia de las especies de <i>Dendroctonus</i> en la localidad de El Lobo-Madroño, Landa de Matamoros.....	41
Cuadro 4. Prueba de comparación para todos los pares Steel-Dwass de abundancia y temperatura por altitud en la localidad de Lobo-Madroño.....	44
Cuadro 5. Temperaturas registradas en los meses de mayor abundancia de las especies de <i>Dendroctonus</i> en la localidad de El Lobo-Madroño, Landa de Matamoros.....	45
Cuadro 6. Prueba de comparación para todos los pares Steel-Dwass de abundancia y temperatura por altitud en la localidad de Tepozán.....	49
Cuadro 7. Temperaturas registradas en los meses de mayor abundancia de las especies de <i>Dendroctonus</i> en la localidad de Tepozán, Arroyo Seco.....	51
Cuadro 8. Prueba de comparación para todos los pares Steel-Dwass de abundancia y temperatura por altitud en la localidad de La Pingüica.....	54
Cuadro 9. Temperaturas registradas en los meses de mayor abundancia de las especies de <i>Dendroctonus</i> en la localidad de La Pingüica, Pinal de Amoles.....	55

Capítulo 2

Cuadro 1. Sitios de muestreo de las especies de <i>D. frontalis</i> y <i>D. mexicanus</i> , abundancia, temperaturas ocurridas entre los años 2015-2016 y estimación al año 2030.....	81
---	----

Cuadro 2. Prueba de Tukey de abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* y temperaturas ocurridas entre 2015-2016 y estimadas al 2030 en un escenario A1B..... 83

ÍNDICE DE FIGURAS.

Capítulo 1.

Fig1. Ciclo de vida del género <i>Dendroctonus</i>	23
Fig. 2. Mapa del área de estudio y ubicación de trampas en los sitios de muestreo.....	31
Fig. 3. Método de colecta en el gradiente altitudinal con un par de trampas cada 100 m...	32
Fig. 4. Semioquímicos utilizados para <i>Dendroctonus</i> spp y trampas Lindgren de 8 embudos con vaso colector cebada con SQ's.....	32
Fig. 5. Limpieza y separación de descortezadores e identificación de las especies de descortezadores.....	33
Fig. 6. <i>Dendroctonus frontalis</i> siguiendo las claves de Wood (1982) y Cibrián-Tovar <i>et al.</i> (1995).....	34
Fig. 7. <i>Dendroctonus mexicanus</i> siguiendo las claves de Wood (1982) y Cibrián-Tovar <i>et al.</i> (1995).....	34
Fig. 8. Abundancia total de <i>D. frontalis</i> y <i>D. mexicanus</i> por localidad.....	37
Fig. 9. Abundancia altitudinal de <i>D. frontalis</i> y fluctuación de la temperatura durante el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016.....	38
Fig. 10. Abundancia altitudinal de <i>D. mexicanus</i> y fluctuación de la temperatura durante el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016.....	39
Fig. 11. Abundancia promedio mensual de <i>D. frontalis</i> y fluctuación de la temperatura durante los 22 meses de muestreo en el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016.....	41
Fig. 12. Abundancia promedio mensual de <i>D. mexicanus</i> y fluctuación de la temperatura durante los 22 meses de muestreo en el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016.....	42
Fig. 13. Características del arbolado en los sitios de estudio en la localidad de El Lobo-Madroño	43

Fig. 14. Abundancia altitudinal de <i>D. frontalis</i> y <i>D. mexicanus</i> y fluctuación de la temperatura en la localidad de Lobo-Madroño durante los 22 meses de colecta.....	44
Fig. 15. Abundancia mensual de <i>D. frontalis</i> y fluctuación de la temperatura en la localidad Lobo-Madroño durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016).....	45
Fig. 16. Abundancia mensual de <i>D. mexicanus</i> y fluctuación de la temperatura en la localidad de Lobo-Madroño durante el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016.....	46
Fig. 17. Abundancia mensual de <i>D. frontalis</i> y acumulación promedio de días durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad de Lobo-Madroño.....	47
Fig. 18. Abundancia mensual de <i>D. mexicanus</i> y acumulación promedio de días durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad de Lobo-Madroño..	47
Fig. 19. Características del arbolado en los sitios de estudio en la localidad Tepozán.....	48
Fig. 20. Abundancia altitudinal de <i>D. frontalis</i> y fluctuación de temperatura en la localidad de Tepozán.....	49
Fig. 21. Abundancia mensual de <i>D. frontalis</i> y fluctuación de temperatura en la localidad de Tepozán durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016).....	50
Fig. 22. Abundancia mensual de <i>D. mexicanus</i> y fluctuación de temperatura en la localidad de Tepozán durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016).....	50
Fig. 23. Abundancia mensual de <i>D. frontalis</i> y acumulación promedio de días durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad de Tepozán.....	52
Fig. 24. Abundancia mensual de <i>D. mexicanus</i> y acumulación promedio de días durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad de Tepozán.....	52
Fig. 25. Características del arbolado en los sitios de estudio en la localidad de La Pingüica.....	53
Fig. 26. Abundancia altitudinal de <i>D. mexicanus</i> y fluctuación de temperatura en la localidad de La Pingüica.....	54

Fig. 27. Abundancia mensual de <i>D. frontalis</i> y fluctuación de temperatura en la localidad de La Pingüica durante el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016.....	56
Fig. 28. Abundancia mensual de <i>D. mexicanus</i> y fluctuación de temperatura en la localidad de La Pingüica durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016).....	56
Fig. 29. Abundancia mensual de <i>D. frontalis</i> y acumulación promedio de días durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad La Pingüica.....	58
Fig. 30. Abundancia mensual de <i>D. mexicanus</i> y acumulación promedio de días durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad La Pingüica.....	58
Fig. 31. Fluctuación anual de <i>D. frontalis</i> y <i>D. mexicanus</i> y temperatura máxima promedio anual.....	61

Capítulo 2.

Fig. 1. Temperatura actual del periodo 2015 a 2016 y estimación de temperatura del escenario A1B al año 2030.....	84
---	----

**Capítulo 1. FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE *Dendroctonus frontalis* Y
Dendroctonus mexicanus ATRAÍDOS A TRAMPAS CON SEMIOQUÍMICOS Y SU
CORRELACIÓN CON VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA SIERRA GORDA
QUERETANA**

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) es uno de los principales factores en el aumento de la temperatura, que ha desencadenado un cambio climático global. Durante el periodo del 2000 al 2010 los GEI fueron los más altos registrados que en años anteriores (IPCC, 2014). En consecuencia, se ha observado un cambio en los patrones de precipitación, aumento de temperaturas, brotes de plagas y disminución de la cobertura vegetal, particularmente de los bosques. Los sistemas forestales sufren alteraciones ante el cambio climático, lo que ocasiona que los árboles sean más susceptibles al ataque de plagas (Allen et al., 2010; Bentz & Jönson, 2015).

Los bosques de coníferas presentan amplia distribución latitudinal y altitudinal en México. Son importantes ecológica y económicamente, como fuente de recursos primarios. Proveen de importantes servicios ecosistémicos como la captura de carbono, generación de oxígeno, modulación o regulación del clima, retención y recuperación de suelo, amortiguamiento del impacto de fenómenos naturales, entre otros (Mendoza-Pedraza, 2008). Sin embargo, los sistemas forestales de coníferas se han visto afectados por diversos factores como: la frecuencia de los incendios, la tala ilegal, aprovechamiento no sustentable. Todo ello ha provocado la disminución de las superficies forestales, y con esto, la diversidad biológica que albergan y procesos ecológicos de los que son parte (Challenger et al., 2009; Rosete et al., 2014).

Los estudios sobre plagas forestales, se han enfocado en este tipo de bosques porque los ataques masivos ocurren en bosques de coníferas. Las principales plagas que amenaza este tipo de bosques y con ataques masivos son los descortezadores, siendo de gran importancia en su efecto sobre los procesos ecológicos y el sector económico (Ohmart, 1989; Krokene, 2015).

Los insectos descortezadores, y el particular el género *Dendroctonus*, tienden a aumentar sus poblaciones al punto de acabar con extensas áreas de bosques, principalmente coníferas del género *Pinus* (Salinas-Moreno et al., 2010). Estos insectos ocurren de manera natural en los ecosistemas y los factores bióticos y abióticos como la temperatura, las condiciones del sitio, la edad del arbolado y las actividades humanas (Alvarado, 2013), son de gran importancia

para que las poblaciones de estos insectos lleguen a considerarse plagas forestales. Las variaciones climáticas modulan la distribución y desarrollo de *Dendroctonus*. Catalogados como poiquiloterms, la temperatura es uno de los moduladores importantes principalmente para su desarrollo (Lombardero et al., 2000). El incremento de las temperaturas, hoy en día relacionado al calentamiento global se ve reflejado en el aumento de las generaciones por año y que como consecuencia se desencadene un brote en los sistemas forestales (Bentz et al., 2014; Six y Bracewell, 2015).

Para muestrear y monitorear poblaciones de descortezadores, se utiliza un sistema de monitoreo que consiste de trampas multiembudo tipo Lindgren agregándole una combinación de semioquímicos (Macías-Sámano y Niño-Domínguez, 2016). Dependiendo de la especie de insectos se quiera atraer, existen combinaciones de semioquímicos estandarizados para algunos géneros. Por ejemplo, para el género *Dendroctonus* spp la combinación más usada comprende de Frontalina, endobrevicomina y alfa/beta pineno (Synergy Semiochemicals Corps.).

El presente estudio se basó en caracterizar la fluctuación espacio-temporal de las especies principales de *Dendroctonus* en la Sierra Gorda en Querétaro, México, y explorar el grado de relación que tiene esta abundancia altitudinal y mensual con la temperatura, utilizando el sistema de monitoreo con trampas Lindgren y semioquímicos para *Dendroctonus* spp.

2. HIPÓTESIS

La temperatura influye en la fluctuación poblacional de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* atraídos a trampas con semioquímicos en sitios de la Sierra Gorda Queretana.

3. OBJETIVOS.

3.1 General.

3.1.1. Evaluar la fluctuación poblacional de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* atraídos a trampas con semioquímicos correlacionado a variables climáticas dentro de 3 sitios en la Sierra Gorda Queretana.

3.2 Específicos.

3.2.1. Comparar la fluctuación espacio-temporal entre las especies de *Dendroctonus* dentro de tres sitios en la Sierra Gorda Queretana durante 22 meses de muestreo.

3.2.2. Correlacionar la fluctuación espacio-temporal de las especies de *Dendroctonus* con la temperatura, en cada sitio dentro de la Sierra Gorda Queretana.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Importancia de los bosques de coníferas.

En México, los bosques de coníferas abarcan aproximadamente del 5 al 7% del territorio nacional (Robert, 2012). Los principales servicios ambientales que proveen estos bosque son: la captura de carbono, la generación de oxígeno, retención y recuperación del suelo, regulación o modulación del clima, amortiguamiento del impacto de fenómenos naturales, entre otros (Mendoza-Pedraza, 2008). Sin embargo, debido a su gran importancia en diferentes sectores económicos, estos bosques han disminuido en extensión por diversos factores antropogénicos como la tala ilegal, el aprovechamiento directo o de productos secundarios, la expansión de la actividad agrícola y pecuaria (Gernandt y Pérez, 2014). Esta disminución en el área de los bosques no solo está atribuida a los factores antropogénicos sino al conjunto de estos y los factores asociados al cambio climático como son cambio en los patrones de precipitación, aumento de las temperaturas, brote de plagas, etc. (IPCC, 2014).

Los efectos del cambio climático afecta directamente el comportamiento fisiológico de las plantas, disminuyendo su capacidad para resistir ataques de fitopatógenos o defoliadores, lo que contribuye a que insectos herbívoros aumenten sus poblaciones (Allen et al., 2010; Bentz & Jönson, 2015), disminuyendo drásticamente la superficie de los bosques. La acción de los insectos en condiciones epidémicas afecta directamente en la industria forestal, el valor comercial de la madera disminuye y en conjunto con los factores como los incendios inducidos, la actividad humana y el cambio climático, disminuyen las superficies forestales. Además, la presencia de estos insectos afecta cualquier estrategia de manejo silvícola, ya que su control conlleva el derribo masivo de árboles. Estas acciones provocan que la mayoría de los bosques manifiesten debilitamiento, contracción y fragmentación (Salinas-Moreno *et al.*, 2010), resultando en la afectación de 43 500 ha por diversas plagas forestales, sin embargo el 40% corresponde a daños por descortezadores (CONAFOR, 2012).

Un ejemplo de lo anterior, la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda en el estado de Querétaro, que cuenta con una extensión de 383, 567 ha, representa el 32.02% del territorio del estado (Carabias et al., 1999), hasta el 2014 resultaron afectadas 5 400 ha por brotes de descortezadores, distribuidas principalmente entre los municipios de Jalpan de Serra (Vergara-Pineda et al, 2014), Landa de Matamoros, Pinal de Amoles, Arroyo Seco y Peñamiller (Cibrián et al, 2014).

4.2 Ecología e importancia de los descortezadores.

4.2.1 Descripción del grupo.

Los escarabajos descortezadores pertenecientes a la subfamilia Scolytinae, Latreille, 1807 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) son el grupo de insectos de mayor importancia ecológica en los bosques de coníferas (López, 2007).

Los adultos de los escolítidos tienen un rango de longitud variable de 0.18 mm hasta 1.5 cm, cilíndricos, de tonalidades rojizas a marrón; presentan estrías longitudinales en los élitros y generalmente presentan una depresión en la parte terminal de los élitros, también llamada “declive elitral”. Las antenas son cortas y geniculadas, terminando en “maza”; en la tibia anterior presentan una “espina” larga en el ápice (Cibrián-Tovar et al., 1995; Wood, 2007).

Los descortezadores ocurren de manera natural en los bosques de coníferas, siendo parte del funcionamiento del ecosistema. Presentan un rol importante en la estructura de las comunidades de plantas, así como en la estructura del suelo, patrones de sucesión y la biodiversidad. El principal papel ecológico de estos insectos es contribuir a la descomposición de madera mediante su alimentación en simbiosis con otros microorganismos, o pueden proporcionar la entrada de otros organismos descomponedores o degradadores (Wood, 1982; Raffa et al., 2015).

Varias especies de descortezadores presentan un hábito de alimentación subcortical, principalmente en pinos; de los más comunes se encuentran los que se alimentan del floema (Floeofagos) y del xilema (xylofagos), pueden atacar plantas hospederas vivas, causando el debilitamiento e incluso la muerte total de éstas (Atkinson et al., 1986; Atkinson y Equihua, 1986).

Algunas especies de descortezadores de la subfamilia Scolytinae están restringidos a un cierto número de hospederos, 14 de las 25 tribus están ligados con Gimnospermas (Salinas-Moreno *et al.*, 2010).

4.2.2 *Ciclo de vida.*

El ciclo de vida de los descortezadores depende de su capacidad de vuelo, y del hospedero ideal para iniciar su ciclo. El proceso de colonización comprende de 3 etapas principales: la colonización del hospedero, el desarrollo de la cría dentro de los hospederos y la emergencia. El ciclo inicia cuando los adultos emergen del árbol en busca de un nuevo hospedero; la hembra inicia la búsqueda del nuevo árbol, al localizar el hospedero ideal, barrena sobre la corteza y comienza a emitir feromonas de agregación (Coulson, 1979). Al momento de empezar la colonización, el árbol emite compuestos volátiles (kairomonas) lo cual atrae tanto a hembras como machos hacia el árbol colonizado. Cuando la hembra se une al macho, comienzan la construcción de un sistema de galerías debajo de la corteza donde se desarrollará la progenie (Figura 1) (Wood, 1986; Macías-Sámano *et al.*, 2004).

El ataque por descortezadores, debido a sus feromonas de agregación, promueve que en el área se formen diferentes estados de colonización en los hospederos. En la primera fase de infestación por descortezadores el árbol hospedero presenta una coloración verde limón en el follaje, con grumos de resina de color blanco a rosado, que salen de los orificios de entrada de los descortezadores. En la segunda fase la coloración del follaje se torna amarillenta o rojiza, y presenta grumos de resina blancos y duros. En el momento que las larvas han madurado y emergen los adultos, el follaje de los hospederos se observa totalmente rojizo y la resina amarillenta y dura (figura 1) (Macías-Sámano *et al.*, 2004).

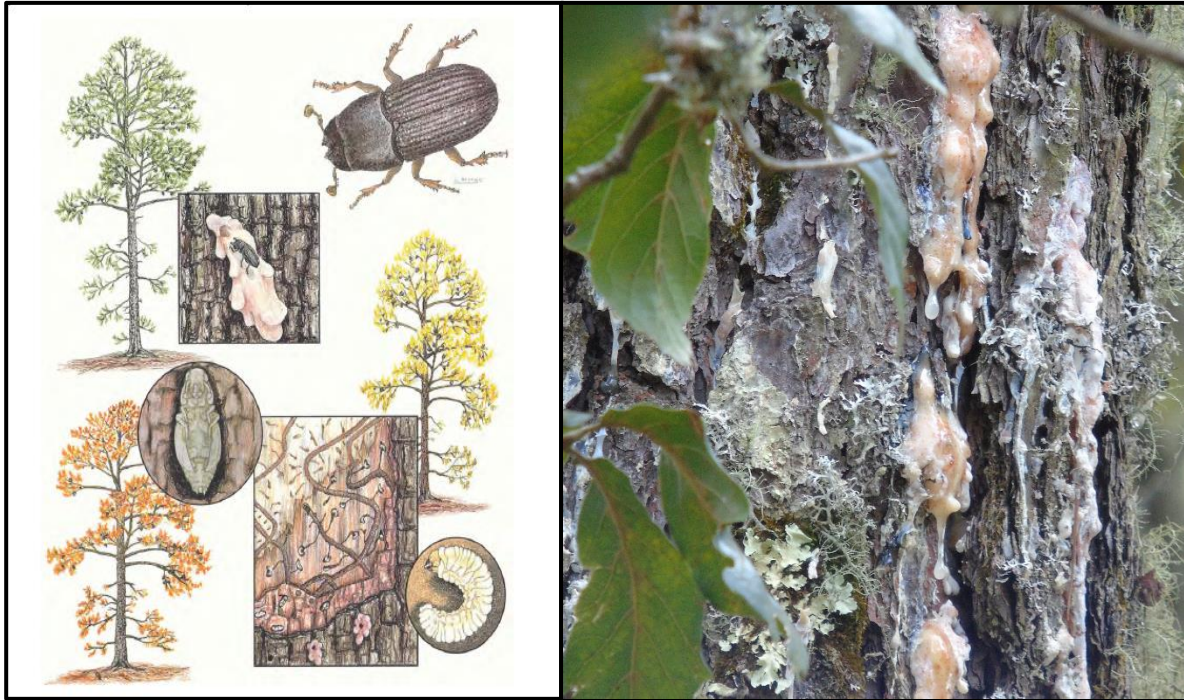


Fig. 1. Izq. Ciclo de vida de *Dendroctonus* spp. (Cibrián-Tovar et al., 1995). Der. Grumos de resina por ataque de *Dendroctonus* sp. (Foto: Omar N. Mendoza).

4.2.3 El género *Dendroctonus*.

El género *Dendroctonus* Erichson, 1836 es de los más importantes dentro de esta subfamilia, ya que pueden aumentar su población a tal grado de destruir extensas áreas de bosques de coníferas. Este es uno de los principales factores de mortalidad de bosques en Norte América, México y algunos países de Centroamérica (Macías-Sámamo et al, 2004). Provoca grandes consecuencias económicas en la industria maderera local y regional, estética del paisaje y de recreación (Six & Bracewell, 2015). Este grupo cuenta con 19 especies descritas, restringidas solamente a especies de la familia Pinaceae. En México se encuentran 11 especies de *Dendroctonus* (Cibrián-Tovar et al, 1995), los cuales causan elevadas tasas de mortalidad en especies de *Pinus* y *Pseudotsuga* (Salinas-Moreno et al., 2010).

Los adultos tienen cuerpo oblongo y un declive elitoral convexo; el club antenal es fuertemente aplanado, la coloración varía de marrón oscuro a negro y en algunas especies presentan coloraciones rojizas. El tamaño va desde 2.8 mm a 7.3 mm. Se caracterizan por formar

galerías en el floema donde depositan sus huevos, aunque muchas especies restringen su alimentación a árboles con floema más grueso (Six & Bracewell, 2015).

En México, estas especies se caracterizan por presentar un comportamiento agresivo de polifagia, colonizando más de 20 especies del género *Pinus*. Por este tipo de comportamiento y la amplia distribución de sus hospederos, permite que haya coexistencia de varias especies de *Dendroctonus* en un mismo hospedero, tanto especies primarias como especies secundarias. Esta coexistencia de las especies primarias incrementa la vulnerabilidad de muerte del árbol, ya que lo hace susceptible y más “atractivo” para otros descortezadores (Dajoz, 2001).

4.2.4 Distribución.

En el continente Americano el género *Dendroctonus* se distribuye latitudinalmente desde el oeste de Canadá hasta Nicaragua. En México se localiza en los principales sistemas montañosos: Sierra de Baja California, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Faja Volcánica Transmexicana, Sierra Madre del Sur, hasta la Sierra de Chiapas. Altitudinalmente su distribución oscila entre los 1700 y 2500 msnm, en ambientes templados a templados-fríos (Salinas-Moreno et al., 2010).

4.2.5 Factores asociados a brotes de descortezadores.

Existen varios factores bióticos y abióticos que favorecen la persistencia de los descortezadores en regiones templadas. Principalmente en el género *Dendroctonus*, los factores abióticos son los que ejercen mayor efecto sobre la dinámica y distribución de los insectos. Estos insectos al ser poiquiloterms dependen de la temperatura; esto causa significantes alteraciones en la dinámica poblacional positiva y negativamente, ya que la temperatura controla la tasa de desarrollo dentro de árbol, también en la iniciación del vuelo, la actividad de apareamiento, los rangos de oviposición y delimita su distribución geográfica (Lombardero et al., 2000; Six & Bracewell, 2015).

Las temperaturas estacionales y el periodo de aumento de la vegetación permiten una sincronía de la emergencia de los adultos, un ataque masivo, y el desarrollo exitoso de varias generaciones por año (Bentz et al, 2014).

La humedad relativa ambiental es otro factor importante que ejerce efecto sobre la dinámica poblacional de *Dendroctonus*. La humedad afecta la susceptibilidad de los árboles hospederos a los ataques del insecto e influye en el rango de crecimiento y establecimiento de los hongos simbióticos de los descortezadores. La disminución de la humedad durante la estación de crecimiento dificulta la resistencia de las plantas a los herbívoros (Safranyik et al, 2010; Rubín–Aguirre et al., 2015; Six & Bracewell, 2015).

Otros factores que tienen efecto en la dinámica poblacional del género son: actividades de manejo inadecuadas de los bosques, eventos meteorológicos severos interanuales de escala local y regional, excesivo calentamiento del ambiente y las condiciones de aridez de cada sitio (Cuéllar-Rodríguez et al, 2012).

4.2.6 Uso de feromonas y Monitoreo.

Los semioquímicos (SQ's) son sustancias químicas conductuales emitidos por los insectos que actúan principalmente como feromonas sexuales y de agregación; sin embargo también tienen un papel importante en la selección del hospedero y la colonización (Byers, 1989; Mérida, 2010) aunque a su vez pueden actuar como kairomonas atrayendo a sus depredadores y otras especies congéneres (Macías-Sámano et al., 2004). Las kairomonas son compuestos emitidos por algunas especies que ofrecen beneficio a otras especies, pero que afecta a la especie que la emite (Witham, 1988; Sánchez-Martínez et al., 2007). Los compuestos que los hospederos emiten actúan como kairomonas, lo cual influye en los descortezadores para la selección del mejor hospedero a colonizar (Byers, 1989).

El éxito de la colonización del hospedero requiere superar las defensas químicas del propio árbol; por ello, los descortezadores liberan grandes cantidades de feromonas de agregación para garantizar la atracción de sus congéneres, ya que los árboles no pueden sobrellevar un ataque masivo (Raffa et al., 1993; Symonds & Elgar, 2004). Por otro lado, hay especies como *Dendroctonus valens*, que seleccionan al hospedero solo por la atracción de los monoterpenos emitidos por el árbol y no por feromonas de agregación; por lo que la

especie se considera inofensiva al no provocar grandes brotes en los bosques de pino (Hobson et al., 1993).

En el monitoreo de las especies de descortezadores se ha implementado el uso de trampas cebadas con SQ's. Las trampas más utilizadas en este tipo de estudio son las trampas diseñadas por Staffan Lindgren, los cuales consisten en una serie de 8, 12 o 16 embudos de color negro, colocados en forma vertical, simulando el fuste de un árbol (Lindgren, 1983).

Para el monitoreo de las poblaciones de descortezadores se pueden utilizar sustancias químicas que modifiquen el comportamiento de estos, como feromonas producidas y detectadas por insectos de la misma especie, y kairomonas que atraen a sus depredadores (Macías-Sámano et al., 2004). El aguarrás se ha utilizado como alternativa de atracción, ya que tiene mayor número de componentes presentes en la resina (Cuéllar-Rodríguez et al., 2012). Macías-Sámano et al (2004) menciona que al realizar la selección de los sitios para establecer el sistema de monitoreo, estos deben presentar características como bosques con árboles de pino recientemente infestados, sitios que hayan recibido saneamiento en años anteriores o que hayan sufrido un incendio.

También menciona que el uso de trampas con SQ's es un método en donde la atracción de los descortezadores es relativamente garantizada. Sin embargo, al ser sustancias que alteran el comportamiento de los insectos, la respuesta a los mismos varía en cuanto al número de trampas, especificidad y tiempo de reacción de los insectos. Es importante remarcar que el uso de trampas cebadas es únicamente un tipo de muestreo y que su capacidad y eficiencia depende de las condiciones de sitio y de las réplicas que se puedan hacer, al igual que el uso de diferentes combinaciones de SQ's, dependerá de lo que se requiera en el estudio (Macías-Sámano y Niño-Domínguez, 2016).

4.3 *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus*.

D. frontalis y *D. mexicanus*, son consideradas una de las plagas primarias forestales más agresivas en bosques de coníferas (Salinas-Moreno et al., 2010), ya que coexisten en el mismo hospedero, por lo tanto provocan la rápida devastación de bosques de pino (Landaverde, 2001). A principio de la década de 1980 ya se reconocía a *D. frontalis* como

uno de los agentes principales de mortalidad de bosques de pino a lo largo de la región sur de EUA y norte de México (Coulson et al., 1989).

Los criterios más importantes que se toman en cuenta para el análisis de la dinámica poblacional de *D. frontalis* y *D. mexicanus* son primero, los factores relacionados con la distribución y abundancia de los centros de infestación a través del espacio y el tiempo, asociado con la iniciación de los brotes. Segundo, los factores que intervienen en el crecimiento de las infestaciones una vez que se han establecido (Coulson et al., 1989).

Ambas especies presentan un patrón de crecimiento similar, ya que generalmente hay un frente activo donde hay un continuo de colonización de árboles huésped (Schowalter et al., 1981). La infestación se considera la unidad básica de estudios sobre dinámica de poblaciones de estas especies. La tasa de desarrollo es a menudo bastante rápida ya que una infestación puede aumentar en tamaño de solo unos pocos a varios miles de hectáreas (Coulson et al., 1989).

4.3.1 Distribución.

D. frontalis tiene una distribución desde Canadá hasta Nicaragua (Coulson et al., 1989; Salinas-Moreno et al., 2010). *D. mexicanus* tiene distribución en las principales sistemas montañosos de México, desde Chiapas hasta el estado de Sonora; se creía que era una distribución limitada a México, sin embargo años anteriores se reportó en el sur de Estados Unidos (Moser et al., 2005).

La distribución altitudinal de *D. frontalis* y *D. mexicanus* en México ocurre a lo largo de las principales cadenas montañosas (Hain et al., 2011), con un rango altitudinal preferente entre 1500-2000 msnm (*D. frontalis*) y 2000-2500 msnm (*D. mexicanus*) (Salinas-Moreno et al., 2010).

4.3.2 Características.

Un rasgo conspicuo que varía significativamente entre las especies del género *Dendroctonus*, es el tamaño corporal promedio. Sistemáticamente existe el complejo *D. frontalis* que incluye

las especies *D. frontalis*, *D. mexicanus*, *D. approximatus*, *D. brevicomis*, *D. adjunctus* y *D. vitei* (Lanier et al., 1988). De estas, las 3 especies simpátricas *D. frontalis*, *D. mexicanus* y *D. vitei*, comparten ciertas características que se superponen, haciendo más compleja su identificación. Sin embargo gracias a estudios moleculares y de genitalias es posible su separación (Coulson et al., 1989).

En el caso de *D. frontalis*, mide en promedio 3 mm de longitud y se considera la especie más pequeña del género, en comparación con la especie más grande del mismo género *D. vales*, con 7.3 mm de longitud (Wood, 1982). Sin embargo, la variación en tamaño de *D. frontalis* y *D. mexicanus* son muy similares, por lo que la morfología externa, específicamente el tamaño, densidad y patrón de setas en el declive elitral identifica correctamente el 75% de una serie de estas dos especies. *D. frontalis* se caracteriza morfológicamente por presentar setas cortas y largas en los espacios interestriales 1 a 3, mientras que *D. mexicanus* presenta setas cortas, medianas y largas en los mismos espacios del declive elitral. Dicha caracterización morfológica entre estas dos especies es sustentada con análisis moleculares y genitalias que dan certeza a la diferenciación de estas especies, haciendo más eficiente y confiable la identificación por caracteres morfológicos externos (Cognato, 2011).

4.3.3 Temperatura.

La temperatura juega un papel importante en la determinación del número de generaciones que una especie puede producir por año. Algunas especies, particularmente las que viven en regiones cálidas, son altamente eficientes produciendo generaciones adicionales, cuando las temperaturas son cálidas (Cibrián-Tovar et al., 1995). En contraparte, aquellas especies que viven en lugares donde hay inviernos muy fríos, al parecer dependen en buena medida de la temperatura estacional, ya que la ecología térmica de estas especies es relativamente resistente a la variación normalmente esperada en los paneles de temperatura estacional. Sin embargo, cuando la temperatura va más allá de la variabilidad típica, podría resultar en la interrupción de la estacionalidad adaptativa (Logan y Bentz, 1999; Logan y Powell, 2001). Aunado a lo anterior, la temperatura también está relacionada en la delimitación geográfica de las especies de *Dendroctonus* (Carroll et al., 2003). Se ha determinado que *D. frontalis* presenta baja tolerancia a climas fríos (Trán et al., 2007) y a temperaturas muy altas, lo que

limita su distribución geográfica a longitudes y latitudes intermedias, sin descartar la influencia de otros factores ambientales (Friedenberg et al., 2014). Caso contrario de *D. mexicanus*, que presenta más resistencia a climas fríos (Moser et al., 2005).

4.3.4 Interacciones ecológicas

Las especies *D. frontalis* y *D. mexicanus* están asociadas a las especies de hongos micangiales *Entomocorticium sp.* y *Ceratocystiopsis ranaculosus*, por estar mantenidos en bolsas torácicas especiales llamadas micangios. Estos hongos suplementan la dieta de la descendencia de los escarabajos por medio del aumento en la concentración de nitrógeno (N₂). Las hembras adultas inoculan activamente los hongos en las galerías que contienen los huevos (Ayres et al., 2000).

4.3.5 Condiciones del hospedero

La fisiología de la especie hospedera, las altas densidades del arbolado, las condiciones y parámetros del sitio, enfermedades, daños por eventos meteorológicos, inundaciones, sequías, daños por el viento o la insuficiencia de recursos, aumentan la el estrés fisiológico y a la par la susceptibilidad del hospedero, que provoca una deficiencia en los mecanismos de defensa contra los descortezadores y, consecuentemente aumenta la idoneidad para el ataque y desarrollo de las nuevas generaciones de *D. frontalis* y *D. mexicanus* (Bennett, 1968; Lorio y Bennett, 1974; Leuchner et al., 1976; Hodges et al., 1979 en Coulson et al., 1989; Landaverde 2001). El estrés fisiológico provoca una disminución del vigor del arbolado, que incrementa cuando estos compiten interespecíficamente por los mismos recursos (Coulson et al., 1989).

Considerando lo anterior, las especies *D. frontalis* y *D. mexicanus* se consideran oportunistas, que sobreviven en los arboles bajo tensión o estrés fisiológico, ya que cuando los descortezadores intentan colonizar arboles vigorosos que no están bajo estrés fisiológico, están compitiendo con todos los factores ambientales y fisiológicos de los hospederos antes mencionados, más otras especies de descortezadores (Cognato, 2011).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio.

El sistema de muestreo se estableció dentro de bosques de coníferas en cuatro localidades al norte del estado de Querétaro: La Pingüica (21°09'25.99"N, 99°41'44.00"O) en el municipio de Pinal de Amoles, El Tepozán (21°19'59.39"N, 99°43'03.38"O) en el municipio de Arroyo Seco, El Lobo (21°17'34.00"N, 99°07'09.99"O) y El Madroño (21°17'15.00"N, 99°08'16.00"O) en el municipio de Landa de Matamoros (figura 2) (INEGI, 2016). Las especies de coníferas presentes en los sitios de estudio fueron *Pinus patula*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite*, *P. teocote*, *P. greggii*, *P. rudis*, *P. cembroides*, *P. pinceana* y *Pinus oocarpa* en la localidad de La Florida en el municipio de Arroyo Seco; así como algunas especies del género *Quercus*, dentro de las que destacan: *Quercus crassifolia*, *Q. greggii* (en altitudes entre 2200 a 3100 msnm), *Q. mexicana* y *Q. castanea* (entre los 1200 a 2300 msnm) (Carabias et al., 1999). Los sitios se caracterizan por un clima templado húmedo a semicálido sub-húmedo con lluvias en verano con una precipitación media anual de 850 mm a 920 mm y una temperatura media anual de 12°C a 24°C. La temperatura máxima se presenta en abril y mayo y la mínima en los meses de diciembre y enero (INEGI, 2009).

5.2 Selección de sitios y localización de trampas.

La selección de sitios se realizó dentro de un gradiente altitudinal en intervalos de 100 m (figura 3) (Macías-Sámano y Niño-Domínguez, 2016), registrando las coordenadas geográficas y altitud de cada sitio utilizando un GPS Garmin® modelo Montana 600 (cuadro1). En la elección de los sitios se consideró la presencia y abundancia de especies de pino donde anteriormente hubo reportes de ataque por escarabajos descortezadores. En la localidad de La Pingüica se localizó el transecto entre las altitudes de 2393 a 3058 msnm.; en el Tepozán entre los 1593 a 2003 msnm; en el caso de El Lobo y El Madroño se localizó entre los 1589 a 1716 msnm tomándose como un solo gradiente y se manejó como localidad El Lobo.

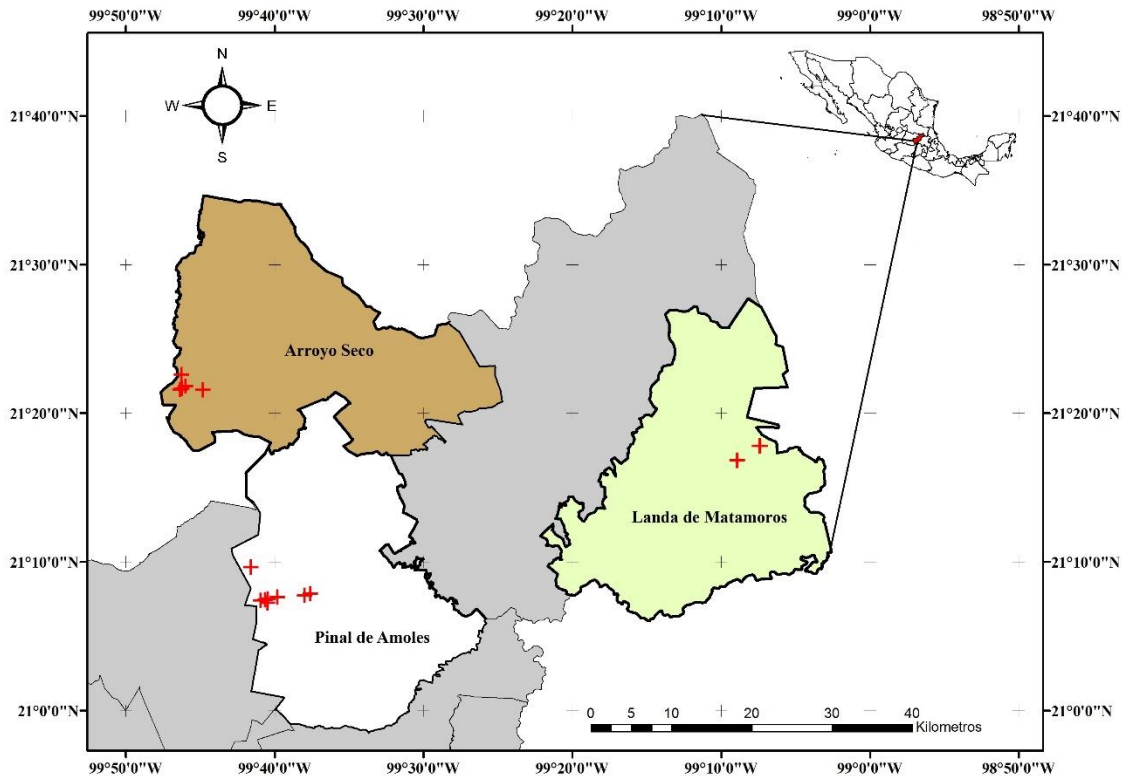


Fig. 2. Mapa del área de estudio en el estado de Querétaro, México y ubicación de trampas Lindgren (cruces) en los sitios de muestreo. Elaboración propia con datos de INEGI 2016.

En cada punto de muestreo se, colocaron dos trampas tipo Lindgren de 8 embudos con vaso colector de Synergy Semiochemicals Corps® (figura 4), separadas 50 m longitudinalmente; se instalaron en árboles no hospederos para evitar provocar infestaciones, quedando suspendidas a 1.5 m del suelo (Rodríguez, 2009). Una trampa estuvo cebada con una combinación de semioquímicos (SQ's) para *Dendroctonus* spp de Synergy Semiochemical Corp® la cual comprende de las feromonas Frontalina + *endobrevicomina* y alfa/beta pineno como kairomona (Figura 4) (Macías-Sámano y Niño-Domínguez, 2016); la otra trampa permaneció como testigo. En el vaso colector de cada trampa se colocó anticongelante Bardhal y alcohol al 70° en concentración 1:1 para facilitar la muerte y conservación de los insectos (Zylstra et al., 2010). Los SQ's se cambiaron cada 2 meses para asegurar la efectividad de la atracción de los insectos descortezadores hacia las trampa.

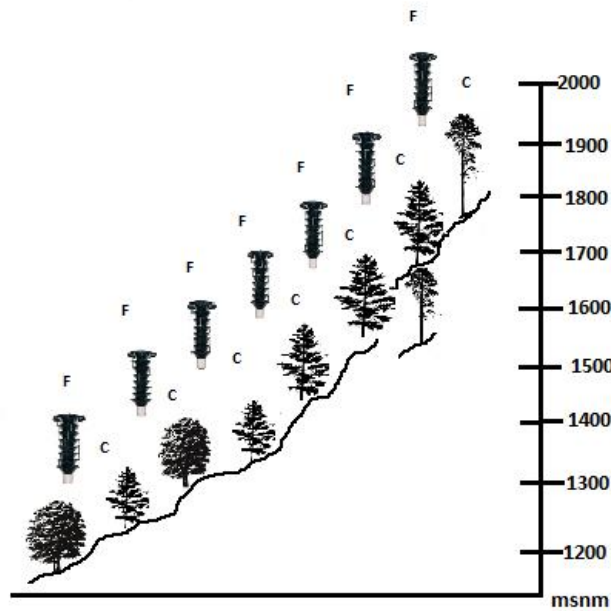


Fig. 3. Esquema del método de colecta en el gradiente altitudinal con un par de trampas cada 100 m. Nota: F= trampa con feromona; C= trampa control.



Fig. 4. Izq) Semioquímicos utilizados para *Dendroctonus* spp. Der.) Trampas Lindgren de 8 embudos con vaso colector cebada con SQ's.

5.3 Colecta e identificación de descortezadores.

La colecta de los descortezadores se llevó a cabo en el periodo de marzo del 2015 a diciembre del 2016. Cada 15 días se colectaron los insectos atrapados en el vaso colector de cada trampa (tratamiento y testigo), los cuales se depositaron en bolsas tipo Ziploc® con etanol al 70° y su respectiva etiqueta (estado, municipio, localidad, fecha y número de trampa) (Cruz, 2007). Posteriormente se trasladaron las muestras al laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias Naturales, UAQ donde se procedió a la limpieza de las muestras y separación de los descortezadores de otros insectos depositándolos en frascos de plástico PET de 100 mL con etanol al 70° agregando su etiqueta correspondiente (Figura 5).

La identificación de los insectos se realizó con la ayuda de un microscopio estereoscópico Leica® EZ4 de 35X (figura 5) y de las claves taxonómicas propuestas por Wood (1982) y Cibrián et al (1995) (Figura 6 y 7).

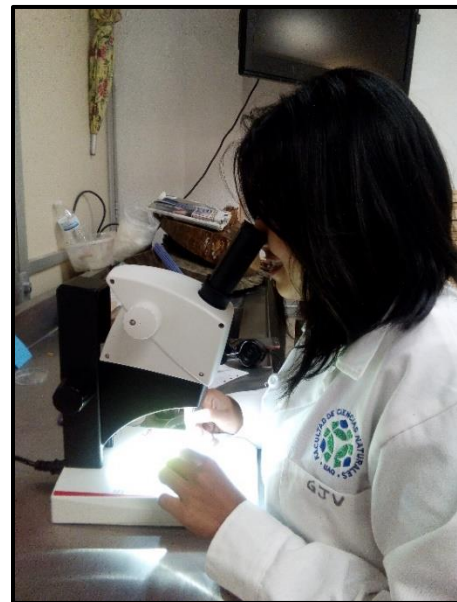


Fig. 5. Izq.) Limpieza y separación de descortezadores. Der.) Identificación de las especies de descortezadores.



Fig. 6. *Dendroctonus frontalis* siguiendo las claves de Wood (1982) y Cibrián-Tovar et al. (1995).



Fig. 7. *Dendroctonus mexicanus* siguiendo las claves de Wood (1982) y Cibrián-Tovar et al. (1995).

5.4 Variables climáticas.

Para el monitoreo de las variables temperatura se realizó con un recolector de datos o data logger (EL-USB-2 RH/data logger de Micro DAQ®) durante marzo del 2015 a diciembre del 2016, los cuales registraron datos cada 30 minutos. El data logger se colocó en un árbol en cada sitio de muestreo entre cada par de trampas; los datos se descargaron a una computadora con la ayuda del programa EasyLog.

5.5 Análisis de datos.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (versión 9.3 de SAS *Institute*).

Se realizó una prueba de Normalidad de Shapiro Wilk ($p < 0.05$). Al presentar valores de P menores a 0.05, los datos no son normales, por lo que se sometieron a una prueba de varianzas desiguales (*D. frontalis*: $G_1=2$, $F= 191.57$, $P < .0001$; *D. mexicanus*: $G_1=2$, $F= 111.79$, $P < .0001$) y pruebas no paramétricas.

Se realizaron pruebas no paramétricas, debido a que las distribuciones de los datos no fueron normales (< 0.05). Para poder comparar las diferencias numéricas mensuales y por altitud entre la captura de *D. frontalis* y *D. mexicanus* entre las localidades, se realizó una prueba de rangos de Wilcoxon y Kruskal-Wallis (One Way). Así como para denotar diferencias se realizó una prueba de comparación de rangos Steel Dwass ($\alpha=0.05$).

Se utilizaron las medias quincenales de Temperatura (máxima, mínima y promedio) para correlacionar la abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* por localidad (Cuadro 1); para este análisis se realizó una correlación no paramétrica de Spearman Rho. Este mismo análisis se realizará para conocer la correlación entre las variables climáticas y la abundancia de las especies de *Dendroctonus* entre altitudes por localidad.

Cuadro 1. Sitios de muestreo de las especies de *D. frontalis* y *D. mexicanus*, abundancia y temperaturas registradas por los data logger.

Trampa	Long	Lat	Alt	Abundancia promedio		Temperatura		
				<i>D. frontalis</i>	<i>D. mexicanus</i>	Máx.	Mín.	Prom
Lob 1	99°07'25.60080"	21°17'51.79920"	1589	694.2	91.4	27.41	10.62	16.92
Tep 1	99°46'15.49920"	21°22'38.70120"	1593	384.5	27.5	31.77	12.16	19.12
Lob 3	99°09'25.70000"	21°15'59.40000"	1651	382	85.7	28.46	9.25	17.27
Lob 2	99°07'23.49998"	21°17'51.10001"	1670	795.1	163.9	27.41	10.62	16.92
Lob 4	99°08'55.60001"	21°16'54.59999"	1716	1748.6	126.6	29.5	8.43	17.11
Tep 2	99°44'49.49999"	21°21'38.30000"	1733	793.9	83	31.88	10.57	17.60
Tep 3	99°45'59.10001"	21°21'52.09999"	1827	820.7	91.5	26.10	8.86	16.12
Tep 4	99°46'15.20000"	21°21'42.50002"	1931	643.2	90.8	27.90	9.72	16.68
Tep 5	99°46'21.60001"	21°21'38.80001"	2003	921.6	107	29.71	10.59	17.25
Pin 1	99°37'35.90000"	21°07'54.99998"	2393	21.8	45.2	27.34	6.51	13.63
Pin 2	99°38'00.10000"	21°07'48.29999"	2468	23.9	27.4	23.53	6.25	12.79
Pin 3	99°39'50.00000"	21°07'42.20000"	2541	13.5	13.1	22.69	5.20	12.17
Pin 4	99°40'29.20001"	21°07'18.00001"	2610	19	12.9	24.91	6.11	12.94
Pin 5	99°40'28.30001"	21°07'32.90002"	2706	83.1	18.4	26.86	5.77	12.91
Pin 6	99°40'39.20002"	21°07'31.19999"	2790	71.7	12.3	24.025	5.45	12.15
Pin 7	99°40'55.99999"	21°07'28.49999"	2904	42.6	26.3	21.19	5.13	11.39
Pin 8	99°41'36.20000"	21°09'42.19999"	3058	38.2	13	20.17	4.11	10.34

Donde: Pin=localidad Pingüica, Tep=localidad Tepozán, Lob=localidad Lobo, Long=Longitud, Lat=latitud, Alt= altitud, Máx= temperatura máxima, Mín= temperatura mínima y Prom= temperatura promedio.

6. RESULTADOS.

6.1 Muestreo de insectos del género *Dendroctonus*.

Para el total de sitios de muestreo, se colectaron un total de 302, 324 individuos, de los cuales 267, 867 corresponden a *Dendroctonus frontalis* y 34, 457 corresponde a *Dendroctonus mexicanus*. Estas abundancias fueron estadísticamente significativas entre especies de los tres sitios (Wilcox= *D. frontalis*: $\chi^2= 165.0058$, $Gf=2$, $P=<.0001$; *D. mexicanus*: $\chi^2=101.4167$, $Gf=2$, $P=<.0001$). La abundancia total de *D. frontalis* fue del 50.01% en Lobo-Madroño, del 48.32% en Tepozán y de 1.66% en La Pingüica; y del total de *D. mexicanus* fue de 51.64%, 40.36% y 7.98% respectivamente (Figura 8).

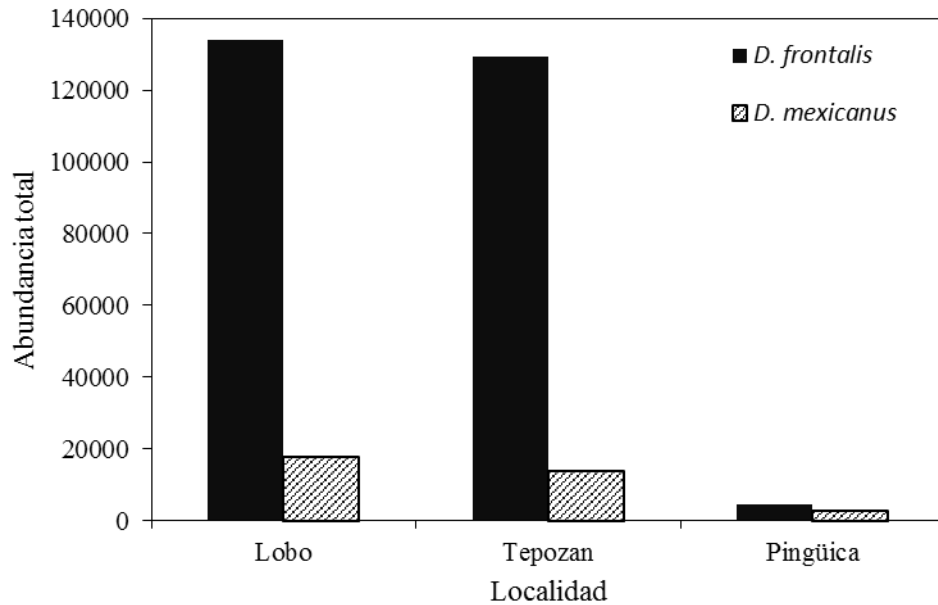


Fig. 8. Abundancia total de *D. frontalis* y *D. mexicanus* colectados en trampas Lindgren por localidad en la Sierra Gorda, Querétaro, México.

6.2 Abundancia altitudinal.

La distribución de la abundancia de individuos de insectos descortezadores a lo largo de una distribución altitudinal presentó diferencias significativas entre la abundancia de ambas especies según la prueba de Wilcoxon y Kruskal-Wallis: *D. frontalis* ($x^2=186.6926$, $G1= 16$, $P=<.0001$) y *D. mexicanus* ($x^2= 125.5037$, $G1=16$, $P=<.0001$), observándose una correlación negativa entre la altitud y la abundancia de *D. frontalis* ($r= -0.562$, $P= 0.0001$) y *D. mexicanus* ($r= -0.459$, $P= 0.0001$), lo que sugiere que a mayor elevación, la abundancia de ambas especies disminuye significativamente.

Las mayores abundancias de *D. frontalis* y *D. mexicanus* se encuentran en altitudes menores a 2003 msnm, con abundancias entre 1784 a 382 individuos para *D. frontalis*, mientras que para *D. mexicanus* presenta una abundancia entre 126.6 a 27.5 individuos. A esas altitudes, se presentaron rangos de temperatura promedio entre los 19.12 y 16.12°C, temperaturas máximas entre 31.88 y 26.10°C y temperaturas mínimas entre 12.16 y 8.43°C (Figura 9).

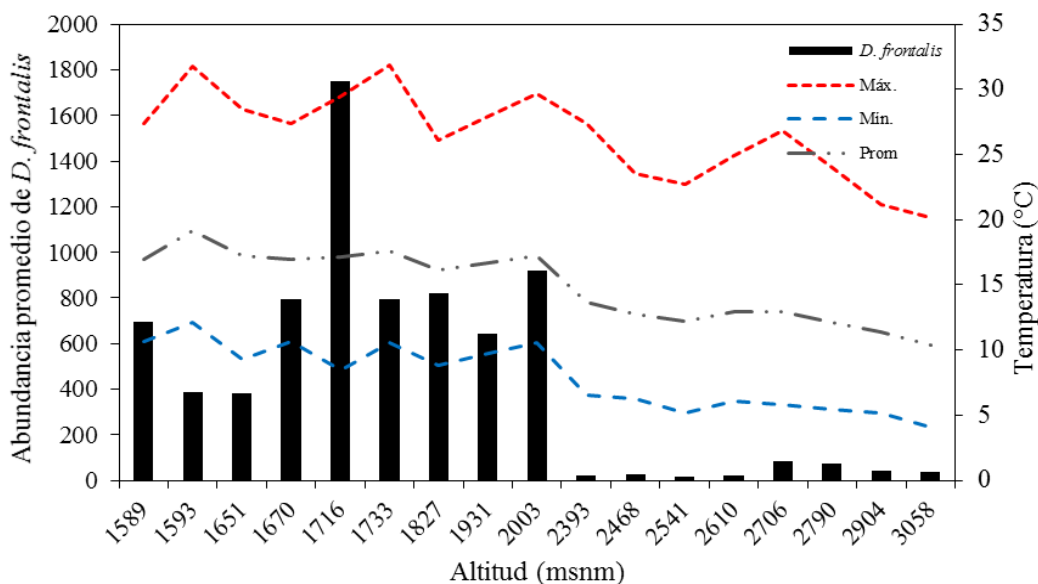


Fig. 9. Abundancia promedio altitudinal de *D. frontalis* y diferencias de la temperatura promedio durante el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016 en la Sierra Gorda, Querétaro, México.

En altitudes superiores a los 2393 y llegando hasta 3058 msnm, la abundancia de ambas especies disminuye, presentando un rango de abundancia entre 83.1 y 13.5 individuos de *D. frontalis* y entre 45.2 y 12.3 individuos de *D. mexicanus*; estas abundancias se presentan en rango de temperatura promedio entre 13.63 y 10.34°C, temperaturas máximas entre los 26.86 y 20.17°C y temperaturas mínimas entre 6.51 y 4.11°C (Figura 10).

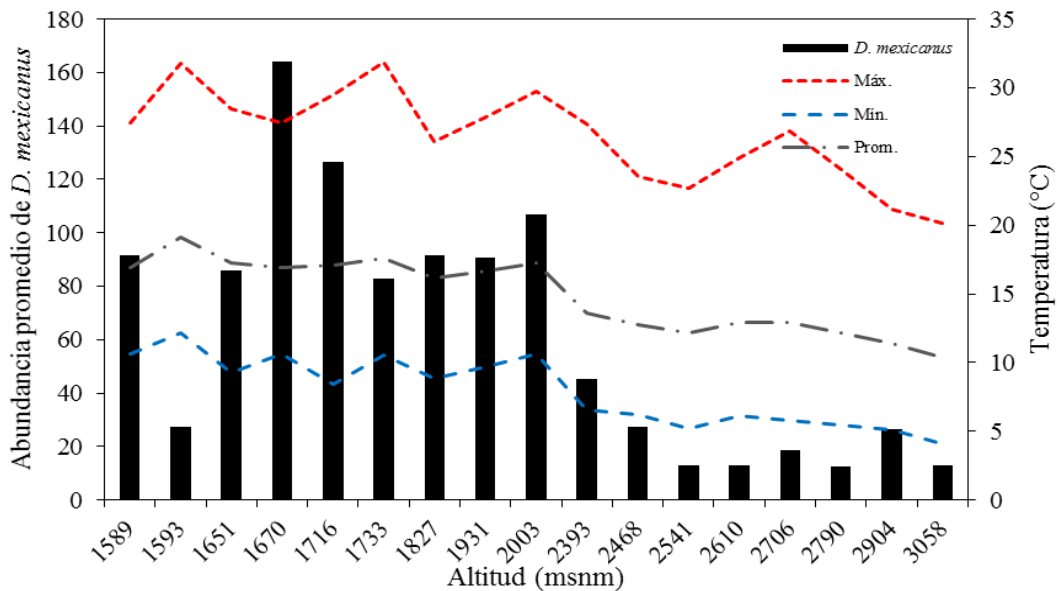


Fig. 10. Abundancia promedio altitudinal de *D. mexicanus* y fluctuación de la temperatura promedio durante el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016.

Los agrupamientos con la prueba de Steel-Dwass ($\alpha=0.05$), sugieren que la abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* es promovida por temperaturas en promedio superiores a 16°C y que las temperaturas menores a 13°C observadas en altitudes superiores a 2393 msnm, promueven que las poblaciones en general de ambas especies disminuyan, aunado a las temperaturas máximas con valores entre 21° a 25°C de promueve una explosión en el incremento de las poblaciones (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prueba de comparación de rangos Steel-Dwass de la abundancia entre las dos especies de *Dendroctonus* y temperatura por altitud y sitio para el estado de Querétaro.

Trampa ¹	Altitud	Abundancia promedio ²		Temperatura ²		
		<i>D. frontalis</i>	<i>D. mexicanus</i>	Máxima	Mínima	Promedio
Lob 1	1589	694.2	91.4	27.41	10.62	16.92

Tep 1	1593	384.5	27.5	31.77 *	12.16	19.12
Lob 3	1651	382	85.7	28.46 *	9.25	17.27
Lob 2	1670	795.1	163.9 *	27.41	10.62	16.92
Lob 4	1716	1748.6 *	126.6	29.5 *	8.43	17.11
Tep 2	1733	793.9	83	31.88	10.57	17.60
Tep 3	1827	820.7	91.5	26.10 *	8.86 *	16.12
Tep 4	1931	643.2	90.8	27.90	9.72	16.68
Tep 5	2003	921.6 *	107 *	29.71 *	10.59	17.25
Pin 1	2393	21.8 *	45.2 *	27.34 *	6.51 *	13.63 *
Pin 2	2468	23.9 *	27.4 *	23.53	6.25 *	12.79 *
Pin 3	2541	13.5 *	13.1 *	22.69 *	5.20 *	12.17 *
Pin 4	2610	19 *	12.9 *	24.91 *	6.11 *	12.94 *
Pin 5	2706	83.1 *	18.4 *	26.86 *	5.77 *	12.91 *
Pin 6	2790	71.7 *	12.3 *	24.025 *	5.45 *	12.15 *
Pin 7	2904	42.6	26.3 *	21.19 *	5.13 *	11.39 *
Pin 8	3058	38.2 *	13	20.17 *	4.11 *	10.34 *

1. Sitios: Lob= localidad El Lobo; Tep= localidad Tepozán; Pin= localidad La Pingüica.

2. Trampas que presentan * son estadísticamente diferentes respecto a las demás altitudes ($\alpha=0.05$) usando Wilcoxon y Kruskal-Wallis con comparación de rangos de Steel-Dwass ($q^* 3.45$): *D. frontalis* (N= 463, Gl= 2, $\chi^2= 165.0058$, P= <.0001) y *D. mexicanus* (N=463, Gl= 2, $\chi^2=101.4167$, P= <.0001).

6.3 Fluctuación temporal.

Dentro del periodo de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) la actividad de *D. frontalis* y *D. mexicanus* estuvo presente durante todo el periodo de evaluación. Para *D. frontalis* presentó actividad de vuelo lo largo del periodo de muestreo, lo cual no presenta diferencias significativas (Wilcoxon: $\chi^2=29.7410$, Gl=21, P=0.0973), siendo junio 2015, enero, febrero y marzo 2016 los de mayor abundancia por arriba de los 600 individuos en promedio (cuadro 3, figura 11). Esta especie presentó correlaciones positivas significativas con las 3 medidas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$ promedio: $r= 0.567$, P=0.0001; $^{\circ}\text{C}$ máxima: $r=0.503$, P=0.0001; $^{\circ}\text{C}$ mínima: $r=0.440$, P=0.0001) y con la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima ($r=0.299$, P=0.001). Junio y septiembre 2016 presentan la menor abundancia por debajo de los 100 individuos en promedio, presentando temperaturas promedio 15.94°C (junio) y 15.74°C (septiembre), temperaturas máximas 22.16°C (junio) y 25.2°C (septiembre) y temperaturas mínimas de 12.5°C (junio) y 9.2°C (septiembre).

Cuadro 3. Temperaturas registradas en los meses de mayor abundancia de las especies de *Dendroctonus* en la localidad de El Lobo-Madroño, Landa de Matamoros.

	Año	Mes	Temperaturas data logger		
			Máxima	Mínima	Promedio
<i>D. frontalis</i>	2015	Junio	21.08	11.75	15.83
	2016	Enero	19.61	6.25	11.43
		Febrero	20.14	7.49	12.52
		Marzo	23.07	10.03	14.93
<i>D. mexicanus</i>	2015	Julio	20.28	11.77	15.44
	2016	Enero	19.61	6.25	11.43
		Julio	25.98	10.7	16.42
		Octubre	26.2	8.47	15.22

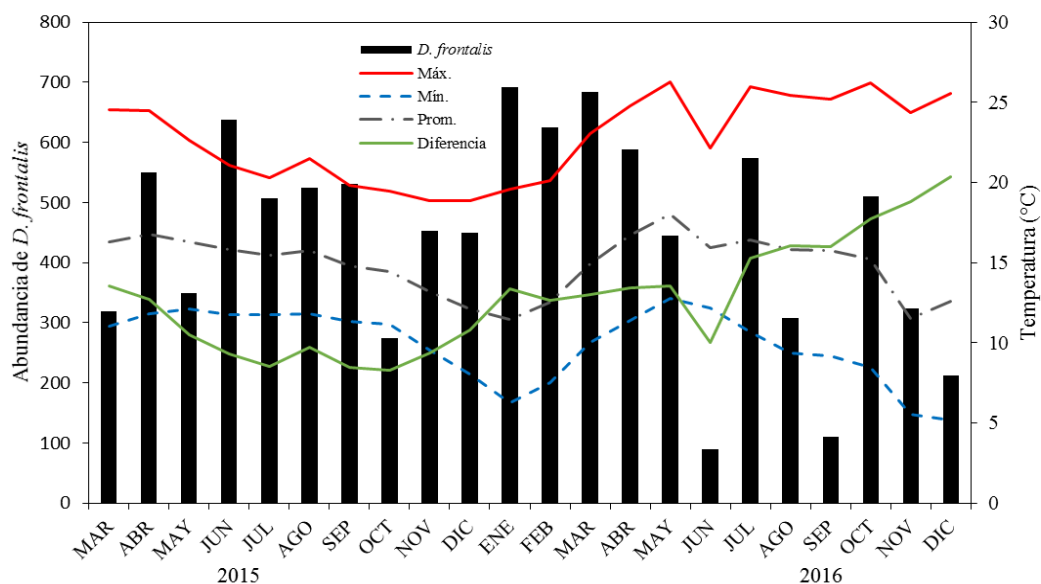


Fig. 11. Abundancia promedio mensual de *D. frontalis* y diferencia de la temperatura durante los 22 meses de muestreo en el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016 en la Sierra Gorda, Querétaro, México. Nota: Dif= diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

Para *D. mexicanus*, de la misma forma que *D. frontalis*, tuvo actividad de vuelo durante todo el periodo de muestreo (Wilcoxon: $\chi^2=46.5713$, $G1= 21$, $P=0.0011$), siendo julio 2015, enero, julio y octubre 2016 los meses con mayor abundancia por arriba de los 80 individuos en promedio (Cuadro 3, Figura 11). *Dendroctonu mexicanus* presentó una correlación positiva

con las tres medidas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$ prom: $r= 0.414$, $P=0.0001$; $^{\circ}\text{C}$ máx: $r=0.441$, $P=0.0001$; $^{\circ}\text{C}$ mín: $r=0.256$, $P=0.0001$) y con la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima ($r=0.276$, $P=0.0001$). Agosto 2015 y junio 2016 presentan menor abundancia por debajo de los 20 individuos en promedio (Figura 12).

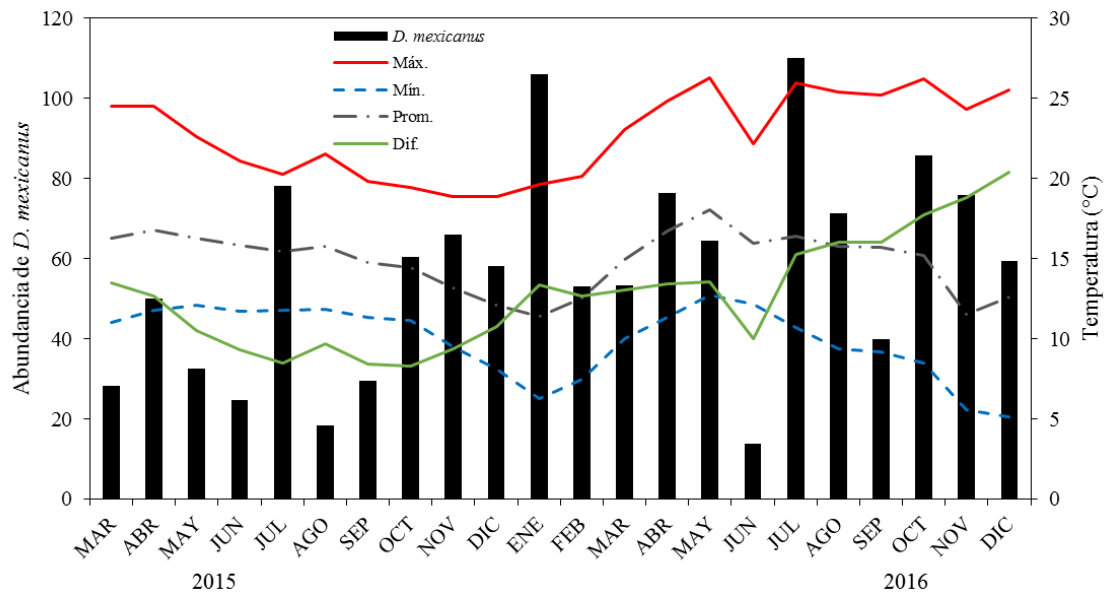


Fig. 12. Abundancia promedio mensual de *D. mexicanus* y diferencia de la temperatura durante los 22 meses de muestreo en el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016 en la Sierra Gorda, Querétaro, México. Nota: Dif= diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

6.4 Fluctuación espacio temporal por sitio.

6.4.1 El Lobo-Madroño, Landa de Matamoros.

En la localidad El Lobo-Madroño, la mayor abundancia de especies de coníferas, en particular del género *Pinus*, fue de la especie *Pinus greggii* en todos los puntos de muestreo con el 27.27% del total de individuos muestreados; seguido por especies de otras coníferas como el género *Juniperus*, que abarcó el 20.27% del total de individuos; sin embargo, el 49.65% del total fueron especies del género *Quercus* (Figura 13 A). Más del 70% de los individuos de *P. greggii*, fueron individuos con un DAP entre 5.5 y 15 cm (Figura 13 B).

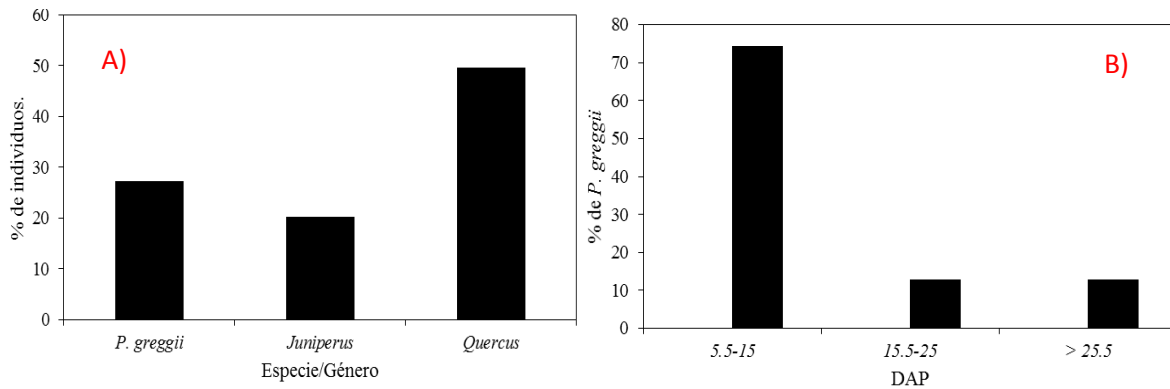


Fig. 13. Características del arbolado en los sitios de estudio en la localidad de El Lobo-Madroño en la Sierra Gorda, Querétaro, México: A) Abundancia de especies, B) DAP (cm) de *Pinus greggii*.

Se observó una abundancia significativamente mayor de *D. frontalis* (N=157, Gl= 3, $x^2=23.40$, $P= <.0001$) que de *D. mexicanus* (N= 157, Gl= 3, $x^2=4.32$, $P= <0.2288$).

En el gradiente altitudinal, la mayor abundancia de *D. frontalis* se obtuvo a los 1716 msnm con un total de 63698 individuos; esta especie tuvo una correlación significativa con la altitud ($r= 0.373$, $P=0.0001$), presentando una temperatura promedio de 17.27°C , una máxima de 29.5°C y una mínima de 8.43°C . La mayor abundancia de *D. mexicanus* se obtuvo a los 1670 msnm con un total de 6558 (Cuadro 4, Figura 14).

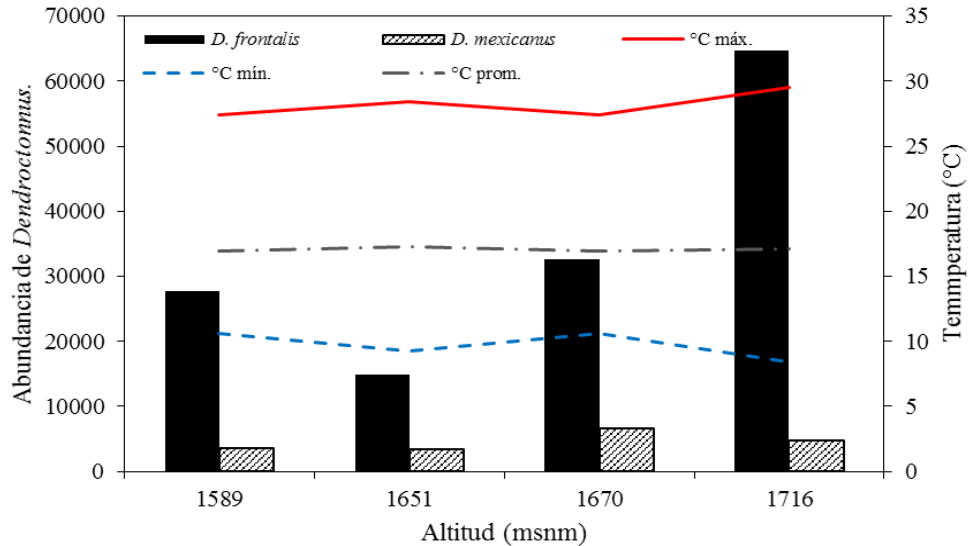


Fig. 14. Abundancia total altitudinal de *D. frontalis* y *D. mexicana* y diferencia de la temperatura en la localidad de Lobo-Madroño durante los 22 meses de colecta en la Sierra Gorda, Querétaro, México.

Cuadro 4. Prueba de comparación para todos los pares Steel-Dwass de abundancia y temperatura por altitud en la localidad de Lobo-Madroño.

Trampa	Altitud	Abundancia promedio ¹		Temperatura data logger ¹		
		<i>D. frontalis</i>	<i>D. mexicana</i>	Máxima	Mínima	Promedio
Lobo 1	1589	694.2	91.48	27.41	10.62	16.92
Madroño1	1651	382.0	85.75	28.46	9.25	17.27
Lobo 2	1670	795.1	163.95	27.41	10.62	16.92
Madroño 2	1716	1748.6 *	126.65	29.5	8.43	17.11

1. Trampas que presentan un * son estadísticamente diferentes respecto a las demás altitudes ($\alpha=0.05$) usando Wilcoxon y Kruskal-Wallis con comparación de rangos de Steel-Dwass ($q*2.56$).

Durante el periodo de muestreo *D. frontalis* presentó actividad de vuelo en todo el periodo, lo que no evidenció diferencias significativas entre meses ($\chi^2=31.66$, $Gl=21$, $P=0.063$). La mayor actividad se presentó en abril, noviembre y diciembre 2015 y en enero, marzo, mayo, julio y octubre 2016 con abundancias promedio mayores a 1000 (Cuadro 5, Figura 15). Octubre 2016 fue el mes de mayor captura de insectos descortezadores y donde se determinó la mayor temperatura registrada (°C prom: 21.93°C; °C máx: 33.06°C; °C mín: 15.71°C). La

menor actividad se registró en julio y septiembre del 2016. *D. frontalis* no presenta una correlación significativa con ninguno de los tres régimen de temperatura.

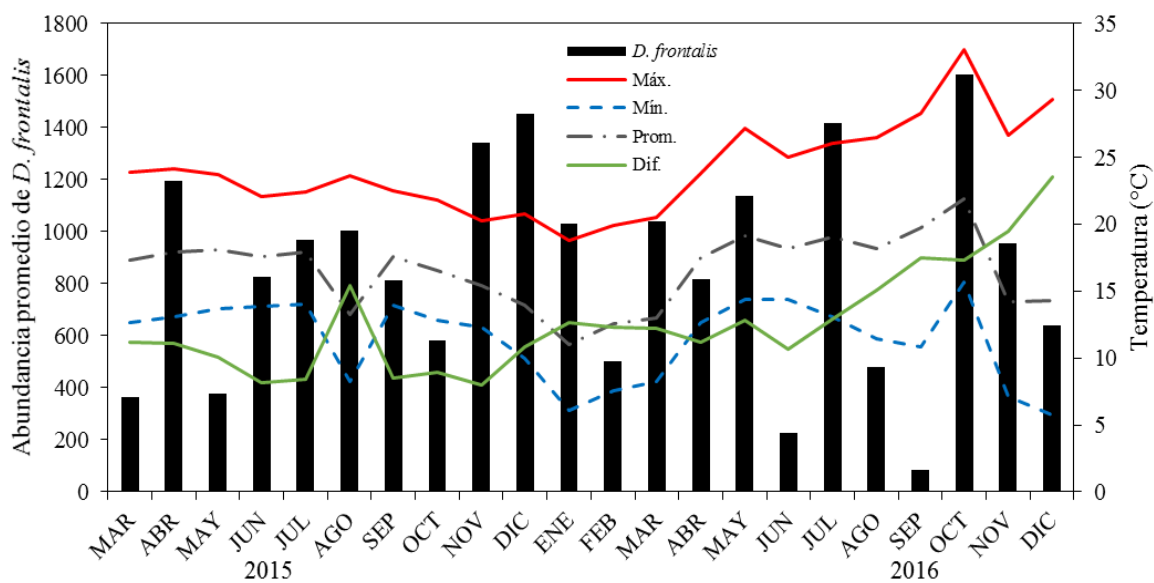


Fig. 15. Abundancia mensual de *D. frontalis* y fluctuación de la temperatura en la localidad Lobo-Madroño durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la Sierra Gorda, Querétaro, México. Nota: Dif= diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

Cuadro 5. Temperaturas registradas en los meses de mayor abundancia de las especies de *Dendroctonus* en la localidad de El Lobo-Madroo, Landa de Matamoros.

	Año	Mes	Temperaturas data logger		
			Máxima	Mínima	Promedio
<i>D. frontalis</i>	2015	Abril	24.17	13.05	17.95
		Noviembre	20.28	12.29	15.38
		Diciembre	20.77	9.96	13.99
	2016	Enero	18.77	6.1	11.03
		Marzo	20.52	8.26	13.03
		Mayo	27.14	14.35	19.15
		Julio	26.06	13.12	19.03
<i>D. mexicanus</i>	2015	Octubre	33.03	15.71	21.93
		Abril	24.17	13.05	17.95
		Noviembre	20.28	12.29	15.38
	2016	Diciembre	20.77	9.96	13.99
		Julio	26.06	13.12	19.03
		Octubre	33.03	15.71	21.93
		Noviembre	26.62	7.12	14.25
		Diciembre	29.34	5.78	14.28

Para el caso de *D. mexicanus*, en todo el periodo de muestreo está presente ($\chi^2=51.0431$, $GI=21$, $P=0.0003$), se observó mayor actividad de vuelo en abril, noviembre y diciembre del 2015 y julio, octubre, noviembre y diciembre 2016 (tabla 5, figura 16), presentando una correlación positiva con la temperatura máxima ($r=0.202$, $P=0.011$) y la diferencia entre la temperatura máxima y mínima ($r=0.255$, $P=0.002$).

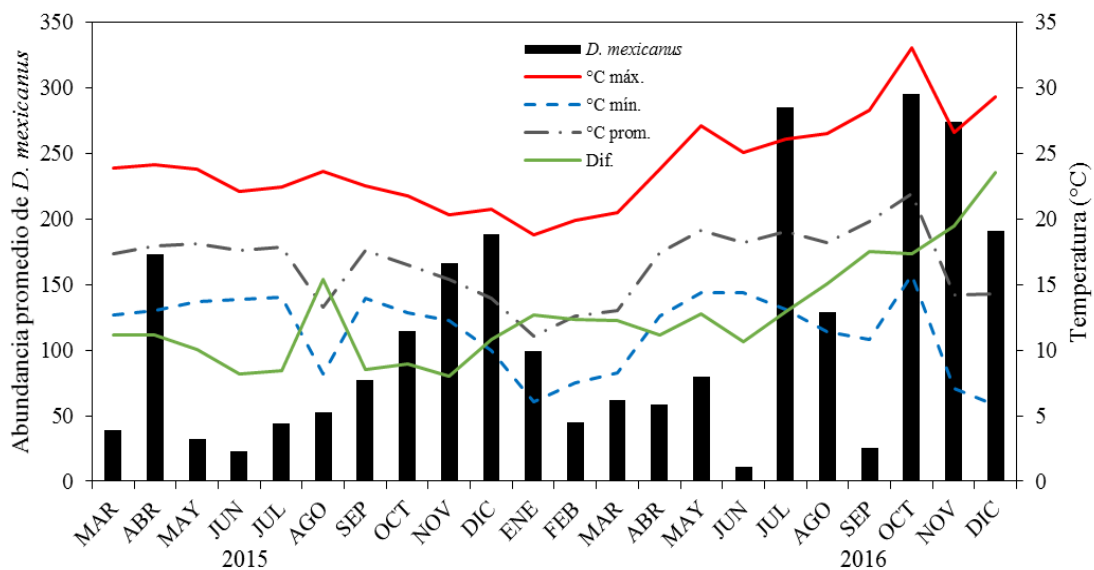


Fig. 16. Abundancia promedio mensual de *D. mexicanus* y diferencia de la temperatura en la localidad de Lobo-Madroño durante el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016 en la Sierra Gorda, Querétaro, México. Nota: Dif= diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

Sin embargo, para ambos casos, las poblaciones de *Dendroctonus* parecen favorecidas por temperaturas promedio superiores a 16 °C y temperaturas máximas mayores a 21°C. Estas temperaturas se registraron durante marzo a octubre del 2015, sin presentar temperaturas mínimas a 13 °C. A partir de noviembre 2015 a marzo 2016 se registran más días con temperaturas menores a 13°C (correspondientes al periodo de invierno), sin embargo, en este periodo es donde las poblaciones aumentan. Esto puede deberse a que los días con temperaturas máximas arriba de 21°C ocurrieron en la mayoría del periodo de muestreo, lo cual las temperaturas mínimas no fueron suficientes para regular las poblaciones de ambas especies de *Dendroctonus* (Figura 17; 18). A partir de abril a septiembre del 2016 se repite

este mismo proceso, y en el mes de octubre donde las temperaturas mínimas por debajo de los 13°C son más frecuentes, la abundancia de *D. frontalis* tiene una mayor actividad.

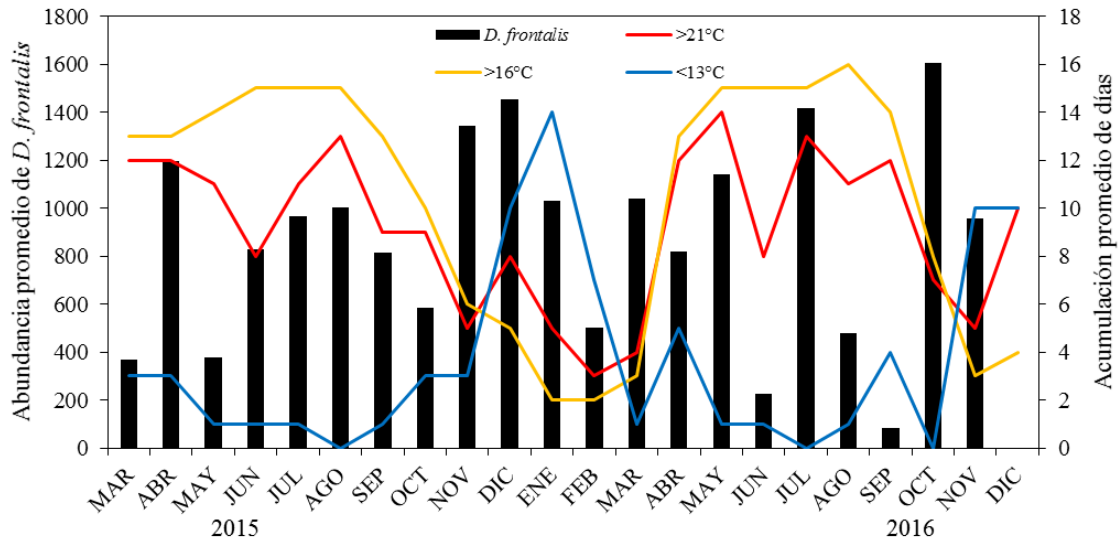


Fig. 17. Abundancia promedio mensual de *D. frontalis* y acumulación promedio de días en categorías de rangos de temperatura durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad de Lobo-Madroño, Sierra Gorda, Querétaro, México.

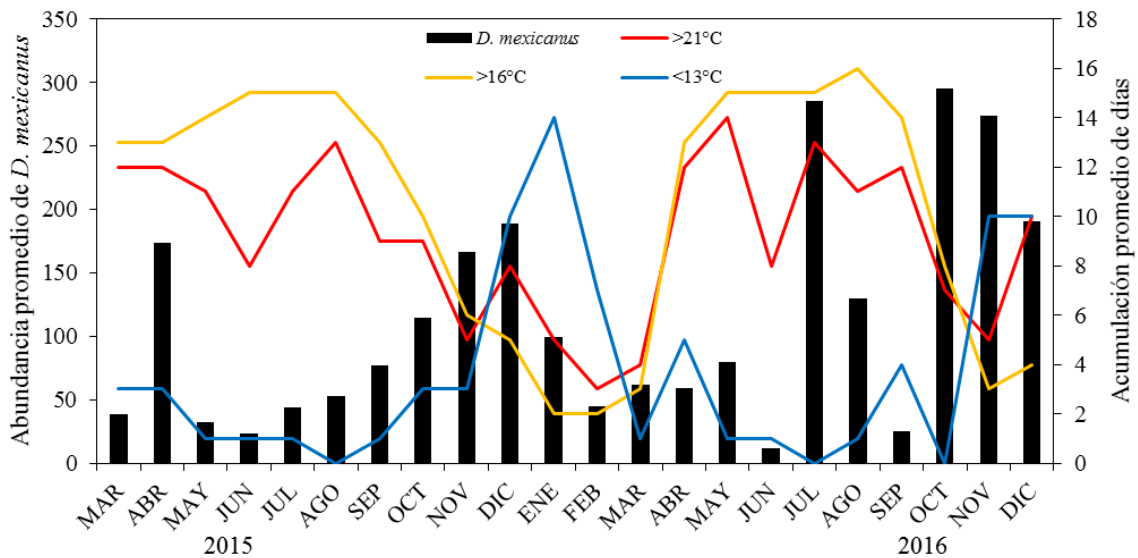


Fig. 18. Abundancia mensual de *D. mexicanus* y acumulación promedio de días en categorías de rangos de temperatura durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad de Lobo-Madroño, Sierra Gorda, Querétaro, México.

6.4.2 Tepozán, Arroyo Seco.

En la localidad de Tepozán, la mayor abundancia de pinos fue de la especie *Pinus greggii* con el 38% del total de individuos muestreados; seguido por *Pinus cembroides* con el 16% y otras especies de coníferas como el género *Cupressus* que abarcó el 8.5% del total de individuos; sin embargo, el 16% del total fueron especies del género *Quercus* (figura 19A). Más del 60% de los individuos de *P. greggii*, fueron individuos con un DAP mayor a 25.5 cm; mientras que *P. cembroides* más del 80% fueron individuos con un DAP entre 5.5 a 15 cm (Figura 19B).

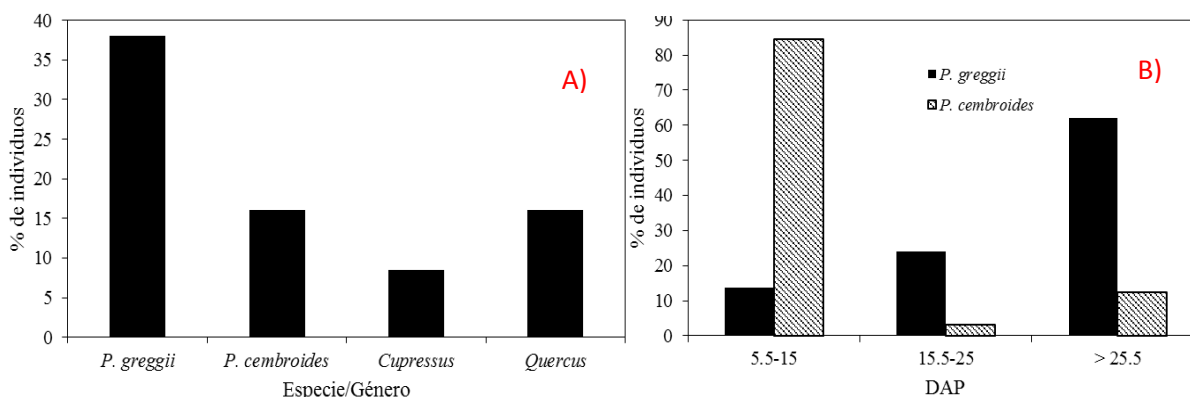


Fig. 19. Características del arbolado en los sitios de estudio en la localidad Tepozán en la sierra Gorda, Querétaro, México: A) Abundancia de especies, B) DAP de *Pinus greggii* y *Pinus cembroides*.

Para esta localidad se observaron diferencias significativas entre la abundancia de *D. frontalis* (N=187, $\chi^2= 16.9564$, Gl= 4, P= 0.0020) y *D. mexicanus* (N= 173, $\chi^2= 20.9583$ Gl= 4, P= <0.0003). En el gradiente altitudinal la mayor abundancia de insectos se obtuvo a los 2003 msnm con un total de 33177 de *D. frontalis* y 3854 de *D. mexicanus*, se presentó una temperatura promedio de 17.25 °C, una máxima de 29.71 °C y una mínima de 10.59°C (Cuadro 6, Figura 20).

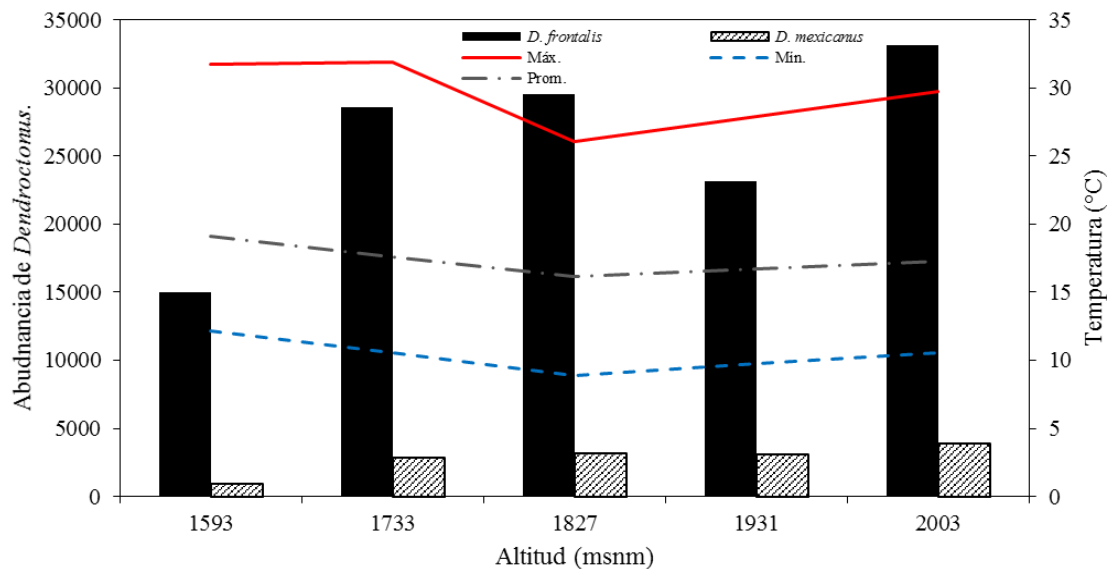


Fig. 20. Abundancia total altitudinal de *D. frontalis* y diferencia de la temperatura en la localidad de Tepozán en la Sierra Gorda, Querétaro, México.

Cuadro 6. Prueba de comparación para todos los pares Steel-Dwass de abundancia y temperatura por altitud en la localidad de Tepozán.

Trampa	Altitud	Abundancia promedio ¹		Temperatura data loggers ¹		
		<i>D. frontalis</i>	<i>D. mexicanus</i>	Máxima	Mínima	Promedio
Tepozán 1	1593	384.5	27.56	31.77	12.16	19.12
Tepozán 2	1733	793.9	83.09 *	31.88	10.57	17.6
Tepozán 3	1827	820.7 *	91.54 *	26.1 *	8.86 *	16.12
Tepozán 4	1931	643.2	90.88 *	27.905 *	9.725	16.685 *
Tepozán 5	2003	921.6 *	107.06 *	29.71	10.59	17.25

1. Trampas que presentan un * son estadísticamente diferentes respecto a las demás altitudes ($\alpha=0.05$) usando Wilcoxon y Kruskal-Wallis con comparación de rangos de Steel-Dwass ($q*2.72$).

Dendroctonus frontalis estuvo presente en todo el periodo de muestreo ($\chi^2=43.7307$, $G1=21$, $P=0.0025$), sin embargo se observó una disminución en la abundancia en los meses de octubre, noviembre y diciembre 2015; la mayor actividad de vuelo se observa en junio 2015 y abril y julio 2016 con más de 1000 individuos en promedio (Cuadro 7, Figura 21). No presentó correlaciones significativas con ninguno del régimen de temperatura.

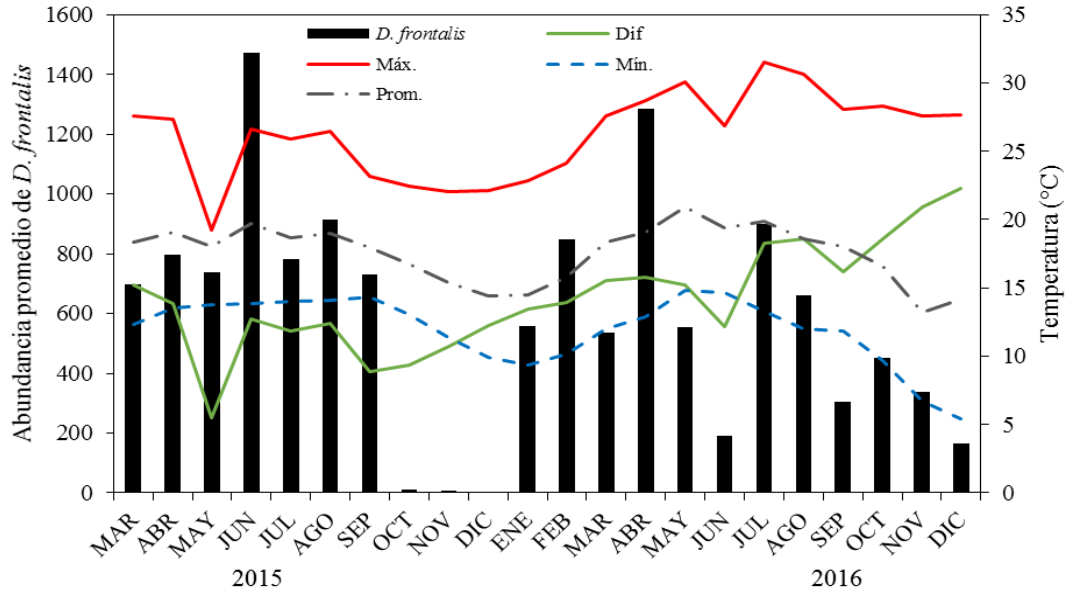


Fig. 21. Abundancia promedio mensual de *D. frontalis* y diferencia de la temperatura en la localidad de Tepozán durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la Sierra Gorda, Querétaro, México. Nota: Dif= diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

Dendroctonus mexicanus presentó mayor actividad en julio 2015 y enero, abril, julio, agosto y septiembre 2016 con más de 100 individuos en promedio (Cuadro 7, Figura 22), sin embargo no presentó correlaciones significativas con ningún régimen de temperatura. Su menor actividad se registró desde agosto a diciembre 2015.

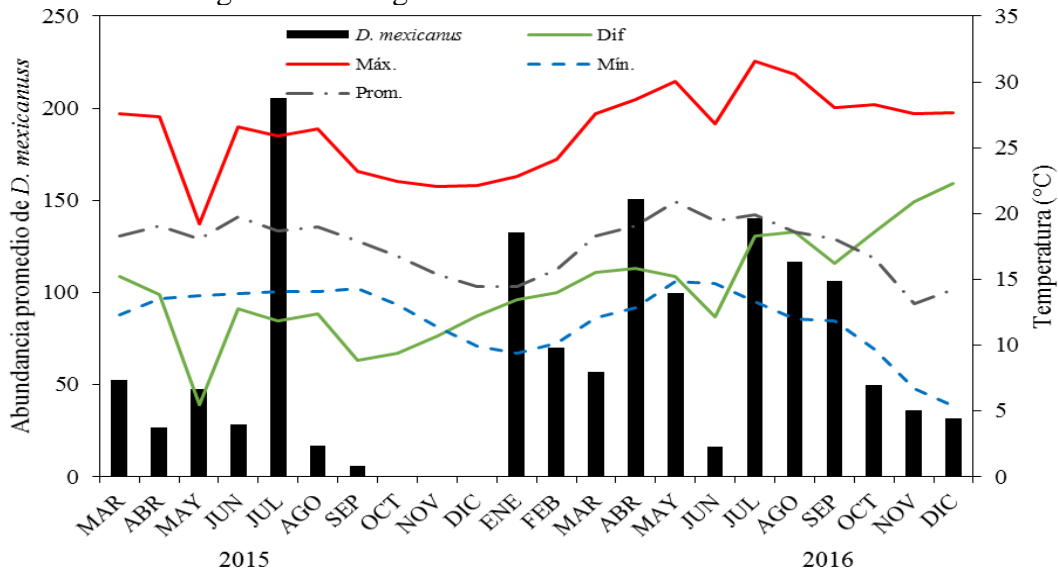


Fig. 22. Abundancia promedio mensual de *D. mexicanus* y diferencia de temperatura en la localidad de Tepozán durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la Sierra Gorda, Querétaro, México. Nota: Dif= diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

Cuadro 7. Temperaturas registradas en los meses de mayor abundancia de las especies de *Dendroctonus* en la localidad de Tepozán, Arroyo Seco.

	Año	Mes	Temperaturas data logger		
			Máxima	Mínima	Promedio
<i>D. frontalis</i>	2015	Junio	26.62	13.89	19.73
	2016	Abril	28.67	12.87	19.07
		Julio	31.55	13.27	19.9
<i>D. mexicanus</i>	2015	Julio	25.89	14.05	18.65
		Enero	22.81	9.39	14.47
		Abril	28.67	12.87	19.07
	2016	Julio	31.55	13.27	19.9
		Agosto	30.6	12.00	18.59
		Septiembre	28.05	11.87	18.06

Similar que en el sitio de El Lobo-Madroño, el aumento de *D. frontalis* (Figura 23) y *D. mexicanus* (Figura 24) estaba relacionado a que en el periodo de marzo a septiembre 2015 cada mes presentó más días con temperaturas promedio por arriba de los 16°C y temperaturas máximas arriba de 21°C. En el periodo de octubre 2015 a febrero 2016 las temperaturas mínimas debajo de 13°C fueron más frecuentes y los días con temperaturas altas fueron muy pocos o nulos, lo que demuestra la disminución en la abundancia en este periodo. El mismo proceso se observa en el periodo de febrero a septiembre 2016 donde la abundancia de ambas especies aumenta. A partir de octubre a diciembre 2016 nuevamente se observó una disminución de la abundancia cuando los días con temperaturas mínimas por debajo de los 13°C son más frecuentes. *D. mexicanus* presenta correlaciones significativas con temperaturas altas (°C prom 16: $r=0.5461$, $P=0.009$; °C máx 21: $r=0.661$, $P=0.001$).

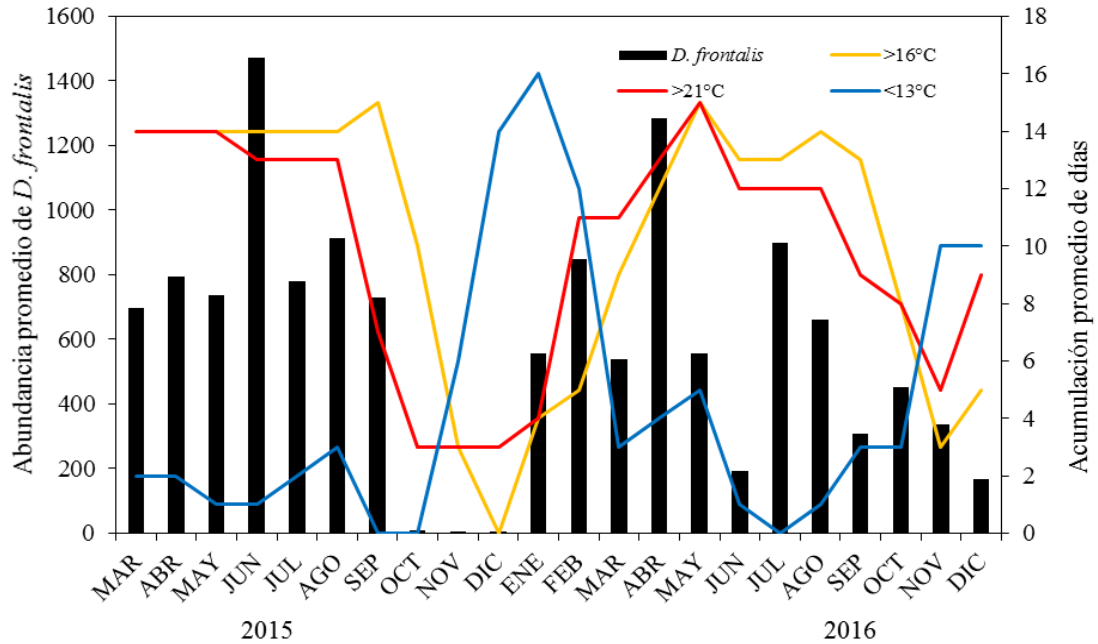


Fig. 23. Abundancia promedio mensual de *D. frontalis* y acumulación promedio de días en categorías de rangos de temperatura durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad de Tepozán, Sierra Gorda, Querétaro, México.

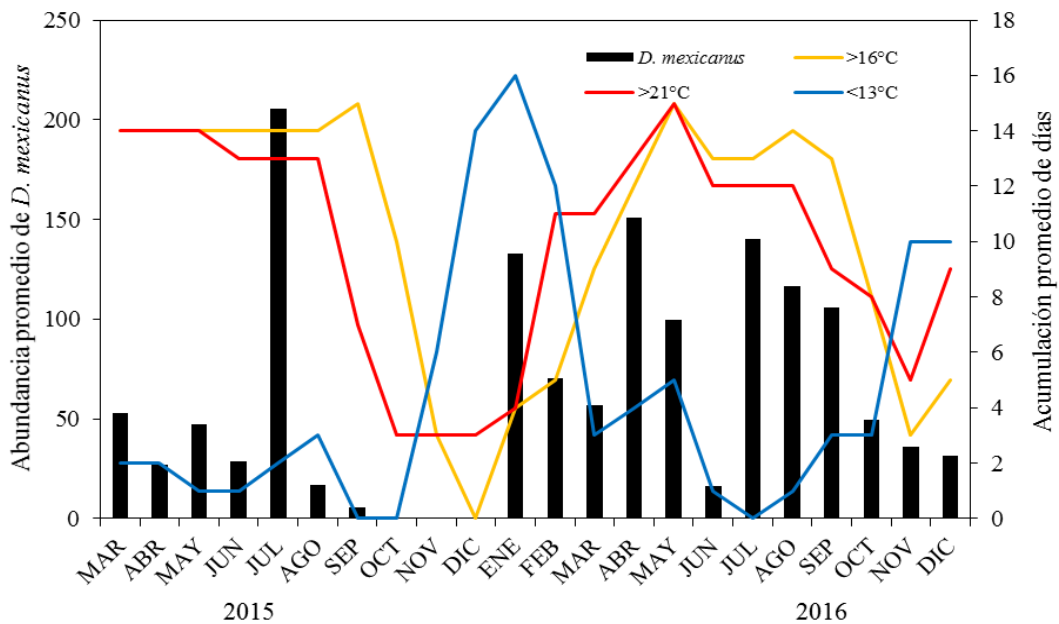


Fig. 24. Abundancia promedio mensual de *D. mexicanus* y acumulación promedio de días en categorías de rangos de temperatura durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad de Tepozán, Sierra Gorda, Querétaro, México.

6.4.3 La Pingüica, Pinal de Amoles.

En la localidad de La Pingüica, la mayor abundancia de coníferas, en especial del género *Pinus*, fue la especie *Pinus greggii* con el 28.57% del total de individuos muestreados; seguido por *Pinus patula* con el 14.28%, *Pinus teocote* con 0.93% y otras especies de coníferas como el género *Cupressus* que abarcó el 3.41% del total de individuos y *Abies* con el 6.83%; sin embargo, el 43.16% del total fueron especies del género *Quercus* (figura 25A). Más del 60% de los individuos de *P. greggii* y *P. patula* fueron individuos con un DAP mayor a 25.5 cm (Figura 25B).

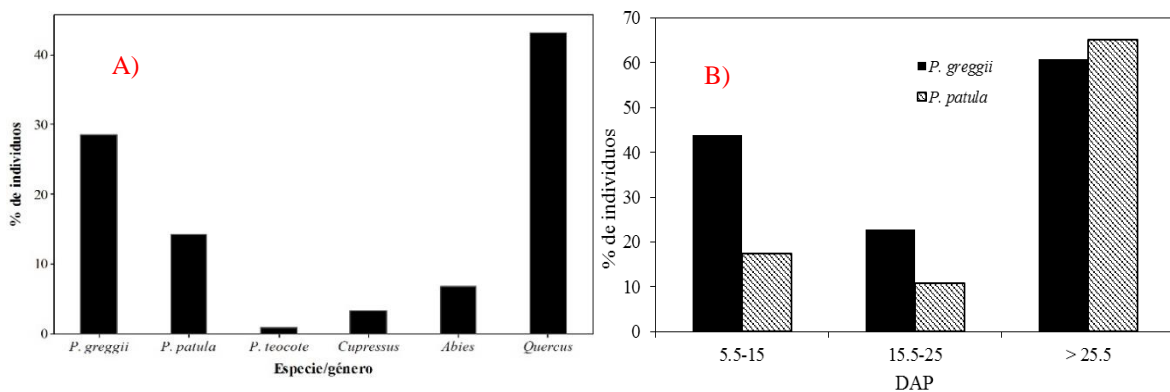


Fig. 25. Características del arbolado en los sitios de estudio en la localidad La Pingüica en la Sierra Gorda, Querétaro, México: A) Abundancia de especies, B) DAP de *Pinus greggii* y *Pinus patula*.

Se evidenciaron diferencias significativas entre la abundancia de *D. frontalis* (N=123, Gl= 21, $x^2=118.81$, $P= <.0001$) y *D. mexicanus* (N= 149, Gl= 21, $x^2= 79.3895$, $P= <0.0001$).

En el gradiente altitudinal, la mayor abundancia de *D. frontalis* se observó a los 2706 msnm con un total de 1163 individuos, donde se registró una temperatura promedio de 12.91°C, una máxima de 26.86°C y una mínima de 5.77°C (cuadro 8, figura 25). *D. mexicanus* presentó mayor abundancia a los 2393 msnm con un total de 996 individuos, donde se registró una temperatura promedio de 13.63°C, una máxima de 27.34°C y una mínima de 6.51°C (Cuadro 8, Figura 25).

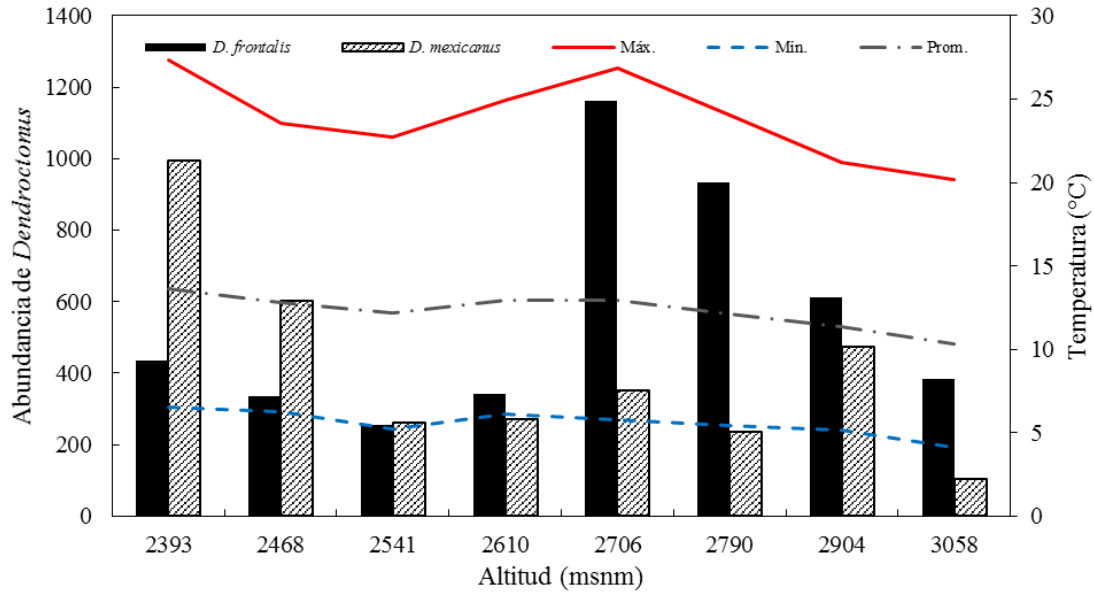


Fig. 26. Abundancia total altitudinal de *D. mexicanus* y diferencia de la temperatura en la localidad de La Pingüica en la Sierra Gorda, Querétaro, México.

Cuadro 8. Prueba de comparación para todos los pares Steel-Dwass de abundancia y temperatura por altitud en la localidad de La Pingüica.

Trampa	Altitud	Abundancia promedio ¹		Temperatura data logger ¹		
		<i>D. frontalis</i>	<i>D. mexicanus</i>	Máxima	Mínima	Promedio
Pingüica 1	2393	21.80	45.27	27.34	6.51	13.63
Pingüica 2	2468	23.93	27.41	23.53	6.25	12.79
Pingüica 3	2541	13.47	13.10	22.69	5.2	12.17
Pingüica 4	2610	19.00	12.90	24.91	6.11	12.94
Pingüica 5	2706	83.07	18.47	26.86	5.77	12.91
Pingüica 6	2790	71.69	12.37	24.025*	5.45	12.15 *
Pingüica 7	2904	42.56	26.39	21.19 *	5.13	11.39 *
Pingüica 8	3058	38.25	13.00	20.17 *	4.11*	10.34 *

1. Trampas que presentan un * son estadísticamente diferentes respecto a las demás altitudes ($\alpha=0.05$) usando Wilcoxon y Kruskal-Wallis con comparación de rangos de Steel-Dwass ($q*3.03$).

En esta localidad, al presentar la mayor elevación sobre el nivel del mar, la abundancia de ambas especies es menor que en las dos anteriores. *D. frontalis* presentó su máximo de actividad de vuelo en marzo, abril y mayo 2015 con más de 50 individuos en promedio (Cuadro 9, Figura 26). A partir de junio 2015 hasta diciembre 2016, la abundancia de esta

especie disminuye considerablemente al punto de no tener presencia de la especie en meses, presentando correlaciones significativas con la temperatura mínima ($r=0.488$, $P=0.0001$), temperatura promedio ($r=0.367$, $P=0.0001$) y la diferencia entre temperatura máxima y la mínima ($r=-0.332$, $P=0.0001$).

Cuadro 9. Temperaturas registradas en los meses de mayor abundancia de las especies de *Dendroctonus* en la localidad de La Pingüica, Pinal de Amoles.

	Año	Mes	Temperaturas data logger		
			Máxima	Mínima	Promedio
<i>D. frontalis</i>	2015	Marzo	22.99	9.41	14.48
		Abril	22.78	10.30	14.82
		Mayo	18.64	10.26	13.46
	2015	Abril	22.78	10.3	14.82
		Mayo	18.64	9.34	13.46
<i>D. mexicanus</i>	2015	Junio	17.12	9.34	21.51
		Octubre	16.56	9.14	11.95
		Noviembre	16.2	6.99	10.67
	2016	Abril	22.81	9.81	14.72
		Mayo	23.47	10.64	15.64
		Junio	17.8	9.47	12.65
		Agosto	21.65	6.73	12.85

Por otra parte, *D. mexicanus* si presentó actividad en todo el periodo de muestreo. Se observó una disminución en el periodo de diciembre 2015 a abril 2016, donde se registró una temperatura mínima hasta de 4°C. La mayor actividad de vuelo se registra en abril, mayo, junio, octubre y noviembre 2015 y abril, mayo, junio y agosto 2016 (cuadro 9, figura 27). Esta especie evidenció correlaciones significativas con la temperatura mínima ($r=0.480$, $P=0.000$), la temperatura promedio ($r=0.400$, $P=0.000$) y la diferencia entre temperatura máxima y mínima ($r=-0.204$, $P=0.001$).

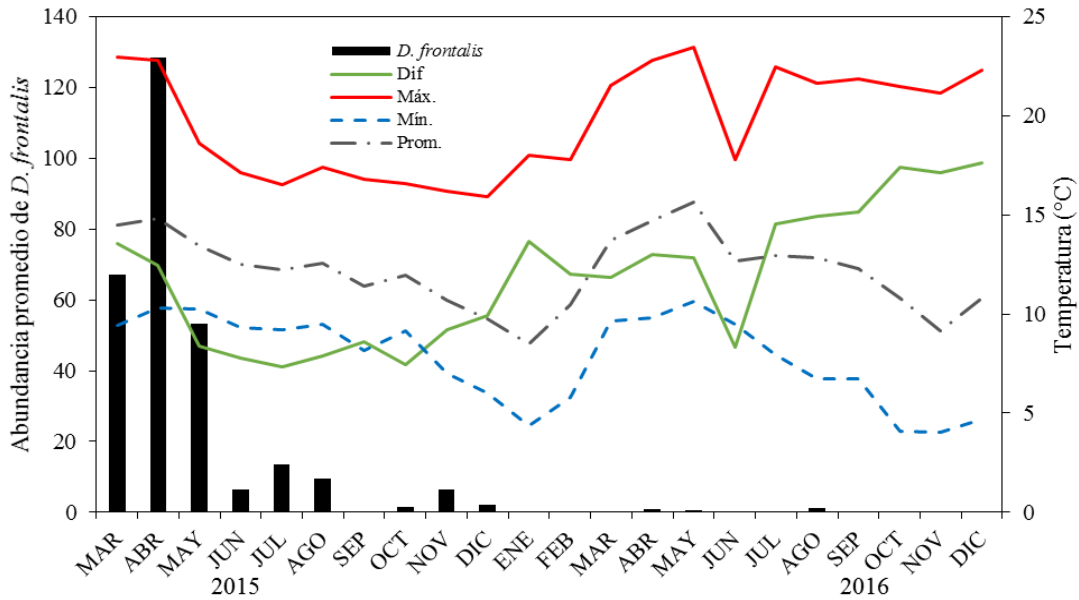


Fig. 27. Abundancia promedio mensual de *D. frontalis* y diferencia de la temperatura en la localidad de La Pingüica durante el periodo de marzo 2015 a diciembre 2016 en la Sierra Gorda, Querétaro, México. Nota: Dif= diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

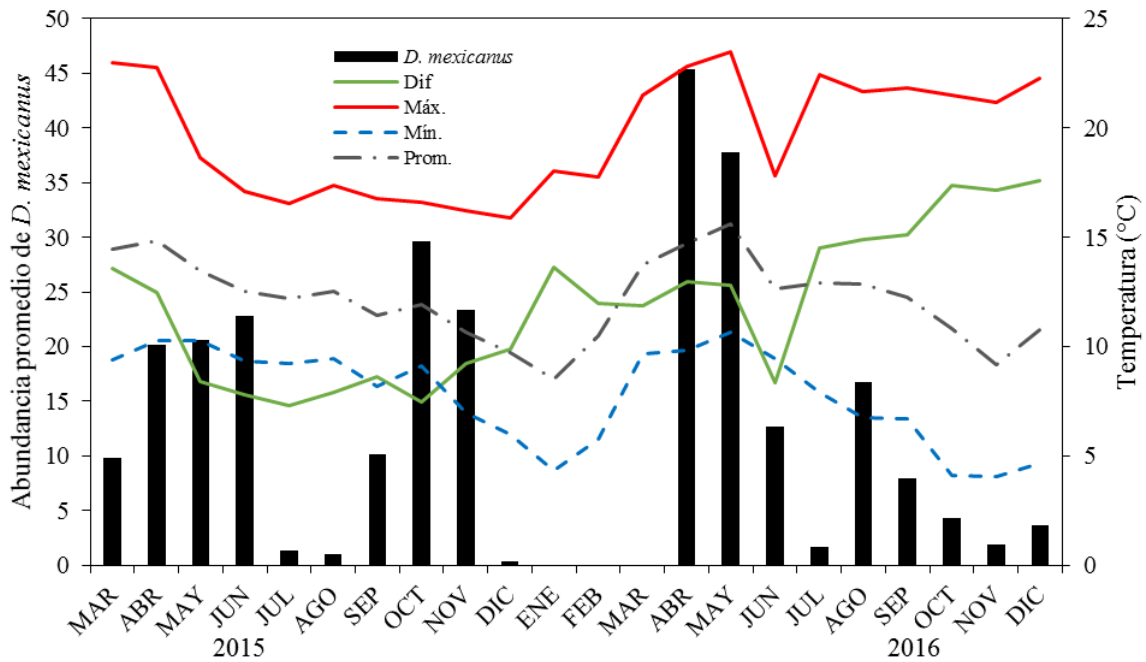


Fig. 28. Abundancia promedio mensual de *D. mexicanus* y diferencia de la temperatura en la localidad de La Pingüica durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la Sierra Gorda, Querétaro México. Nota: Dif= diferencia entre la temperatura máxima y la mínima.

Durante el periodo de muestreo, en la localidad presentó más acumulación de días con temperaturas menores a 13°C que días mayores a 16 y 21°C. Se observa que la abundancia de *D. frontalis* disminuye considerablemente al presentar temperaturas bajas; *D. frontalis* presentó correlaciones significativas (°C prom 16: $r=0.605$, $P=0.003$; °C máx 21°C: $r=0.144$, $P=0.524$) (Figura 28). Lo contrario a *D. mexicanus*, donde se observa que responde mejor a temperaturas bajas por lo que le favorece la supervivencia a estas altitudes. Sin embargo, a partir de marzo 2016 donde los días con temperaturas menores a 13°C son menos frecuentes y aumenta la temperatura, *D. mexicanus* tiene su mayor actividad en abril a agosto, repitiendo la disminución de la abundancia a partir de septiembre cuando los días con temperaturas bajas son más frecuentes, presentando un ciclo marcado por la temperatura (Figura 29); *D. mexicanus* presentó correlaciones significativas (°C prom 16: $r=0.455$, $P=0.033$; °C máx 21°C: $r=0.594$, $P=0.004$; °C mín: $r=-0.378$, $P=0.083$).

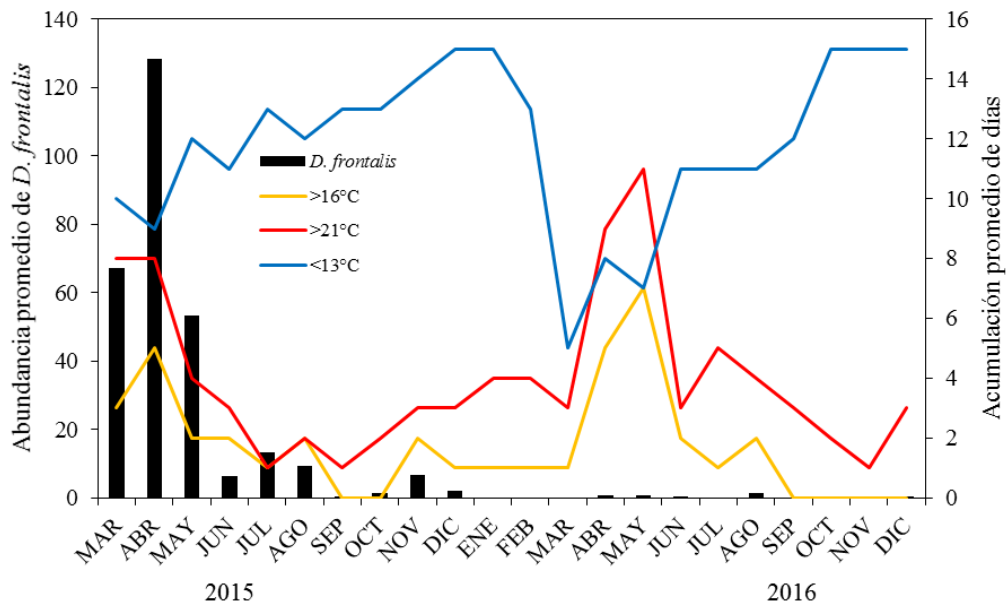


Fig. 29. Abundancia mensual de *D. frontalis* y acumulación promedio de días en categorías de rangos de temperatura durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad La Pingüica, Sierra Gorda, Querétaro, México.

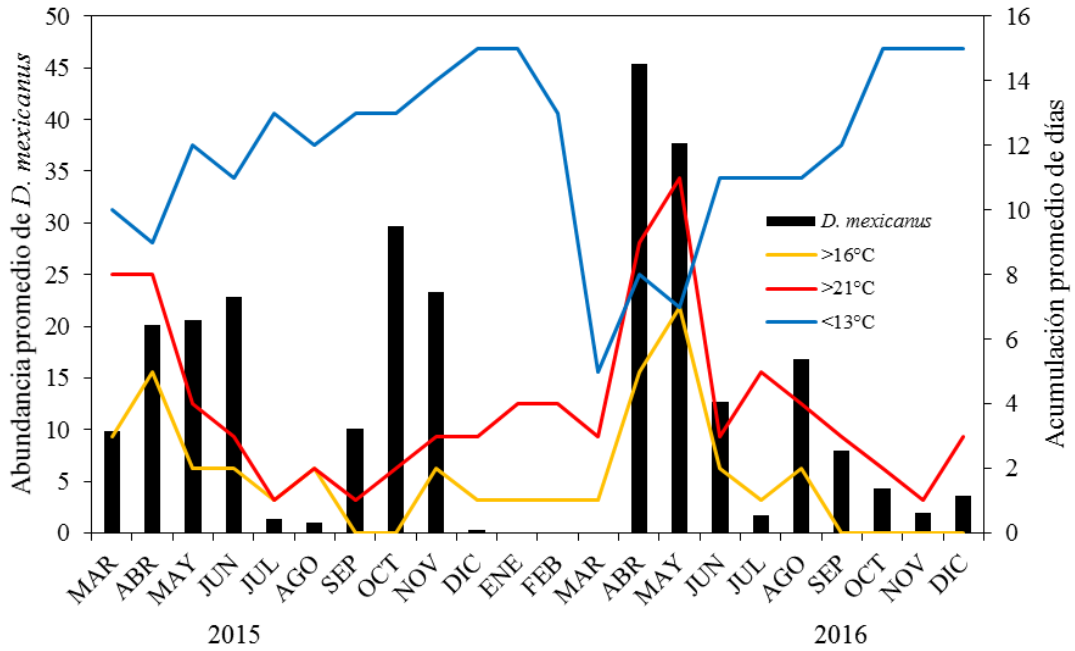


Fig. 30. Abundancia mensual de *D. mexicanus* y acumulación promedio de días en categorías de rangos de temperatura durante los 22 meses de muestreo (marzo 2015 a diciembre 2016) en la localidad La Pingüica, Sierra Gorda, Querétaro, México.

7. DISCUSIÓN

7.1 Fluctuación espacio-temporal.

La diferencia en abundancia de las especies de *Dendroctonus* fue muy marcada, entre los sitios debajo de 2000 m (El Lobo-Madroño y Tepozán) y el sitio con altitudes superiores a 2393 m (La Pingüica) en la Sierra Gorda queretana. Se pueden observar la afinidad de *D. frontalis* y *D. mexicanus* por altitudes menores a 2003 msnm. Sin embargo, *D. mexicanus* presentó una aparente tolerancia a los sitios más fríos, como reportó también Moser et al (2005) dado que se encontró individuos hasta los 3058 msnm en el presente estudio. Salinas-Moreno et al (2010) y Cibrián-Tovar et al (2014) reportan que puede distribuirse hasta altitudes aún más altas que van hasta los 3650 msnm. Salinas-Moreno et al (2010), menciona que *D. frontalis* tiene una distribución desde los 600 a 3200 msnm, con un rango de preferencia entre 1500 y 2000 msnm. En el presente estudio, la abundancia de esta especie disminuyó considerablemente a partir de los 2393 msnm. La mayor abundancia de *D. frontalis* en sitios bajos puede deberse, a las mayores temperaturas y diferencias en la precipitación, el viento, entre otros factores abióticos, lo cual afecta la formación de comunidades locales (Tykarski, 2005). Entre los factores, las condiciones geográficas del sitio puede influir en la riqueza y abundancia de las especies (Mac Arthur, 1972). Es entonces que la diferencia altitudinal y latitudinal influyen en la riqueza y abundancia de especies como lo describe la regla de Rapoport, donde a mayor latitud la riqueza de especies disminuye, ya que son más sensibles a los cambios estacionales que los organismos tropicales, que se encuentran a bajas latitudes, esto mismo se aplica altitudinalmente (Stevens, 1992). En trabajos similares, la abundancia de insectos descortezadores se encontró mayor riqueza de especies en altitudes bajas (por debajo de 2200 msnm) y disminuye conforme la altitud aumenta. En esta altitud, el daño a los árboles es más evidente que en altitudes mayores (Negrón et al, 2009; Rubín-Aguirre et al., 2015), lo cual en el sitio de Lobo-Madroño y Tepozán (1589-2003msnm) presentaron la mayor abundancia de *Dendroctonus* y se ha reportado brotes en estos sitios, evidenciando un daño evidente a los árboles (Cibrián-Tovar et al., 2014).

La abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* parece favorecida por temperaturas promedio mayores a 16°C y temperaturas máximas de 21 a 25°C. La disminución de la abundancia en

altitudes mayores es notoria cuando se presentan temperaturas mínimas menores a 13°C. En la localidad de Lobo-Madroño, los meses que presentaron mayor abundancias de *D. frontalis* y *D. mexicanus*, presentan una temperatura máxima entre 18 a 33°C y una temperatura promedio entre 11 a 22°C. Para la localidad de Tepozán, los meses de mayor actividad presentaron temperaturas máximas entre 22 y 31°C y temperaturas promedio entre 14 y 20°C; finalmente para La Pingüica los meses de mayor actividad presentaron temperaturas máximas entre 17 y 22°C y temperaturas promedio entre 10 y 15°C. Estudios similares han reportado que para *D. frontalis*, la mayor captura se obtiene cuando las temperaturas máximas se encuentran entre los 19 y 37.9°C con una mínima de 6.7°C (Gaylord et al., 2008) y entre 7 a 30°C (Evans et al., 2011). Sin embargo, en otros estudios se ha reportado su mayor actividad entre 25 y 27°C, con tendencia descendente a partir de los 30°C y la menor temperatura en la que *D. frontalis* puede tener actividad de vuelo es de 5.6°C (Thompson y Moser, 1986). Este aumento de la abundancia sucede cuando las temperaturas aumentan y como consecuencia se incrementa la tasa de desarrollo de *D. frontalis* y *D. mexicanus*, lo que provoca más generaciones por año (Tran, 2007; Leal-Olivera, 2014). Estos rangos de temperatura están fuertemente influenciados por la latitud y por la altitud (Björklund y Lindgren, 2009). Las temperaturas registradas para que las poblaciones de *Dendroctonus* disminuyan drásticamente es entre -10, -12 hasta -25°C (Lombardero et al, 2000; Tran, 2007). Probablemente, es por esto que la abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* nunca disminuyó en las temporadas invernales, puesto que en los tres sitios presentaron inviernos considerablemente por arriba de esas temperaturas (CONAGUA, 2015; CONAGUA, 2016) presentando temperaturas mínimas entre 6 a 15°C. Además de que con el aumento de las temperaturas, con *D. ponderosae*, la diapausa no ocurre a temperaturas altas y se acelera su desarrollo cuando las temperaturas son óptimas (Logan y Bentz, 1999; Christel et al., 2011), ya que los inviernos cálidos pueden reducir la eficiencia de formación de brotes en primavera (Friedenberg et al., 2008). Leal-Olivera (2014), reportó una correlación significativa positiva entre la temperatura máxima y la abundancia de *D. mexicanus* con temperaturas máximas registradas entre 18 a 24°C. Por otro lado, Alvarado (2013) estimó una correlación significativa positiva con la temperatura mínima mensual. Sin embargo, *D. mexicanus* tuvo mejor respuesta al presentar correlaciones significativas con las tres medidas de temperatura

(máxima, mínima y promedio), mientras que *D. frontalis* no presentó correlaciones con ninguno de las tres medidas de temperatura en ninguno de los tres sitios de estudio.

Las dos especies, presentan una gran actividad durante 2015 y 2016 (Figura, 30), con una mayor abundancia en 2016; los estudios sobre *D. frontalis* y *D. mexicanus* indican que los brotes de estas especies, en muchas ocasiones no son cíclicos, pero son conducidos por variables climáticas estocásticas (Six y Bracewell, 2015).

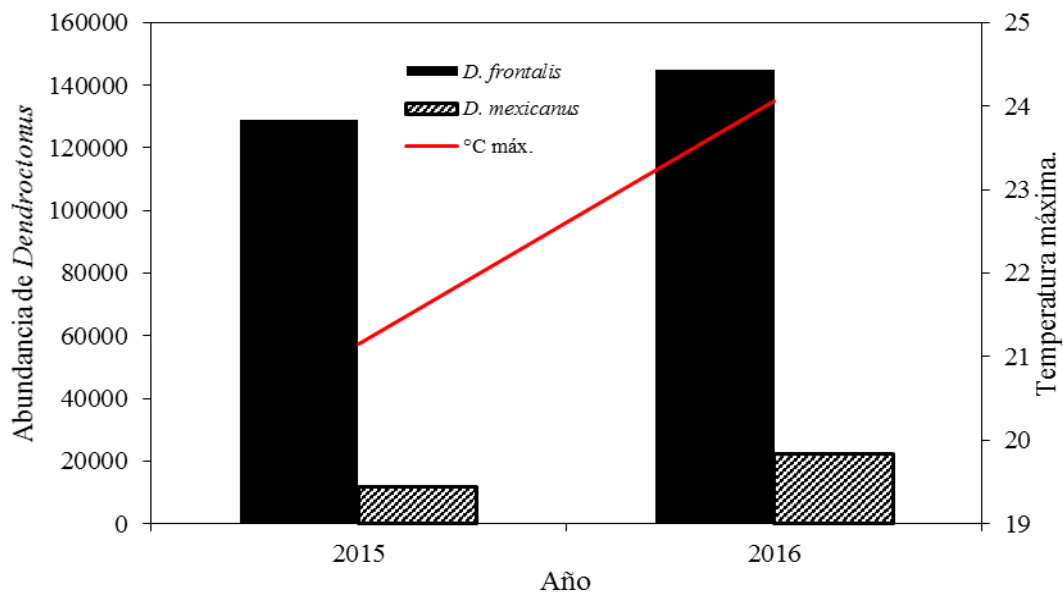


Fig. 31. Fluctuación anual de *D. frontalis* y *D. mexicanus* y temperatura máxima promedio anual en la Sierra Gorda, Querétaro, México.

El año 2012 se registraron sequías extremas a nivel nacional (CONAGUA, 2012), en el mismo año en la Sierra Gorda Queretana, se registró uno de los mayores brotes por descortezadores en varios de los municipios que la conforman (Cibrián-Tovar et al, 2014). Posteriormente en los años 2015 y 2016 se registró una disminución en la precipitación media anual provocando sequías extremas, con lluvias muy heterogéneas y fuera de temporada (CONAGUA, 2015; CONAGUA, 2016) en este último periodo, las especies de *D. frontalis* y *D. mexicanus* evidenciaron actividad de vuelo relativamente constante durante los 22 meses de muestreo. Cuando las condiciones climáticas fueron óptimas, principalmente la temperatura, aparentemente aceleró el desarrollo de generaciones por año, como se ha reportado para otras especies de *Dendroctonus* (Logan y Powell, 2001; Bentz et al 2010; Evans et al 2011; Bentz et al, 2014). Los factores climáticos extremos estresan al bosque

a nivel de paisaje (Fettig et al., 2007), las sequías y climas extremos limita los componentes de defensa hacía un ataque por descortezadores, ya que provoca mayor pérdida de agua por evapotranspiración (Duehl et al., 2011). En adición, los brotes de *Dendroctonus* no solo están asociados con la temperatura, sino con una combinación de factores como, la densidad del arbolado, edad del bosque, la pendiente (Bentz y Jönson, 2015), hasta la velocidad y temperatura del viento, sensación térmica (Gómez et al, 2017), además del mantenimiento de los bosques (Friedenberg et al., 2008), presión del aire, humedad del suelo (Wood, 1982) y el nitrógeno (León-García, 2013).

Se ha reportado que ambas especies presentan mayor actividad en primavera y otoño, entre marzo y noviembre en Arizona (Williams et al., 2008), cuando tienen mayor reserva de grasa para la búsqueda de nuevos árboles hospederos (Hedden y Billings, 1977). Esto se puede observar en el sitio más frío, La Pingüica, donde *D. mexicanus* presentó mayor actividad durante marzo a junio y de octubre y noviembre 2015, y marzo a junio 2016, mientras que *D. frontalis* solo presentó actividad durante marzo a mayo 2016. Sin embargo en el sitio de Lobo-Madroño, *D. frontalis* presentó actividad durante todo el periodo de muestreo (exceptuando junio y septiembre 2016) y *D. mexicanus* presenta mayor actividad durante abril, octubre, noviembre y diciembre 2015 y de julio a diciembre 2016; en el sitio de Tepozán ambas especies presentaron una disminución en su actividad durante octubre a diciembre 2015 y 2016. Varios autores mencionan que ambas especies presentan una menor actividad en verano cuando la precipitación es mayor y las reservas de grasa son menores, pero pueden tener una mayor probabilidad de ocasionar un brote a nivel local (Coulson, 1989; Macías et al, 2014; Ayres et al, 2011; Goodsmán et al, 2016). Sin embargo, trabajos similares, muestran una mayor actividad de *D. frontalis* y *D. mexicanus* en el mes de febrero, cuando la temperatura promedio y la máxima es mucho mayor a la temperatura histórica registrada (Hernández et al, 2017). Esto sucedió en el sitio de Lobo-Madroño y Tepozán, puesto que en enero y febrero presentaron una mayor actividad en estos meses; otros registran para *D. mexicanus* un incremento en la actividad en noviembre a marzo (Cuéllar et al., 2012) y de febrero a mayo (Leal-Olivera, 2014). En algunos estudios no existe una correlación significativa con las variables climáticas de estudio (como temperatura, humedad relativa y precipitación) (Cuéllar, 2012; Leal-Olivera, año; Morales et al, 2016; Avilés et al, 2016; Mendoza y Obregón, 2016), ya que las correlaciones no son evidencia de la influencia directa

entre las condiciones climáticas con el aumento de la población de descortezadores, pero, estas alteraciones pueden generar niveles de alto estrés en el sistema forestal, causando debilitamiento en la capacidad de resistencia al ataque de las especies de *Dendroctonus* (Turchin et al., 1991; Rivera-Rojas et al, 2010). Sin embargo, los brotes al no ser regulares, pueden estar influenciados por la acción simultánea de procesos denso-dependientes e independientes, lo cual las correlaciones entre *D. frontalis* y las temperaturas extremas, resalta la posibilidad de considerar respuestas no lineales (Friedenberg et al, 2008).

Dendroctonus frontalis y *D. mexicanus* presenta una correlación significativa con el acumulado de los días con temperaturas promedio arriba de 16°C, temperaturas máximas mayores a 21°C y temperaturas mínimas menores a 13°C en la localidad de Tepozán y La Pingüica, esto no sucede en la localidad de Lobo-Madroño.

En cuanto a las especies de pino más afectadas, Cibrián-Tovar et al (2014) reportó para la Sierra Gorda un daño mayor en *Pinus greggii* y *Pinus patula* en los municipios de Jalpan de Serra y Landa de Matamoros; en cuanto a las especies registradas para las 3 localidades en su mayoría fue *Pinus greggii* (Lobo-Madroño, Tepozán, Pingüica), *Pinus cembroides* (Tepozán) y *Pinus patula* (Pingüica). Se ha reportado brotes de *D. mexicanus* en *Pinus cembroides* (Alvarado, 2013; Cuellar et al., 2012); mientras que otros autores mencionan que *P. taeda* es muy susceptible a los ataques de *D. frontalis* (Evans et al, 2011). Sánchez-Martínez (2007) menciona las especies de pino a las cuales *D. frontalis* y *D. mexicanus* atacan; para *D. frontalis* es agresivo para *P. contorta*, *P. ponderosa*, *P. edulis*, *P. oocarpa*, *P. arizonica*, *P. duranguesis*, *P. greggii*, *P. leiophylla*, *P. teocote*; *D. mexicanus* es agresivo para *P. ayacahuite*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. rudis*, *P. arizonica*, *P. duranguesis*, *P. chihuahuana*, *P. hartwegii*, *P. michoacana*, *P. greggii*, *P. patula*, entre otras. Sin embargo, este autor no menciona que *D. frontalis* ataca *P. patula*, y al observar la distribución de especies entre los 3 sitios de estudio en la sierra gorda queretana, en la localidad de La Pingüica se distribuye en su mayoría *P. patula* en las altitudes bajas, donde se encontró más abundancia de *D. mexicanus* y en los otros sitios, la mayoría de hospederos es *P. greggii*. Sin embargo, ambas especies frecuentemente están en coexistencia en los sistemas forestales, siendo las dos especies primarias, atacan a los árboles en conjunto para rebasar las defensas del árbol (Zúñiga et al., 1995; Vergara-Pineda et al, 2014).

8. CONCLUSIÓN

Para la Sierra Gorda Queretana, la mayor abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* se encontró a altitudes menores entre los 1589 y 2003 msnm. A partir de los 2393 msnm la abundancia de ambas especies disminuye, siendo *D. mexicanus* el predominante en el sitio alto hasta los 3058 msnm.

Las temperaturas que se asoció a la mayor actividad de *D. frontalis* y *D. mexicanus* en el gradiente altitudinal fueron mayores a 16°C de promedio y entre 21 y 25°C de temperatura máxima. Se observó que temperaturas mínimas menores a 13°C se registraron en altitudes superiores, y en este caso la abundancia de ambas especies disminuyó.

La temperatura máxima registrada durante 2015 y 2016 aparentemente promovió la aceleración en el desarrollo de generaciones, presentando gran actividad durante los 22 meses de muestreo y sobre todo durante los meses de invierno (diciembre, enero y febrero).

Dendroctonus frontalis no presentó correlaciones significativas con ninguno de las tres medidas de temperatura. En contraste, *D. mexicanus* presentó una baja correlación con temperaturas promedio y mínimas, y una correlación un poco más alta con la temperatura máxima, indicando que probablemente hubo otros factores involucrados en la fluctuación poblacional de ambas especies y no solo la temperatura.

Para el sitio de La Pingüica y Tepozán, ambas especies tienen correlaciones significativas con la acumulación de días que presentaron temperaturas promedio mayores a 16°C, máximas mayores a 21°C y mínimas menores a 13°C, para el sitio de Lobo-Madroño no presentó ninguna correlación.

La diferencia en especies de pino puede influir en la abundancia y presencia de las especies de descortezadores.

9. LITERATURA CITADA

- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., & Gonzalez, P. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*, 259(4), 660-684.
- Alvarado Villanueva, O. (2013). Evaluación de los factores asociados a las infestaciones de descortezadores (Coleoptera: Scolytinae) en bosques de piñones (*Pinus cembroides*) en la reserva sierra gorda de Guanajuato. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Atkinson, T. H., & Equihua, A. (1986). Biology of the Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera) in a tropical deciduous forest at Chamela, Jalisco, Mexico. *Florida Entomologist*, 303-310.
- Atkinson, T. H., Saucedo, C. E., Martínez, E., & Burgos, A. (1986). Coleópteros Scolytidae y Platypodidae asociados con las comunidades vegetales de clima templado y frío en el estado de Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* (ns), 17, 1-58.
- Avilés-Carrillo, I., Vergara-Pineda, S., Cambrón-Sandoval, V. H., & Obregón-Zúñiga, J. A. (2016). Fluctuación poblacional de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en relación a la variación en la altitud y factores climáticos en un bosque de pino en Zimapán, Hidalgo. *Entomología mexicana*. 3: 649–655.
- Ayres, M. P., & Lombardero, M. J. (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science of the Total Environment*, 262(3), 263-286.
- Ayres, M. P., Martinson, S. J., & Friedenberg, N. A. (2011). Southern pine beetle ecology: populations within stands. *Southern pine Beetles II*.

- Bentz, B. J., Régnière, J., Fettig, C. J., Hansen, E. M., Hayes, J. L., Hicke, J. A., ... & Seybold, S. J. (2010). Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects. *BioScience*, 60(8), 602-613
- Bentz, B., Vandygriff, J., Jensen, C., Coleman, T., Maloney, P., Smith, S., & Schen-Langenheim, G. (2014). Mountain pine beetle voltinism and life history characteristics across latitudinal and elevational gradients in the western United States. *Forest Science*, 60(3), 434-449.
- Bentz, B., & Jönsson, A. M. (2015). Modeling bark beetle response to climate change. *Bark Beetles—biology and ecology of native and invasive species*, 533-553.
- Björklund, N., & Lindgren, B. S. (2009). Diameter of lodgepole pine and mortality caused by the mountain pine beetle: factors that influence their relationship and applicability for susceptibility rating. *Canadian journal of forest research*, 39(5), 908-916.
- Byers, J. A. (1989). Chemical ecology of bark beetles. *Experientia*, 45(3), 271-283.
- Carabias Lillo, J., Provencio, E., de la Maza Elvira, J., & Ruiz Corzo, M. (1999). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Sierra Gorda. México, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales).
- Carroll, A. L., Taylor, S. W., Régnière, J., & Safranyik, L. (2003). Effect of climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia. In Pages 223-232 in TL Shore et al. (eds) Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions, Oct. 30-31, 2003. Kelowna BC. Natural Resources Canada, Information Report BC-X-399, Victoria.
- Challenger, A., R. Dirzo et al. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 37-73.
- Christel, L. M. (2011). Distribution parameters of *Dendroctonus frontalis* in a Georgia landscape. The University of Arizona.

- Cibrián Tovar, D., Arango Caballero, L., & Tovar, D. C. (1995). *Insectos forestales de México= Forest insects of Mexico* (No. SB764. M6, I5.). Universidad Autónoma Chapingo.
- Cibrián Tovar, D., Quiñonez, S. A., Morales, F., J., Ortiz, B. O., Bocanegra H., S., Torres, F. U., Santiago, G. E., Macías, S. H. J., Curiel, C. M., Cortés, E. E. (2014). Diagnóstico de situación actual y monitoreo de insectos descortezadores en los bosques templados de la reserva de la Biósfera sierra Gorda (RBSG), Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Comisión Nacional forestal (CONAFOR) y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. México.
- Cognato A. I., (2011). A review of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann Systematics. *Southern Pine Beetle II*. Pp. 7-12.
- CONAFOR, 2012. Distribución de plagas y enfermedades 2012. Fecha de consulta: 23/10/17
- CONAGUA. (2012). Reporte del Clima en México.
- CONAGUA. (2015). Reporte del Clima en México. Fecha de consulta: Junio 2017.
- CONAGUA. (2016). Reporte del Clima en México. Fecha de consulta: Junio 2017.
- Coulson, R. N. (1979). Population dynamics of bark beetles. *Annual review of entomology*, 24(1), 417-447.
- Coulson, R. N., Feldman, R. M., Sharpe, P. J. H., Pulley, P. E., Wagner, T. L., & Payne, T. L. (1989). An overview of the TAMBEETLE model of *Dendroctonus frontalis* population dynamics. *Ecography*, 12(4), 445-450.
- Cruz, F. S. 2007. Estimación de la fluctuación de poblaciones de adultos de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Scolytinae) mediante trampeo con feromonas de agregación. Universidad Autónoma de Chapingo. Tesis de Ingeniería.
- Cuéllar-Rodríguez. G., A. Equihua- Martínez, E. Estrada- Venegas, T. Méndez- Montiel, J. Villa- Castro y J. Romero- Nápoles. (2012). Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) 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.
- Dajoz, R. 2001. Entomología forestal, los insectos y el bosque. Ediciones Mundi-Prensa. España. 548 p.

- Duehl, A. J., Koch, F. H., & Hain, F. P. (2011). Southern pine beetle regional outbreaks modeled on landscape, climate and infestation history. *Forest Ecology and Management*, 261(3), 473-479.
- Evans, L. M., Hofstetter, R. W., Ayres, M. P., & Klepzig, K. D. (2011). Temperature alters the relative abundance and population growth rates of species within the *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae) community. *Environmental Entomology*, 40(4), 824-834.
- Fettig, C. J., Klepzig, K. D., Billings, R. F., Munson, A. S., Nebeker, T. E., Negrón, J. F., & Nowak, J. T. (2007). The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations in coniferous forests of the western and southern United States. *Forest Ecology and Management*, 238(1), 24-53.
- Friedenberg, N. A., Sarkar, S., Kouchoukos, N., Billings, R. F., & Ayres, M. P. (2008). Temperature extremes, density dependence, and southern pine beetle (Coleoptera: Curculionidae) population dynamics in east Texas. *Environmental Entomology*, 37(3), 650-659.
- Gaylord, M. L., Williams, K. K., Hofstetter, R. W., McMillin, J. D., DeGomez, T. E., & Wagner, M. R. (2008). Influence of temperature on spring flight initiation for southwestern ponderosa pine bark beetles (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *Environmental Entomology*, 37(1), 57-69.
- Gernandt, D. S., & Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 126-133.
- Hain F. P., Duehl A. J., Gardner M. J. and Payne T. L. (2011). Natural History of the Southern Pine Beetle. *Southern Pine Beetle II*. Pp. 13-24.
- Goodsman, D. W., Koch, D., Whitehouse, C., Evenden, M. L., Cooke, B. J., & Lewis, M. A. (2016). Aggregation and a strong Allee effect in a cooperative outbreak insect. *Ecological Applications*, 26(8), 2621-2634.
- Gómez, V. L., Huerta, B. T., Martínez, J. F. R., Martínez, G. S., & Hernández, A. R. G. (2017). Influencia de parámetros climáticos sobre las fluctuaciones poblacionales del complejo *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(41).

- Hedden, R. L., & Billings, R. F. (1977). Seasonal Variations in Fat Content and Size of the Southern Pine Beetle in East Texas. *Annals of the Entomological Society of America*, 70(6), 876-880.
- Hernández-Muñoz, G., Soto-Correa, J. C., Cambrón-Sandoval, V. H., & Avilés-Carrillo, I. (2017). Explosión de la abundancia de descortezadores, un acontecimiento adelantado a la primavera en el bosque de pino en Hidalgo. *Entomología mexicana*, 4: 525–530.
- Hobson, K. R., Wood, D. L., Cool, L. G., White, P. R., Ohtsuka, T., Kubo, I., & Zavarin, E. (1993). Chiral specificity in responses by the bark beetle *Dendroctonus valens* to host kairomones. *Journal of Chemical Ecology*, 19 (9), 1837-1846.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/22/22002.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). <http://www.inegi.org.mx/>. Fecha de consulta: Octubre 2016.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Synthesis Report.
- Krokene, P. (2015). Conifer defense and resistance to bark beetles. *Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*. 177-207.
- Landaverde, R. (2001). Los escarabajos descortezadores del Género *Dendroctonus* Erickson. Plaga de las pináceas en Centro América. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria.(OIRSA). Dirección Técnica de Sanidad Vegetal. San Salvador, El Salvador, ca.
- Lanier, G. N., Hendrichs, J. P., & Flores, J. E. (1988). Biosystematics of the *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) complex. *Annals of the Entomological Society of America*, 81(3), 403-418.
- Leal Olivera, N. (2014). Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y variación estacional de la temperatura y humedad relativa, en San Juan del estado, Etlá, Oaxaca. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.

- León García, N. (2013). Estudio comparativo de *Dendroctonus valens* y *D. rhizophagus* (Curculionidae: Scolytinae) y sus hongos asociados. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Lindgren, B. S. (1983). A multiple funnel trap for scolytid beetles (Coleoptera). *The Canadian Entomologist*, 115(03), 299-302.
- Logan, J. A., & Bentz, B. J. (1999). Model analysis of mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) seasonality. *Environmental Entomology*, 28(6), 924-934.
- Logan, J. A., & Powell, J. A. (2001). Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *American Entomologist*, 47(3), 160.
- Lombardero, M. J., Ayres, M. P., Ayres, B. D., & Reeve, J. D. (2000). Cold tolerance of four species of bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *Environmental Entomology*, 29(3), 421-432.
- López, S., Iturrondobeitia, J. C., & Goldarazena, A. (2007). Primera cita en la Península Ibérica de *Gnathotrichus materiarius* (Fitch, 1858) y *Xylosandrus germanus* (Blandford, 1894) (Coleoptera: Scolytinae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 40, 527-532.
- MacArthur, R. H. (1972). Geographical ecology: patterns in the distribution of species. Harper & Row, New York.
- Macías Sámano, J. E., Domínguez, A. N., López, J. C., & Mérida, R. A. (2004). Monitoreo de descortezadores y sus depredadores mediante el uso de semioquímicos: Manual operativo. Ecosur-Conafor-Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas-USDA Forest Service. Tapachula, Chiapas, Méx.
- Macías-Sámano, J. E., Rivera-Granados, M. L., Jones, R., & Ibarra, G. (2014). Respuesta de insectos descortezadores de pino y de sus depredadores a semioquímicos en el sur de México. *Madera y bosques*, 20(3), 41-47.
- Macías-Sámano, J.E, Niño-Domínguez, A. (2016). Protocolo para monitoreo de descortezadores de conífera mediante el uso de atrayentes y semioquímicos para

México y Centroamérica. Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

Mendoza, R. L. (2008). Valoración del potencial de servicios ambientales hidrológicos en vegetaciones contrastantes de la Sierra Gorda de Querétaro. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.

Mendoza-Villa, O. N., & Obregón-Zúñiga, J. A. (2016). Cambio en la abundancia de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en un gradiente altitudinal en el cerro “La Pingüica”, Pinal de Amoles, Querétaro. *Entomología mexicana*, 3: 644–648.

Mérida, A., & Flores, M. J. D. F. (2010). Implementación de un sistema de trampeo para el monitoreo de *Dendroctonus frontalis* en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. (No. QL596. S35. A47 2010).

Morales-Rangel, A., Cambrón-Sandoval, V. H., Vergara-Pineda, S., & Obregón-Zuñiga, J. A. (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.

Moser, J. C., Fitzgibbon, B. A., & Klepzig, K. D. (2005). The Mexican pine beetle, *Dendroctonus maxicanus*: first recorded in the United States and co-occurrence with the southern pine beetle-dendroctonus frontalis (coleoptera: scolytidae or curculionidae: scolytinae). *Entomological news*. (116), 4, pp. 235-246.

Negron, J. F., McMillin, J. D., Anhold, J. A., & Coulson, D. (2009). Bark beetle-caused mortality in a drought-affected ponderosa pine landscape in Arizona, USA. *Forest Ecology and Management*, 257(4), 1353-1362.

Ohmart, C. P. (1989). Why are there so few tree-killing bark beetles associated with angiosperms? *Oikos*, 242-245.

Raffa, K. F., Phillips, T. W., & Salom, S. M. (1993). Strategies and mechanisms of host colonization by bark beetles. *Beetle-pathogen interactions in conifer forests*, 102-28.

- Raffa, K. F., Gregoire, J. C., & Lindgren, B. S. (2015). Natural History and Ecology of Bark Beetles. *Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*.
- Rivera Rojas, M., Locatelli, B., & Billings, R. F. (2010). Cambio climático y eventos epidémicos del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonu fontalis* en Honduras. *Forest Systems*, 19(1), 70-76.
- Robert, M. F. (2012). Notas sobre el estudio ecológico y fitogeográfico de los bosques de *Pinus cembroides* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(10).
- Rodríguez Ortega, A. (2009). Fluctuación de *Dendroctonus adjunctus* Blandford y sus depredadores atraídos por frontalina+ alfa-pineno, en Los Pescados, Veracruz y en Zoquiapan, Estado de México. Tesis de Doctorado.
- Rosete Vergés F. A., Pérez Damián J. L., Villalobos Delgado M., Navarro Salas E. N., Salinas Chávez E. y Remond Noa R. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera bosques* vol.20 no.1, 20:21-35.
- Rubín Aguirre, A., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R., del Río Mora, A. A., Tena Morelos, C. A., Campos Bolaños, R., & del Val, E. (2015). Bark beetle pests in an altitudinal gradient of a Mexican managed forest. *Forest Ecology and Management*, 343, 73-79.
- Safranyik, L., Carrol, A. L., Régnière, J., Langor, D. W., Riel, W. G., Shore, T. L., & Taylor, S. W. (2010). Potential for range expansion of mountain pine beetle into the boreal forest of North America. *The Canadian Entomologist*, 142(5), 415-442.
- Salinas-Moreno, Y., C. F. Vargas-Mendoza, G. Zúñiga, J. Víctor, A. Ager & J. L. Hayes. (2010). Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en México. Instituto Politécnico Nacional/ Comisión Nacional Forestal. Pp. 1-90.
- Sánchez Martínez, G., Torres-Espinoza, L. M., Vázquez-Collazo, I., González-Gaona, E., & Narváez-Flores, R. (2007). *Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. Aguascalientes, Méx., INIFAP., CIRNOC., Campo Experimental Pabellón.*

- Schowalter, T. D., Coulson, R. N., & Crossley Jr, D. A. (1981). Role of Southern Pine Beetle 1 and Fire in Maintenance of Structure and Function of the Southeastern Coniferous Forest 2. *Environmental Entomology*, 10(6), 821-825.
- Six, D. L., & Bracewell, R. R. (2015). *Dendroctonus. Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*. Academic Press, Elsevier Publishing, USA, 305-350.
- Stevens, G. C. (1992). The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *The American Naturalist*, 140(6), 893-911.
- Symonds, M. R., & Elgar, M. A. (2004). The mode of pheromone evolution: evidence from bark beetles. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 271(1541), 839-846.
- Thompson, W. A., & Moser, J. C. (1986). Temperature thresholds related to flight of *Dendroctonus frontalis* Zimm.(Col.: Scolytidae). *Agronomie*, 6(10), 905-910.
- Trân, J. K., Ylioja, T., Billings, R. F., Régnière, J., & Ayres, M. P. (2007). Impact of minimum winter temperatures on the population dynamics of *Dendroctonus frontalis*. *Ecological Applications*, 17(3), 882-899.
- Turchin, P., Lorio Jr, P. L., Taylor, A. D., & Billings, R. F. (1991). Why do populations of southern pine beetles (Coleoptera: Scolytidae) fluctuate? *Environmental Entomology*, 20(2), 401-409.
- Tykarski, P. (2005). Beetles associated with scolytids (Coleoptera: Scolytidae) and the elevational gradient: Diversity and dynamics of the community in the Tatra National Park, Poland. *Forest ecology and management*, 225(1), 146-159.
- Vergara-Pineda, S., Jones, R. W., Cambrón-Sandoval, V. H., Obregón-Zúñiga, J. A., & Equihua-Martínez, A. (2014). Bark Beetle Species (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) and their Vertical Distribution on *Pinus greggii* during an Outbreak in the Sierra Madre Oriental of Mexico. *Southwestern Entomologist*, 39(1), 193-196.
- Whitman, D. W. (1988). Ahelochemical interactions among plants, herbivores, and their predators. *Novel Aspects of Insect-Plant Interactions*. John Wiley & Sons, New York, 11-64.

- Williams, K. K., McMillin, J. D., DeGomez, T. E., Clancy, K. M., & Miller, A. (2014). Influence of elevation on bark beetle (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) community structure and flight periodicity in ponderosa pine forests of Arizona. *Environmental entomology*, 37(1), 94-109.
- Wood, S. L. (1982). *The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph*.
- Wood, S. L. W. (2007). *Bark and ambrosia beetles of south America (coleoptera, scolytidae)* (No. C/595.760980 W6).
- Zúñiga, G., Cisneros, R., & Salinas, Y. (1995). Coexistencia de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *D. mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae) sobre un mismo hospedero. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, (64), 59-62.
- Zylstra, K.E., Dodds, K.J., Francese, J.A. and Mastro, V. 2010. Sirex noctilio in North America: the effect of stem-injection timing on the attractiveness and suitability of trap trees. *Agricultural and Forest Entomology*. 12: 243-250.

**Capítulo 2. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN POBLACIONES DE
Dendroctonus frontalis Y *Dendroctonus mexicanus* BAJO UN ESCENARIO DE
CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SIERRA GORDA QUERETANA.**

RESUMEN.

En México fueron afectadas alrededor de 17, 900 ha de bosques de coníferas en el 2016 a causa de los brotes de insectos descortezadores. Se ha observado que el aumento en las temperaturas ocasionadas por el cambio climático afecta directamente a los bosques de pino y favorece el desarrollo de insectos plaga. Los gradientes altitudinales generan gradientes en temperatura, por lo cual son buenos modelos de estudio en un contexto de cambio climático. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la temperatura la abundancia de *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* a lo largo del rango de distribución altitudinal, así como determinar un posible cambio en la abundancia para el 2030 en un escenario de cambio climático. Los resultados muestran que la mayor abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* se encuentra en altitudes entre los 1589 y 1716 msnm, donde ocurren temperaturas mayores a los 16°C, y en altitudes mayores a los 2393 msnm la abundancia de ambas especies es menor, correspondiendo a temperaturas menores a 13°C. El escenario A1B de cambio climático predice que la temperatura aumentará del 2015-2016 al año 2030 3.9°C en promedio.

Palabras clave: *Dendroctonus*, gradiente altitudinal, temperatura.

ABSTRACT.

In Mexico, about 17 900 ha of coniferous forests were affected in 2016 because of outbreaks of bark beetles. It has been observed that the increase in temperatures caused by climate change directly affect pine forests and favors the development of insect pests. Altitude gradients generate temperatures gradients, which are good study models in a context of climate changes. The aim of this study was to determine the effect of temperature on the abundance of *Dendroctonus frontalis* and *Dendroctonus mexicanus* throughout the altitudinal distribution range, as well as determine a possible future change in abundance by 2030 in a climate change scenario. The results show that the highest abundance of *D. frontalis* and *D. mexicanus* is found at altitudes between 1589 to 1716 masl, where temperatures occur higher than 16°C and at altitudes higher than 2393 masl, the abundance of both species is lower, corresponding to temperatures below 13 ° C. The A1B climate change scenario predicts that the temperature increase from 2015-2016 to 2030 3.9°.

Key words: *Dendroctonus*, altitudinal gradient, temperature.

1. INTRODUCCIÓN

Los escarabajos descortezadores en México se consideran una plaga forestal importante en bosques de pino, ya que los ataques masivos de estos insectos provocan la muerte del arbolado, afectando la industria maderera (Atkinson y Equihua, 1986; Ohmart, 1989; Salinas et al., 2010; Krokene, 2015). En el año 2016 fueron afectadas alrededor de 17 900 ha de bosques por descortezadores, de las cuales 58.9 ha (0.32%) corresponde al estado de Querétaro (CONAFOR, 2016). Las especies de pino más afectadas dentro del estado son *Pinus greggii* y *Pinus patula* (Cibrián et al., 2014). Sin embargo, las poblaciones de escarabajos descortezadores también juegan un papel importante en la renovación, saneamiento natural y permanencia de los bosques, siendo los del género *Dendroctonus* los de mayor importancia (Wood, 1982; Raffa et al., 2015). Se ha observado que el crecimiento poblacional de los descortezadores está limitado en ocasiones por variables ambientales como la temperatura y la humedad (Safranyik et al., 2010; Rubín et al., 2015). La distribución de una especie es modulada de acuerdo a las variaciones climáticas (temperatura, humedad, precipitación, etc.) a lo largo de un rango en altitud (García et al., 2012); así, los gradientes altitudinales son un modelo de estudio adecuado para estimar el cambio climático y distribuciones de especies a futuro (Zacarías-Eslava y Castillo, 2010; Sáenz et al., 2010). Las poblaciones de *Dendroctonus* dependen directamente de la temperatura para su desarrollo (Lombardero et al., 2000; Bentz et al., 2014; Six y Bracewell, 2015) y pueden verse favorecidas por los efectos del calentamiento global, principalmente por el aumento de la temperatura, incrementando su tamaño poblacional al punto de convertirse en plagas forestales (Bentz et al., 2014; Bentz y Jönson, 2015). Para el año 2030 se ha estimado un aumento de la temperatura entre 1.5°C (Soto-Correa et al., 2012) y de 1 a 5 °C (Bentz et al., 2016). El presente estudio se planteó como objetivo, determinar el efecto de la temperatura en la abundancia de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909 a lo largo del rango de distribución altitudinal dentro de la sierra gorda queretana, y así determinar el cambio en la abundancia de las dos especies de *Dendroctonus*, en relación al aumento de la temperatura que estimada para el año 2030 dentro del rango de distribución altitudinal.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Área de estudio.

Se estableció un transecto altitudinal que abarcó dos localidades en intervalos de 100 m (Macías et al., 2004) dentro de los bosques de coníferas al norte del Estado de Querétaro en los municipios de Pinal de Amoles y Landa de Matamoros. El gradiente altitudinal abarcó de los 1589 a los 3058 msnm. Dentro de la localidad de Pinal de Amoles se situaron 8 sitios de muestreo desde los 2393 a los 3058 msnm. En Landa de Matamoros se situaron 4 sitios de muestreo entre los 1589 a 1716 msnm (Cuadro 1).

2.2 Establecimiento de trampas.

En cada sitio de muestreo se colocaron trampas tipo Lindgren de 8 embudos con vaso colector por duplicado (Synergy Semiochemicals *Corps*®) separadas 50 metros longitudinalmente una de otra; dichas trampas se instalaron en árboles no hospederos, quedando suspendidas a 1.5 m del suelo; una trampa fue cebada con una combinación de semioquímicos (SQ's) para *Dendroctonus* spp de Synergy Semiochemical Corps® (Macías-Sámamo y Niño, 2016), la cual comprende de las feromonas Frontalina + *endobrevicomina* y alfa/beta pineno como kairomona; la otra trampa se estableció como trampa testigo sin feromonas. En el vaso colector de cada trampa se colocó anticongelante Bardahl® para motor (Etilenglicol [30-40%], aditivos inhibidores de corrosión [1-2%], Agua [60-70%]) y alcohol al 70° en concentración 1:1, para facilitar la muerte y la conservación de los insectos (Zylstra et al., 2010).

2.3 Colecta e identificación de insectos.

La colecta de los insectos se llevó a cabo durante el periodo de abril 2015 a marzo 2016. Cada 15 días se colectaron los insectos atrapados en el vaso colector depositándolos en bolsas tipo Ziploc®. Posteriormente se procedió con la limpia y separación de los descortezadores de otros grupos de insectos. La identificación de las especies del género *Dendroctonus* se realizó con la ayuda de las claves taxonómicas de Wood (1982) y Cibrián et al (1995), en el laboratorio de Ecología de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro.

2.4 Temperatura.

El monitoreo de la temperatura se realizó mediante recolectores de datos (EL-USB-2 RH/data logger de Micro DAQ®) durante abril 2015 a marzo 2016 los cuales tomaron una lectura cada 30 minutos, se colocaron en un árbol en cada sitio de muestreo entre cada par de trampas (Cuadro1). Los datos de temperatura predichos para el 2030 se estimaron por un escenario intermedio A1B de *Research on Forest Climate Change: Potential Effects of Global Warming on Forests and Plant Climate Relationships in Western North America and Mexico* (Crookston, 2010) (Cuadro 1). De cada punto seleccionado se estimaron las variables climáticas de temperatura media anual contemporáneos (1961-1991) y futuros 2030 A1B (modelo intermedio; A altas emisiones y B bajas emisiones carbono escenario) (Crookston, 2010 y 2014); dichos valores se calcularon de acuerdo a estimaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y posteriormente ajustando el modelo en ANUSPLINE (Sáenz-Romero et al., 2010; Crookston, 2010). Las variables climáticas se obtuvieron mediante el modelo climático “*thin plate spline*”, desarrollados 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, colectados de aproximadamente 4000 estaciones climatológicas en el Sur de Estados Unidos, México, Guatemala, Honduras y Cuba.

2.5 Análisis de datos.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con el paquete estadístico SAS (versión 9.3 de SAS *Institute*) para denotar diferencias significativas en la abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* y comparar entre medias. La regresión se realizó para observar la relación de variables temperatura-altitud.

Cuadro 1. Sitios de muestreo de las especies de *D. frontalis* y *D. mexicanus*, abundancia, temperaturas ocurridas entre los años 2015-2016 y estimación al año 2030.

Nom	Altitud (msnm)	Lat N	Long O	Abundancia		Temperatura promedio (°C)		Diferencia de temperatura (°C)
				<i>D.frontalis</i>	<i>D.mexicanus</i>	2015-2016	2030	
Lob 1	1589	99°07'25.6 0080"	21°17'51.7 9920"	14544	1634	18	21.4	3.4
Lob 2	1651	99°09'25.7 0000"	21°15'59.4 0000"	19897	3418	16.63	21.2	4.57
Mad 1	1670	99°07'23.4 9998"	21°17'51.1 0001"	9122	984	16.51	21.1	4.59
Mad 2	1716	99°08'55.6 0001"	21°16'54.5 9999"	38234	1244	16.89	21	4.11
Pin 1	2393	99°37'35.9 0000"	21°07'54.9 9998"	303	93	13.66	17.8	4.14
Pin 2	2468	99°38'00.1 0000"	21°07'48.2 9999"	274	146	12.79	17.5	4.71
Pin 3	2541	99°39'50.0 0000"	21°07'42.2 0000"	182	138	12.21	17.1	4.89
Pin 4	2610	99°40'29.2 0001"	21°07'18.0 0001"	296	187	13.06	16.7	3.64
Pin 5	2706	99°40'28.3 0001"	21°07'32.9 0002"	721	232	13.51	16.2	2.69
Pin 6	2790	99°40'39.2 0002"	21°07'31.1 9999"	709	167	12.54	15.7	3.16
Pin 7	2904	99°40'55.9 9999"	21°07'28.4 9999"	541	415	11.57	15.1	3.53
Pin 8	3058	99°41'36.2 0000"	21°09'42.1 9999"	312	67	10.77	14.2	3.43

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se estimaron diferencias significativas entre las abundancias a diferentes altitudes de *D. frontalis* (ANOVA: $N= 177$, $Gl= 11$, $F= 13.48$, $P= 0.0001$) y *D. mexicanus* (ANOVA: $N= 166$, $Gl= 11$, $F= 5.76$, $P=0.0001$), donde se observó que la mayor abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* está en altitudes entre los 1589 y 1716 msnm con abundancias totales de entre los 38,234 y 9,122 individuos para *D. frontalis* en comparación con *D. mexicanus* con abundancias totales entre los 984 a 1,634 individuos (Cuadro 1). Este gran número de individuos sugiere, un ataque masivo que generalmente terminan en la muerte del arbolado (Goodsman et al., 2016). Estas abundancias ocurrieron a temperaturas medias anuales registradas por los Data logger durante abril 2015 a marzo 2016 que oscilaron entre los 16.63 y 18 °C para el presente estudio; sin embargo en otros estudios se conoce que para *Dendroctonus ponderosae* la temperatura óptima es mayor a 15°C (Bentz et al., 2014). El análisis de las pruebas de medias Tukey se observan dos grupos; en el primero, las mayores abundancias al igual que las temperaturas mayores (16 y 18°C), presentan los mismos integrantes, esto ocurre en altitudes menores entre 1589 y 1716 msnm (Cuadro 2); en otros estudios se ha observado que la abundancia de descortezadores aumenta en menores altitudes (Tykarski, 2005). Las temperaturas medias anuales entre los 16 y 18 °C son promotoras de una mayor abundancia, esto es similar a lo observado en el género *Dendroctonus* (Six y Bracewell, 2015) y en *D. ponderosae* (Bentz et al., 2014). El segundo grupo en la prueba de medias de Tukey, presenta abundancias menores entre los 721 y 182 individuos para *D. frontalis*, mientras que para *D. mexicanus* se observó una abundancia entre los 223 y 67 individuos, esto ocurre en altitudes de 2393 a 3058 msnm donde ocurrieron temperaturas entre 12.79 y 10.77 °C coincidiendo los integrantes de ambos grupos (Cuadro 2). Lo anterior es evidencia que una menor abundancia *D. frontalis* y *D. mexicanus* es promovida por temperaturas medias anuales por debajo de los trece grados; se ha observado que la abundancia de *Dendroctonus* disminuye al presentarse temperaturas muy bajas (Ungerer et al., 1999; Logan y Powell, 2001 en Six y Bracewell, 2015).

Cuadro 2. Prueba de Tukey de abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* y temperaturas ocurridas entre 2015-2016 y estimadas al 2030 en un escenario A1B.

Procedencia	Nombre	Altitud (msnm)	<i>D.frontalis</i>		<i>D.mexicanus</i>		Temperatura (°C)	
			Media	Tukey	Media	Tukey	Tukey	Media
1	Lobo1	1589	692.6	B C	77.81	A B	A	15.9764
2	Lobo2	1651	904.4	B	155.36	A	A	15.9764
3	Madroño1	1670	396.6	B C	42.78	B	A	15.5844
4	Madroño2	1716	1737.9	A	56.55	A B	A	15.5682
5	Pingüica 1	2393	27.5	C	10.33	B	B	12.8394
6	Pingüica 2	2468	24.9	C	12.17	B	B C	11.9798
7	Pingüica 3	2541	14	C	12.55	B	B C	11.4654
8	Pingüica 4	2610	21.1	C	15.58	B	B	12.3614
9	Pingüica 5	2706	65.5	C	25.78	B	B	12.5421
10	Pingüica 6	2790	64.5	C	18.56	B	B C	10.8859
11	Pingüica 7	2904	45.1	C	37.73	B	B C	10.8859
12	Pingüica 8	3058	52	C	13.4	B	C	10.0421

Se estimó una relación positiva entre la temperatura media anual ocurrida en el periodo de abril 2015 a marzo 2016 respecto a la altitud ($r^2=0.5$, $p=0.0001$), donde a mayor altitud la temperatura media anual disminuye, lo mismo ocurre con la estimación al año 2030 escenario intermedio A1B, el cual tuvo una relación mucho más alta con la altitud. ($r^2=0.9974$, $p=0.0001$) (Figura 1). Comparando los datos de temperatura registrados por los Data logger y los estimados para el año 2030 se predice un aumento en la temperatura media anual en promedio de todos los sitios de 3.9°C , lo cual parece muy elevado, aunque en comparación con otros trabajos se ha estimado un aumento de la temperatura media anual de aproximadamente 1.5°C (Soto-Correa et al., 2012), en estudios similares se predice un

aumento en la temperatura de 1 a 5°C (Bentz et al., 2016) en diferentes escenarios, con el aumento en la temperatura se ha observado que favorece el aumento de descortezadores (Bentz y Jönson, 2015). Analizando un cambio menor dentro de los rangos de temperatura, el sitio donde ocurre el menor cambio al año 2030, el aumento de la temperatura es de 2.69°C, esto ocasionaría que en sitios a mayor elevación para el año 2030 ocurran temperaturas por encima de 16 °C en altitudes hasta 2700 msnm donde ahora se presentan temperaturas menores de 13°C correspondientes a menores abundancias de insectos descortezadores (Figura 1). Si se considera que las mayores abundancias están asociadas a temperaturas medias anuales por encima de los 16 °C, en el año 2030 con el aumento de temperatura se esperaría que la abundancia de *D. frontalis* y *D. mexicanus* aumente en sitios con elevaciones hasta los 2700 msnm donde hoy existe poca abundancia.

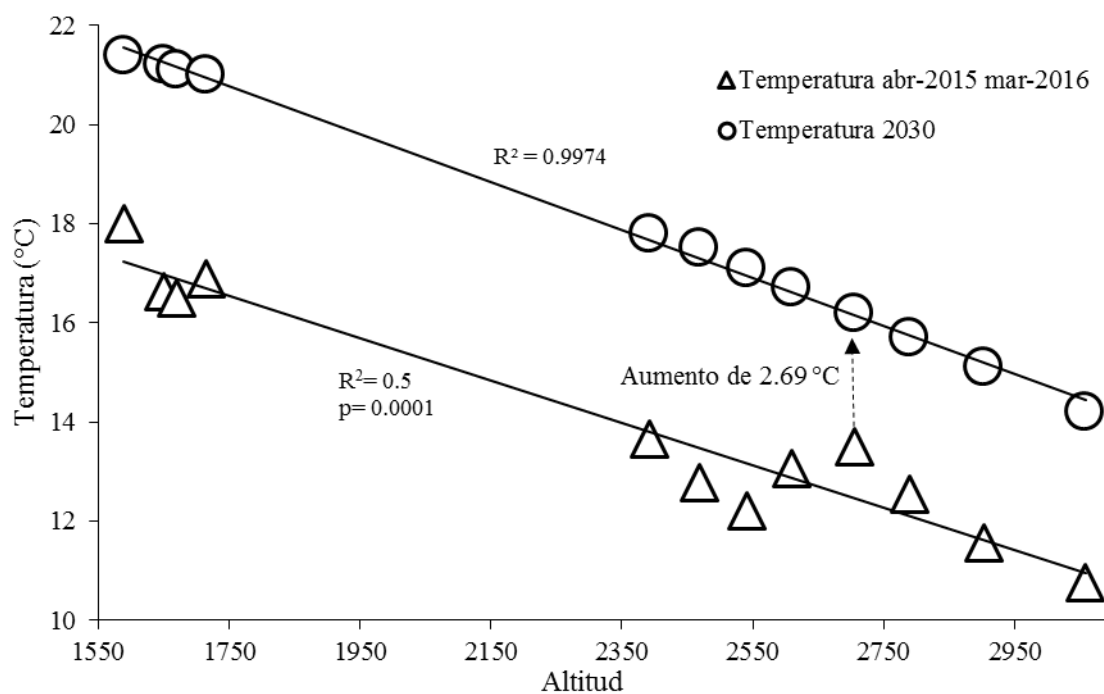


Fig. 1. Temperatura actual del periodo 2015 a 2016 y estimación de temperatura del escenario A1B al año 2030.

4. CONCLUSIÓN

El estudio demuestra que en el rango de distribución altitudinal, *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus mexicanus* presentan mayor abundancia en temperaturas mayores de 16 °C que ocurren a altitudes por debajo de los 1716 msnm y menores abundancias en temperaturas por debajo de 13 °C con altitudes superiores a 2393 msnm en la sierra gorda queretana. Las estimaciones de temperatura en escenario de cambio climático al 2030 muestran un aumento en promedio de 3.9°C en todos los sitios, se predice que temperaturas de 16°C ocurran en altitudes hasta los 2700 m y como consecuencia incremento de las poblaciones de *D. frontalis* y *D. mexicanus*.

5. LITERATURA CITADA

- Atkinson, T. H., & Equihua, A. (1986). Biology of the Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera) in a tropical deciduous forest at Chamela, Jalisco, Mexico. *Florida Entomologist*, 303-310.
- Bentz, B., & Jönsson, A. M. (2015). Modeling bark beetles response to climate change. *Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*, 533-553.
- Bentz, B., Vandygriff, J., Jensen, C., Coleman, T., Maloney, P., Smith, S., & Schen-Langenheim, G. (2014). Mountain pine beetle voltinism and life history characteristics across latitudinal and elevational gradients in the western United States. *Forest Science*, 60(3), 434-449.
- Bentz, B. J., Duncan, J. P., & Powell, J. A. (2016). Elevational shifts in thermal suitability for mountain pine beetle population growth in a changing climate. *Forestry*, 89(3), 271-283.
- Cibrián Tovar, D., Arango Caballero, L., & Tovar, D. C. (1995). *Insectos forestales de México* (No. SB764. M6, 15). Universidad Autónoma de Chapingo.
- Cibrián Tovar, D., Quiñonez, S. A., Morales, F., J., Ortiz, B. O., Bocanegra H., S., Torres, F. U., Santiago, G. E., Macías, S. H. J., Curiel, C. M., Cortés, E. E. (2014). Diagnóstico de situación actual y monitoreo de insectos descortezadores en los bosques templados de la reserva de la Biófera sierra Gorda (RBSG), Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Comisión Nacional forestal (CONAFOR) y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. México.
- CONAFOR. (2016). Alerta temprana y evaluación de riesgo para insectos descortezadores Diciembre 2016.
- Crookston, N. L. (2010). Research on Forest Climate Change: Potential effects of Global Warming on Forest and Plant Climate Relationship in Western North America and Mexico <http://forest.moscowsl.wsu.edu/climate/> (Consultado: Febrero 2017).
- García López, A., Micó, E., & galante, E. (2012). From lowlands to highlands: searching for elevational patterns of species richness and distribution of scarab beetles in Costa Rica. *Diversity and Distributions*, 18(6), 543-553.

- Goodsman, D. W., Koch, D., Whitehouse, C., Evenden, M. L., Cooke, B. J., & Lewis, M. A. (2016). Aggregation and a strong Allee effect in a cooperative outbreak insect. *Ecological Applications*, 26(8), 2621-2634.
- Krokene, P. (2015). Conifer defense and resistance to bark beetles. *Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*, 177-207.
- Logan, J. A., & Powell, J. A. (2001). Ghost forest, global warming, and the mountain pine beetles (Coleoptera; Scolytidae). *American Entomologist*, 47(3), 160.
- Lombardero, M. J., Ayres, M. P., Ayres, B. D., & Reeve, J. D. (2000). Cold tolerance of four species of bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *Environmental Entomology*, 29(3), 421-432.
- Macías Sámano, J. E., Domínguez A. N., López, J. C., y Mérida, R. A. (2004). *Monitoreo de descortezadores y sus depredadores mediante el uso de semioquímicos: Manual operativo*. Ecosur-Conafor.CONANP-USDA Forest Service. Tapachula, Chiapas, Méx. Pp. 11.
- Macías Sámano, J. E, Niño Domínguez, A. (2016). *Protocolo para monitoreo de descortezadores de coníferas mediante el uso de atrayentes y semioquímicos para México y Centroamérica*. Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. Pp.14.
- Ohmart, C. P. (1989). Why are there so few tree-killing bark beetles associated with angiosperms. *Oikos*, 242-245.
- Raffa, K. F., Gregoire, J. C., & Lindgren, B. S. (2015). Natural history and ecology of bark beetles. *Bark beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*, 1-40.
- Rubín Aguirre, A., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R., del Río Mora, A. A., Tena Morelos, C. A., Campos Bolaños, R., & del Val, E. (2015). Bark beetle pests in an altitudinal gradient of a Mexican managed forest. *Forest Ecology and Management*, 343, 73-79.
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Duval, P., St. Amant, R., Beaulieu, J., & Richardson, B. A. (2010). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates of Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climate Change*, 102(3), 595-623.

- Safranyik, L., Carrol, A. L., Régnière, J., Langor, D. W., Riel, W. G., Shore, T. L., & Taylor, S. W. (2010). Potential for range expansion of mountain pine beetle into the boreal forest of North America. *The Canadian Entomologist*, 142(5), 415-442.
- Salinas Moreno, Y., Vargas, M. C. F., Zúñiga, G., Víctor, J., Ager, A., & Hayes, J. L. (2010). Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. Instituto Politécnico Nacional, Comisión Nacional Forestal, México, DF. Pp. 31, 35.
- Six, D. L., & Bracewell, R. R. (2015). *Dendroctonus*. *Bark beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*, 305-350.
- Soto-Correa, J. C., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R., Sánchez Vargas, N., Cruz de León, J. (2012). Variación genética entre procedencias de *Lupinus elegans* Kunth, zonificación altitudinal y migración asistida. *Agrociencia*, 46(6), 593-608.
- Tykarski, P. (2006). Beetles associated with scolytids (Coleoptera: Scolytidae) and the elevational gradient: Diversity and dynamics of the community in the Tatra National Park, Poland. *Forest ecology and management*, 225(1), 146-159.
- Ungerer, M. J., Ayres, M. P., & Lombardero, M. J. (1999). Climate and the northern distribution limits of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Biogeography*, 26(6), 1133-1145.
- Wood, S. L. (1982). *The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph*.
- Williams, D. W., & Liebhold, A. M. (2002). Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 4(2), 87-99.
- Zacarías Eslava, Y., & Castillo, R. F. D. (2010). Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, (87), 13-28.
- Zylstra, K. E., Dodds, K. J., Francese, J. A., & Mastro, V. (2010). *Sirex noctilio* in North America: the effect of stem-injection timing on the attractiveness and suitability of trap trees. *Agricultural and Forest Entomology*, 12(3), 243-250.