

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Cantidad De Insectos Descortezadores De *Dendroctonus frontalis*, Presentes En Árboles De Fase II, En *Pinus oocarpa*, Seleccionados Para Ser Derribados En Un Programa De Saneamiento, En El Parque Nacional Lagunas De Montebello

Por:

FERNANDO VÁZQUEZ GORDILLO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Cantidad De Insectos Descortezadores De *Dendroctonus frontalis*, Presentes En Árboles De Fase II, En *Pinus oocarpa*, Seleccionados Para Ser Derribados En Un Programa De Saneamiento, En El Parque Nacional Lagunas De Montebello

Por:


FERNANDO VÁZQUEZ GORDILLO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Jorge David Flores Flores

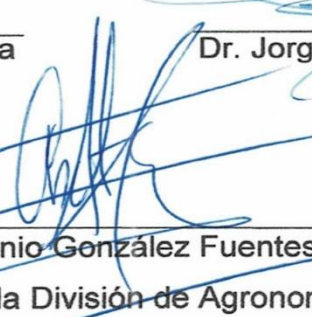
Asesor Principal


Dr. Genaro Esteban García Mosqueda

Coasesor


Dr. Jorge Méndez González

Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Fernando Vázquez Gordillo

DEDICATORIA

A mis padres Caralampio Vázquez Moreno y Cecilia Gordillo Méndez por todo el apoyo incondicional durante mis estudios, por creer en mí y por todo el esfuerzo para apoyarme en todo momento, por sus consejos y enseñanzas. Por motivarme a salir adelante a pesar de las adversidades y por todo su amor y cariño.

A mis hermanas por todo el apoyo que me brindaron, por poner su confianza en mí, sus consejos, por animarme y motivarme para alcanzar este logro.

AGRADECIMIENTOS

A dios, por darme salud y sabiduría para poder alcanzar mis metas.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad para formarme como profesional.

A todos los docentes de la Carrera Ingeniero Forestal, por sus enseñanzas, su amistad, su apoyo y por transmitir el conocimiento y las bases para formar profesionales de calidad.

Al M.C Jorge David Flores Flores por creer en mi para la realización de este trabajo y por el apoyo y dedicación para que fuese posible. Por mantenerme como una persona responsable.

Al Dr. Genaro Esteban García Mosqueda por todo el tiempo y apoyo en la revisión de este trabajo, por sus aportaciones, observaciones, los ajustes y correcciones del trabajo.

Al Dr. Jorge Méndez González por todo el tiempo y apoyo en la revisión de este trabajo, por sus aportaciones, observaciones y correcciones para concluir este trabajo.

A mis mejores amigos Adriana Gutiérrez, Álvaro Ambrosio, Gregorio Tirzo, José Francisco Argueta, José Richard Méndez, Juan Carlos Rincón, Uriel Gonzales por su amistad, su apoyo y aventuras compartidas.

A todos mis compañeros de carrera Catarino, Berteli, Filiberto, Francisco Javier, Gil, Hugo, Jacobo, José Rubén, Marco Antonio, María de Lourdes, Roberto Carlos, Seraias, Silverio, Víctor Manuel por su amistad y los buenos momentos compartidos.

Al personal del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Biól. Jesús Alejandro, Biól. José Antonio y al Biól. Jorge Eduardo por permitirme obtener los datos del estudio, su amistad y sus conocimientos.

A mis amigos Alondra, Ana Laura, Elena, Cesar, Gil por su amistad y todo lo que vivido durante la estancia en el PNLM.

A mi amigo Filiberto López Gordillo por su amistad y su ayuda durante la recolección de los datos de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE CUADROS | X |
| ÍNDICE DE FIGURAS | X |
| RESUMEN | XII |
| ABSTRACT | XIII |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Importancia del área de estudio | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 3 |
| 1.3 Objetivos..... | 4 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 4 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.4 Hipótesis..... | 4 |
| 1.4.1 Hipótesis Ho. | 4 |
| 1.4.2 Hipótesis Ha. | 4 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 5 |
| 2.1 Descripción del hospedero (<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl)..... | 5 |
| 2.1.1 Características botánicas de <i>Pinus oocarpa</i> | 6 |
| 2.1.2 Características ecológicas..... | 7 |
| 2.2 Descripción de <i>Dendroctonus frontalis</i> Zimmermann | 7 |
| 2.3 Clasificación taxonómica de <i>Dendroctonus frontalis</i> | 9 |
| 2.4 Morfología..... | 9 |
| 2.5 Ciclo biológico | 10 |
| 2.5.1 Etapa de huevo | 11 |
| 2.5.2 Etapa de larva | 11 |
| 2.5.3 Etapa de pupa | 12 |

| | |
|--|----|
| 2.5.4 Etapa adulta | 13 |
| 2.6 Número de generaciones al año..... | 14 |
| 2.7 Forma de ataque | 15 |
| 2.7.1 Fase de agregación | 17 |
| 2.7.2 Fase de apareamiento..... | 18 |
| 2.7.3 Fase puesta de huevo | 18 |
| 2.7.4 Reemergencia | 19 |
| 2.7.5 Emergencia, dispersión e hibernación..... | 20 |
| 2.8 Daños causados por <i>Dendroctonus frontalis</i> | 20 |
| 2.8.1 Fases de ataque | 22 |
| 2.9 Preferencia de ataque y distribución altitudinal | 23 |
| 2.10 Hospederos | 24 |
| 2.11 Vulnerabilidad del arbolado | 24 |
| 2.11.1 Calentamiento global y cambio climático..... | 24 |
| 2.11.2 Frontera agrícola | 25 |
| 2.11.3 Deforestación | 25 |
| 2.11.4 Heladas | 26 |
| 2.11.5 Disturbio crónico..... | 26 |
| 2.11.6 Composición y estructura del bosque..... | 26 |
| 2.11.7 Incendios forestales..... | 27 |
| 2.11.8 Forma del terreno | 27 |
| 2.12 Control de insectos descortezadores | 28 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 29 |
| 3.1 Descripción del área de estudio | 29 |
| 3.2 Características físicas..... | 30 |

| | |
|---|----|
| 3.3 Características biológicas..... | 31 |
| 3.4 Principales problemas que afectan la conservación del área de estudio | 31 |
| 3.5 Metodología para cuantificar insectos descortezadores | 33 |
| 3.5.1 Tamaño de muestra..... | 34 |
| 3.5.2 Selección de muestra utilizada en el estudio..... | 35 |
| 3.5.3 Datos tomados en cada árbol..... | 36 |
| 3.5.4 Cuantificación de larvas, pupas y adultos de <i>D. frontalis</i> | 36 |
| 3.6 Fórmula área lateral de un cilindro | 37 |
| 3.7 Correlación de <i>Pearson</i> | 39 |
| 3.8 Análisis estadístico | 39 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 41 |
| 4. 1 Tabla de resultados | 41 |
| 4.2 Figuras con relación al número de larvas, pupas y adultos de <i>D. frontalis</i> .. | 43 |
| 4.3 Correlación de <i>Pearson</i> | 46 |
| 4.4 Análisis de varianza..... | 48 |
| 4.5 Prueba de <i>Tukey</i> | 49 |
| 4.6 Prueba de <i>Duncan</i> | 50 |
| 4.7 Alternativa para el control de insectos descortezadores | 52 |
| 5. CONCLUSIONES | 55 |
| 6. RECOMENDACIONES | 56 |
| 7. LITERATURA CITADA..... | 57 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Síntomas causados por <i>Dendroctonus frontalis</i> | 22 |
| Cuadro 2. Distribución y coníferas asociado con <i>Dendroctonus frontalis</i> | 24 |
| Cuadro 3. Obtención de la cantidad de insectos descortezadores (<i>Dendroctonus frontalis</i>) | 38 |
| Cuadro 4. Número de insectos presentes en un árbol de <i>Pinus oocarpa</i> | 41 |
| Cuadro 5. Análisis de varianza (ANOVA ($p < 0.05$)) | 49 |
| Cuadro 6. Prueba de Tukey | 49 |
| Cuadro 7. Prueba de Duncan..... | 50 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. <i>Dendroctonus frontalis</i> (Morales, 2017). | 8 |
| Figura 2. Larvas de <i>Dendroctonus frontalis</i> | 12 |
| Figura 3. Pupas de <i>Dendroctonus frontalis</i> | 13 |
| Figura 4. Insecto Pre-adulto y Adulto de <i>Dendroctonus frontalis</i> | 14 |
| Figura 5. Defensa de <i>Pinus oocarpa</i> ante el ataque de <i>Dendroctonus frontalis</i> .. | 16 |
| Figura 6. Daños causados por <i>Dendroctonus frontalis</i> en los árboles, aparición de grumos de resina. | 21 |
| Figura 7. Polígono del Parque Nacional Lagunas de Montebello (CONANP, 2017). | 29 |
| Figura 8. Árboles muestreados en el área de estudio. | 33 |
| Figura 9. Obtención de las muestras de corteza. | 34 |
| Figura 10. Cantidad de insectos (<i>Dendroctonus frontalis</i>) por árbol..... | 43 |
| Figura 11. Número de larvas en cada sección del fuste..... | 44 |
| Figura 12. Número de pupas en cada sección del fuste. | 45 |
| Figura 13. Número de insectos adultos en cada sección del fuste..... | 46 |
| Figura 14. Matriz de correlación de Pearson..... | 46 |
| Figura 15. Valores de p. | 47 |

Figura 16. Correlación entre las variables diámetro (D), larvas, pupas y adultos de *Dendroctonus frontalis*. 48

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue cuantificar el número de insectos descortezadores *Dendroctonus frontalis* capaces de matar a un árbol de *Pinus oocarpa*.

Se muestrearon diez árboles de *Pinus oocarpa* en fase 2, cada árbol fue marcado con secciones de 0 a 1 m, de 1 a 2 m, de 2 a 4 m y de 4 a 6 m, de cada sección se extrajeron 4 muestras de corteza de 10 x 10 cm.

De cada muestra de corteza se cuantificó el número de larvas, pupas y adultos de *D. frontalis* presentes en cada sección del fuste. Se aplicó la fórmula del área lateral de un cilindro para obtener la superficie de cada sección del fuste.

Con los datos obtenidos, se realizó la prueba de Tukey y Duncan para determinar si el número de insectos presentes en el fuste de *Pinus oocarpa* variaba entre 0 y 6 metros de altura.

Se encontró un promedio de 4.173 insectos *D. frontalis* presentes en un árbol de *P. oocarpa* a una altura de 0 a 6 metros.

El número de larvas presentes en el fuste de *P. oocarpa* a una altura de 0 a 6 metros es de 2.579 larvas en promedio y es el número de larvas capaces de matar un árbol de *P. oocarpa*.

La sección del fuste más atacada y preferida por *D. frontalis* es la sección de 2 a 4 m de altura, seguida de la sección del fuste de 4 a 6 m de altura y la menos atacada es la sección de 0 a 1 m de altura.

Palabras clave: *Dendroctonus frontalis*, *Pinus oocarpa*, descortezadores, corteza interna.

ABSTRACT

The objective of this study was to quantify the number of bark-debarking insects *Dendroctonus frontalis* capable of killing a *Pinus oocarpa* tree.

Ten *Pinus oocarpa* trees in stage 2 were sampled, each tree was marked with sections from 0 to 1 m, from 1 to 2 m, from 2 to 4 m and from 4 to 6 m, four 10 x 10 cm bark samples were extracted from each section.

The number of larvae, pupae and adults of *D. frontalis* was quantified from each bark sample. The formula for the lateral area of a cylinder was applied to obtain the surface of each section of the trunk.

With the data obtained, the Tukey and Duncan test was carried out to determine if the number of insects present in the trunk of *Pinus oocarpa* varied between zero and six meters in height.

An average of 4,173 *D. frontalis* insects were found to be present on a *P. oocarpa* tree at a height of 0 to 6 meters.

The number of larvae present in the trunk of *P. oocarpa* at a height of 0 to 6 meters is 2,579 larvae on average and is the number of larvae capable of killing a *P. oocarpa* tree.

The trunk section most attacked and preferred by *D. frontalis* is the section from 2 to 4 m in height, followed by the trunk section from 4 to 6 m in height and the least attacked is the section from 0 to 1 m in height.

Key words: *Dendroctonus frontalis*, *Pinus oocarpa*, Bark beetle, inner bark.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del área de estudio

El Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM), representa uno de los escenarios más bellos a nivel nacional. El PNLM tiene un gran valor ecológico debido a sus funciones como vaso de captación de agua, regulador climático regional y corredor biológico. Los ecosistemas de bosques de pino, pino-encino, pino-encino-liquidámbar y mesófilo de montaña albergan una importante riqueza biológica, que incluye algunas especies protegidas. Estos ecosistemas proveen bienes y servicios tales como la absorción de gases invernadero, la conservación de suelos, el mantenimiento de los recursos hídricos, la producción de recursos forestales maderables y no maderables, y las estructuras de hábitat para una gran diversidad de flora y fauna (CONANP, 2007).

Por lo anterior es de gran importancia continuar conservando esta área natural protegida, para seguir aprovechando de los servicios ecosistémicos que nos ofrece, además de tener una belleza escénica inigualable, por sus lagos y lagunas con diferentes tonalidades en sus aguas, su bosque con una gran riqueza biológica y su importancia turística, ya que la mayoría de la población aledaña al parque depende de los servicios turísticos que ofrecen.

El Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM), cuenta con una superficie de 6,425 hectáreas (DOF, 1959); presenta formaciones vegetales de gran importancia, conformada por bosque de pino, pino-encino y bosque mesófilo de montaña. Cuenta con al menos 50 cuerpos lacustres de distintos tamaños, formas y profundidades que ocasionan una variedad de colores, son el principal atractivo turístico tanto nacionales y extranjeros (CONANP, 2007).

A pesar de ser un área con importancia ecológica y turística, los bosques del Parque Nacional Lagunas de Montebello se ven afectadas por diversas problemáticas, los incendios forestales, tala ilegal, extracción de plantas, cacería y plagas forestales; son algunos de los problemas que afectan al Parque Nacional Lagunas de Montebello.

Los insectos descortezadores del género *Dendroctonus* (*D. frontalis*) se han hecho presentes en los bosques de *Pinus oocarpa* dentro del PNLM, por lo que las masas de bosque disminuyen gradualmente, aunado causas naturales y antropogénicas contribuyen al deterioro del PNLM, los descortezadores de pino, son los que han ocasionado mayor daño por la pérdida gradual de los bosques desde los últimos años (CONANP, 2007).

En el Parque Nacional Lagunas de Montebello, el descortezador (*Dendroctonus frontalis*), afecta principalmente a las especies de *Pinus oocarpa* y *Pinus maximinoi* (Altuzar, 2002).

Los descortezadores de pino del género *Dendroctonus* favorece a los bosques, a la regeneración natural y la restauración del bosque matando a los árboles enfermos y debilitados por causas naturales o antropogénicas (Six & Bracewell, 2015).

El género *Dendroctonus* (*Dendroctonus frontalis*) afecta árboles individuales, en pequeños grupos o masas forestales de cientos de hectáreas (Billings *et al.*, 1996).

Dendroctonus frontalis es considerado un problema importante para los bosques de Montebello, ya que año tras año se vienen realizando labores de saneamiento por lo que el bosque se ha reducido conforme pasa el tiempo, Perusquía (1978) registro la especie *Dendroctonus mexicanus*, posteriormente, se registraron *D. adjunctus*, *D. valens* y *D. frontalis* en el PNLM.

1.2 Planteamiento del problema

El Parque Nacional Lagunas de Montebello cuenta con uno de los escenarios naturales más bellos a nivel nacional, con alta riqueza biológica y la belleza escénica que lo distingue, cuenta con diversas lagunas de diferentes tamaños y tonalidades (CONANP, 2007).

Por lo que es muy importante mantener los bosques de Montebello sanos y debido a que se conoce muy poco sobre la ecología y hábitos de *Dendroctonus frontalis* en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, este estudio va enfocado a cuantificar la cantidad de insectos descortezadores (*D frontalis*) que atacan a un árbol para causarle la muerte.

De acuerdo con los resultados, poder tomar mejores decisiones a la hora de llevar acabo un saneamiento forestal; es decir, dirigir las acciones de control y combate de plagas, hacia las Larvas de *D. frontalis* para interrumpir su ciclo biológico y evitar que esa cantidad de larvas llegue a la etapa adulta. Así mismo se determinó a que altura del fuste ataca o prefiere atacar *D. frontalis*.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Cuantificar la cantidad de insectos descortezadores de *Dendroctonus frontalis*, capaces de matar a un árbol de *Pinus oocarpa*.

1.3.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la cantidad de insectos (*Dendroctonus frontalis*) que atacan a un árbol de *Pinus oocarpa* para causarle la muerte.
- Cuantificar la cantidad de larvas, pupas y adultos de *Dendroctonus frontalis* presentes en el fuste de *Pinus oocarpa* a una altura de 0 a 6 metros.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis Ho.

- Para el ataque de *Dendroctonus frontalis*, el número de insectos presentes en el fuste de *Pinus oocarpa* no varía entre los cero y seis metros de altura.

1.4.2 Hipótesis Ha.

- Para el ataque de *Dendroctonus frontalis*, el número de insectos presentes en el fuste de *Pinus oocarpa* varía entre los cero y seis metros de altura.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción del hospedero (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl)

Pinus oocarpa fue identificada originalmente por el botánico alemán, Christian Julius Schiede en 1838. Es una conífera de madera dura de la subdivisión Oocarpae, crece de 13 a 35 metros de altura, con diámetros de 25 hasta 80 cm y la forma de la copa es generalmente redonda (Dvorak *et al.* 2000).

P. oocarpa es uno de los árboles conocidos en México y América Central, como pino ocote o simplemente ocote, otros nombres comunes son: pino prieto, pino colorado y pino avellano (Martínez, 1948; Flinta, 1960).

De acuerdo con Dvorak *et al.* (2000) el rango altitudinal para su óptimo desarrollo se encuentra entre los 1,200 a 1,800 msnm, sin embargo, *P. oocarpa* se pueden encontrar en altitudes que van de 200 a 2,500 msnm (Cabi, 2002).

P. oocarpa en México es de las especies que se distribuyen desde el Norte hasta el Sur del país (Martínez, 1992). Presenta una amplia distribución en las Sierra Madre Oriental y Occidental, así como al sur del Eje Neovolcánico. Está presente en todo el estado de Chiapas (Challenger, 1998). *P. oocarpa* tiene un importante valor económico en México como madera aserrada y material de combustible (Zamora, 1981).

Presenta una distribución desde el sur de Sonora en México hasta el norte de Nicaragua, comprende una longitud cerca de 3000 km (Dvorak *et al.* 2000)

Es un árbol pequeño de 10 a 13 m, sin embargo, crece hasta alcanzar de 20 a 35 metros de altura en áreas con mayor precipitación en el sur de México hasta Nicaragua (Robbins, 1983).

Las características botánicas de este pino fueron mencionadas por Shaw (1909).

2.1.1 Características botánicas de *Pinus oocarpa*

Las hojas se presentan aglomeradas en grupos de cinco, raras veces tres o cuatro, con una longitud de 1 hasta 30 cm, sin embargo, generalmente miden 22 a 25 cm, la sección trasversal es triangular presentando un color verde claro brillante. Las hojas son ásperas al tacto y los bordes ligeramente aserrados. Las hojas se encuentran unidas por una vaina persistente, de color oscuro de aproximadamente de 2 cm de longitud y escamas acuminadas (Shaw, 1909; Martínez, 1948; Molina, 1964).

Los conos son de color verdoso opaco, presentan una forma ovoide, son ligeramente cónicos. Miden de 4 a 12 cm de largo y de 4 a 7 cm de ancho, cuando se encuentran abiertos miden un máximo de 10 cm. Se encuentran unidos al árbol con un pedúnculo de 2 a 3 cm de largo, que permanece adherido al cono cuando se desprende del árbol y además los conos permanecen adheridos al árbol a veces por más de 2 años (Martínez, 1948; Molina, 1964).

Las semillas son pequeñas, alargadas, oscuras con una longitud de aproximadamente 7 mm, el ala de las semillas mide 8 mm (FAO, 1962).

Durante la edad madura los árboles tienen el fuste recto con una copa ancha y ramificada. La corteza es de color marrón, escamosas y con fisuras. Alcanza la altura de 20 a 25 metros y un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 40 a 60 cm (Loock, 1947; Prats-Llaurado, 1960; FAO, 1962).

2.1.2 Características ecológicas

Pinus oocarpa se encuentra a diferentes rangos de alturas sobre el nivel del mar, la altitud mínima registrada ha sido de 200 msnm en el estado de Chiapas, México y la altura máxima donde se ha encontrado este pino es de 2700 msnm (McWilliam, 1954).

En cuanto a temperatura se encuentra a diferentes rangos, de acuerdo a Cianciulli (1960), se encuentra de 16 a 24 °C, según Aung Din (1958) de 19 a 24 °C y de acuerdo a Flinta (1960) se encuentra en temperaturas de 10 a 21 °C.

Pinus oocarpa se distribuye de manera adecuada en zonas donde se presentan precipitaciones de entre 600 y 2200 mm, normalmente entre 800 y 2000 (Martínez, 1948; Flinta, 1960).

2.2 Descripción de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann

El gorgojo descortezador del pino también llamado escarabajo sureño de pino *Dendroctonus frontalis*, pertenece al Orden *Coleóptera*, Familia *Curculionidae* y Género *Dendroctonus*. Son de los insectos de gran importancia debido a los daños que ocasionan en los bosques del género *Pinus*. El género *Dendroctonus*, etimológicamente significa asesino de árboles o matador de árboles “*TreeKiller*”, que proviene del griego (Hernández, 2003):

Dendro = árbol, asociado a la palabra *Dendrología*, especies de árboles.

Cton = asesino

Los insectos descortezadores pertenecientes a la subfamilia *Scolytinae*, (*Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae*) son de los grupos de insectos de mayor importancia ecológica en los bosques de coníferas (López, 2007). En México se encuentran 11 especies de *Dendroctonus* (Cibrián *et al.*, 1995), los cuales causan

elevadas tasas de mortalidad en especies de *Pinus* y *Pseudotsuga* (Salinas-Moreno *et al.*, 2010).

Este insecto se extiende desde el sur de los Estados Unidos hasta Honduras y Nicaragua, encontrándose junto a otras especies de *Dendroctonus* e *Ips* de la familia *Scolytidae* (Hernández, 1975).

Dendroctonus frontalis es catalogado como uno de los insectos descortezadores más destructivos, ya que en condiciones epidémicas puede infestar a cientos de hectáreas de bosque, ataca matando arboles individuales o en pequeños grupos, pero si la población aumenta ataca infestando grandes cantidades de hectáreas (Hernández, 1975 & Billings, 1996). (Figura 1).



Figura 1. *Dendroctonus frontalis* (Morales, 2017).

D. frontalis es la plaga forestal más destructiva de los bosques del sureste de Estados Unidos (Clarke, 1995). Los brotes por el ataque de *D. frontalis* más destructivos dan lugar a la eliminación completa de árboles de pino a través de grandes regiones geográficas (Costanza *et al.*, 2012). Por lo anterior al aumentar las poblaciones de *D. frontalis*, atacan extensas áreas de bosque de coníferas, por lo que es uno de los principales factores de mortalidad de bosques en el Norte

América, México y algunos países de Centroamérica (Macías-Sámano *et al.*, 2004). Ya que provoca grandes consecuencias económicas en la industria de la madera local y regional, además de la estética del paisaje (Six & Bracewell, 2015).

2.3 Clasificación taxonómica de *Dendroctonus frontalis*

Reino: Animalia

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleóptera

Familia: Curculionidae

Género: *Dendroctonus*

Especie: *frontalis* Zimmermann.

Nombre común: descortezador de pino, escarabajo del pino meridional; escarabajo de corteza, descortezador suriano.

2.4 Morfología

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. valen*, con 7.3 mm de longitud (Wood, 1982). Su cuerpo es cilíndrico y robusto, los machos tienen en la parte frontal de la cabeza dos tubérculos prominentes (Núñez, 2001).

Presentan estrías longitudinales en los élitros y generalmente presentan una depresión en la parte terminal de los élitros, también llamada “declive elitral” (Cibrián *et al.*, 1995; Wood, 2007).

La cabeza se encuentra oculta en el pretorax; las antenas tienen forma de mazo y las tibias son dentadas. Con las tibias los insectos adultos perforan los árboles, formando una red de galerías entre la corteza y el cambium, la cual es característica de este insecto (Schwerdtfeger, 1955).

La cabeza es visible desde el dorso, los ojos son ovalados, la frente es convexa con dos elevaciones laterales en su porción media justo por debajo del nivel superior de los ojos, están separados por un surco, en la parte superior de cada elevación y en los márgenes dorsales medios del surco se encuentran dos gránulos prominentes. El pronoto presenta una superficie lisa, con puntuaciones laterales poco abundantes y poco profundas. El declive elitral con pendiente moderada, setas abundantes de dos tipos de tamaño: grandes y pequeñas (Cibrián *et al.*, 1995).

2.5 Ciclo biológico

El ciclo biológico de los insectos descortezadores de pino inicia cuando los insectos adultos emergen del árbol en busca de un nuevo hospedero; generalmente la hembra inicia la búsqueda de un árbol nuevo, una vez localizado el hospedero idóneo, barrena la corteza y emite feromonas de agregación (Coulson, 1979). Además, el ciclo de vida de los insectos descortezadores Coulson (1979) menciona que depende de su capacidad de vuelo y del hospedero ideal para iniciar su ciclo biológico. Cibrián *et al.*, (1995), determinaron que, en México, el ciclo de vida de *D. frontalis* tiene una duración de 43 a 70 días, sin embargo, Iñiguez (1999) determinó que el ciclo biológico de *D. frontalis* es de 43 y 60 días, mientras que Núñez (2001) determinó el ciclo de vida de *D. frontalis* en aproximadamente 30 a 70 días. Sin embargo, en promedio se tendría que el ciclo de vida de *Dendroctonus frontalis* tiene una duración de 39 a 67 días, por lo anterior los diferentes autores

determinaron el ciclo de vida de *Dendroctonus frontalis* en diferentes especies de pino, a diferentes altitud y condiciones climáticas, por lo que los resultados del ciclo de vida varían, además de que la temperatura influye en el ciclo de vida de los insectos descortezadores.

Los insectos descortezadores de pino son especies multivoltina, cuentan con una metamorfosis completa. La metamorfosis está conformada por las fases: huevo, larva, pupa y finalmente adultos (Payne, 1980).

El Ciclo Biológico de *Dendroctonus frontalis* es descrito de la siguiente manera (CATIE, 1991; Cibrián *et al.*, 1995; Núñez, 2001).

2.5.1 Etapa de huevo

Las hembras adultas depositan los huevos sobre ambos lados de las galerías construidas en la corteza interior en forma de “S” (Billings & Espino, 2005). Los huevos son de color blanco perla variando entre opaco y brillante, aproximadamente miden de 1.5 mm de largo por 1 mm de ancho. Tardan entre 3 a 11 días en eclosionar siempre y cuando se encuentren a una temperatura comprendida entre 15 a 30 grados centígrados, de lo contrario pueden durar hasta 34 días en eclosionar en caso de que la temperatura baje a los 10 grados centígrados. Payne (1980) menciona que los huevos eclosionan de 2 a 9 días después de haber sido puestos.

2.5.2 Etapa de larva

Las larvas son subcilíndricas y arrugadas sin patas y con tres segmentos torácicos y 10 segmentos abdominales, son principalmente de color blanco cremoso y presentan una forma curvada o forma de una C, con la cabeza prominente y mandíbulas bien desarrolladas (Figura 2).



Figura 2. Larvas de *Dendroctonus frontalis*.

Las larvas completamente desarrolladas miden entre 5 a 7 mm de largo, el estado larvario dura entre 15 a 40 días con un rango de temperatura que va desde los 15 a 25 grados centígrados y pasando por 4 instares.

Los dos primeros instares las larvas se alimentan de la región interna del floema, mientras en el tercer instar las larvas construyen una cámara de alimentación en la misma zona y en el cuarto instar las larvas se dirigen hacia la corteza externa donde hacen una cámara de pupación.

2.5.3 Etapa de pupa

Es esta etapa las pupas son de color blanco cremoso y ya presentan la forma de un adulto, pero con las patas y alas dobladas debajo del abdomen, lo cual hace que se espongan los segmentos en la parte dorsal y la cabeza presenta una ranura en la parte frontal (Figura 3).

Las pupas presentan un tamaño de 2.2 mm a 3.2 mm de largo y la duración de este estado de pupa es de 5 a 7 días en temperaturas que van de los 15 a 30 grados centígrados.



Figura 3. Pupas de *Dendroctonus frontalis*.

2.5.4 Etapa adulta

En esta etapa el proceso de maduración de las pupas continua hasta alcanzar el desarrollo próximo a adultos (Payne, 1980). La pupa madura se transforma en un adulto inexperto, el cual permanecerá en la celda pupal hasta que tengan el suficiente endurecimiento u oscurecimiento de la cutícula y durante todo este proceso el insecto sufre una serie de cambios en la coloración hasta obtener el color final que será negro o negro marrón (Payne, 1980).

En la etapa adulta los insectos pueden vivir aproximadamente por un mes. Cuando están recién emergidos su piel es suave sufriendo transformaciones de colores durante todo su desarrollo. El recién imago es de color blanco amarillento, posteriormente cambia de color café rojizo y finalmente se tornan de color café oscuro a casi negro (Figura 4).

Generalmente tienen una forma cilíndrica y robusta, con las partes bucales bien desarrolladas y presentando en la parte frontal dos tubérculos que son más prominentes en los machos. Las hembras se distinguen de los machos por poseer una estructura denominada Mycangium la cual es una estructura donde transportan las esporas del hongo *Ceratocystis minor*, la cual es la responsable de causar la mancha azul en la madera de los pinos.

Una vez llegada la madurez, los adultos emergen para ir en busca de otra planta hospedera (Hopkins, 1909).



Figura 4. Insecto Pre-adulto y Adulto de *Dendroctonus frontalis*.

2.6 Número de generaciones al año

Thatcher (1960) menciona que generalmente el número de generaciones al año de los insectos descortezadores de pinos, varía considerablemente dependiendo de las condiciones climáticas que se presente. Sin embargo, Núñez (2001) reporta que *Dendroctonus frontalis* presenta de 6 a 7 generaciones al año.

Si las condiciones del sitio para estos insectos descortezadores son favorables, pueden aumentar rápidamente, lo cual tendrían un rápido ciclo de vida de hasta 10 generaciones por año (Payne, 1980).

2.7 Forma de ataque

Los insectos descortezadores son especies monógamas, es decir; un macho y una hembra. La que inicia el daño en *Dendroctonus frontalis* es la hembra y no el macho (Piña, 1981; Coulson, 1990; CATIE, 1991; Cibrián D. *et al*, 1995; OIRSA, 2001 & Núñez, 2001).

El ataque inicial de los insectos descortezadores, comienza con la selección del hospedero, a estos escarabajos que inician el ataque a los árboles hospederos susceptibles, se les conoce como pioneros (Borden, 1974).

Este papel de los escarabajos pioneros es esencial, ya que son quienes deben establecer con éxito un punto focal para la próxima generación. Generalmente las hembras son quienes están a cargo de este papel ya que son quienes localizan a los árboles hospederos, sin la ayuda de ningún tipo de atrayentes (feromonas). Posteriormente los machos comienzan su papel después de que las hembras han seleccionado y atacado con éxito al árbol hospedero y comienza la atracción secundaria, la cual consiste en la liberación de feromonas. La hembra comienza a producir feromonas de agregación cuando entra en contacto con el árbol hospedero (Vité & Crozier, 1968).

En la primera fase de infestación, los insectos descortezadores deben superar la producción de resina del árbol hospedero, debido a que la resina producida por el árbol puede matar o empujar al insecto fuera del árbol (Figura 5).

Por lo anterior el insecto descortezador deberá trabajar para atravesar la resina, si este proceso no es exitoso la supervivencia del insecto no es probable (Bunt *et al.*, 1980).



Figura 5. Defensa de *Pinus oocarpa* ante el ataque de *Dendroctonus frontalis*.

Sin embargo, es primordial ingresar rápidamente al árbol hospedero ya que de esta manera disminuye la habilidad del mismo para producir más resina.

Los árboles que están sometidos a estrés como resultado de una alta densidad, a enfermedades, rayos, sequias, incendios, son más susceptibles a que no puedan defenderse exitosamente ante los ataques de insectos descortezadores (Lorio & Bennett, 1974).

En cuanto comienza la colonización el árbol emite compuestos volátiles (kairomonas), lo cual hace que hembras tanto como machos, se vean atraídos hacia el árbol colonizado (Wood, 1986; Macías-Sámamo *et al.*, 2004). Los insectos descortezadores de pino del género *Dendroctonus* han desarrollado sofisticadas estrategias para poder atacar en masa y debilitar arboles sanos. Una de estas principales estrategias es su compleja capacidad de comunicación a través de feromonas (Wood, 1982).

Las poblaciones de *D. frontalis* se comunica entre si a través de feromonas que emiten llamadas frontalin (Billings, 2001).

Billings *et al.*, (2014) mencionan que estas feromonas liberadas combinadas con el olor a resina de los árboles atraen a miles de insectos descortezadores, que se concentran en atacar hasta debilitar el sistema de defensa del árbol.

Además, debido al ataque de los insectos descortezadores y a las feromonas de agregación, se promueve que en el área se formen diferentes estados de colonización en los hospederos (Macías-Sámano *et al.*, 2004).

La colonización por parte de los insectos descortezadores consta de una serie de fases descritas a continuación.

2.7.1 Fase de agregación

Esta fase de agregación los insectos descortezadores pioneros han seleccionado a un árbol hospedero susceptible, comienza la atracción secundaria, como resultado otros insectos descortezadores comienzan a agregarse al árbol hospedero. Esta fase del ciclo de vida del insecto es de gran importancia ya que con el número suficiente de insectos descortezadores y durante un periodo de tiempo corto, es suficiente para superar la defensa natural del árbol. Sin embargo, son pocas las probabilidades que un solo insecto descortezador pueda colonizar a un árbol hospedero con éxito ya que la resina del árbol ejercerá presión sobre el insecto, lo cual lo mantendría fuera del árbol. Pero con muchos insectos descortezadores atacando un mismo árbol hospedero, provocará que el árbol se debilite más pronto, lo cual hará que la colonización de los insectos descortezadores sea exitosa (Payne, 1980).

Paine *et al.* (1997) menciona que los ataques masivos generalmente alcanzan su máximo efecto entre dos o tres días después del ataque inicial y el ataque en sí mismo en aproximadamente cinco días. Siendo muy rápida la colonización del hospedero, por lo que en semanas el árbol ya estará totalmente muerto.

2.7.2 Fase de apareamiento

La cópula se lleva a cabo en la galería construida por la hembra en la corteza interna, una vez que la hembra ha copulado en la cámara nupcial comienza a construir galerías serpenteadas en forma de “S” de aproximadamente 10 a 24 cm de largo y carece de ramificaciones (Piña, 1981; Coulson, 1990; CATIE, 1991; Cibrián *et al*, 1995; OIRSA, 2001; Núñez, 2001).

En esta fase el apareamiento se lleva a cabo en la cámara nupcial, la cual se encuentra ubicada muy cerca del orificio de entrada al árbol hospedero (Payne, 1980).

Y en cuanto la hembra se una con el macho, comienza la construcción de las galerías debajo de la corteza, en donde se desarrollará la progenie (Wood, 1986; Macías-Sámano *et al.*, 2004).

Los machos conservan y limpian la cámara nupcial y el túnel de entrada sacando el aserrín por el hueco de entrada, la cual tapa o cierra nuevamente (Piña, 1981; Coulson, 1990; CATIE, 1991; Cibrián *et al*, 1995; OIRSA, 2001; Núñez, 2001).

2.7.3 Fase puesta de huevo

En esta fase después del apareamiento, la hembra construye galerías en forma de “S” cercano al cambium vascular, será el lugar donde las hembras depositaran los huevos (Payne, 1980). Fronk (1947) menciona que después de haber construido de 2 a 3 cm de galerías, la hembra comienza a preparar el nicho para depositar sus huevos, se deposita un solo huevo por nicho y lo tapa con una mezcla de aserrín. Una hembra es capaz de poner 100 huevos en tres arboles diferentes, es decir; ponen aproximadamente 30 huevos por árbol, la hembra es la responsable del cuidado de los huevos y larvas, cuando en el árbol existe un flujo de resina excesivo,

la hembra construye galerías adicionales para controlarlo (Piña, 1981; Coulson, 1990; CATIE, 1991; Cibrián *et al*, 1995; OIRSA, 2001; Núñez, 2001).

2.7.4 Reemergencia

En esta fase de reemergencia los insectos descortezadores reemergen del árbol en dos formas.

Forma 1: los insectos descortezadores padres vuelven a salir después de excavar con éxito las galerías y de poner los huevos.

Forma 2: la segunda reemergencia es la de la progenie una vez que alcanza la fase adulta.

Si las condiciones ambientales son favorables, la entrada y reemergencia de los insectos descortezadores adultos ocurre durante un periodo de tiempo de 14 días y la progenie emerge en 28 días (Coulson *et al.*, 1979).

De acuerdo al tiempo en que un insecto descortezador adulto logra entrar en el árbol hospedero durante la fase de agregación, el proceso de reemergencia continuara durante los próximos 16 a 20 días. Los insectos descortezadores adultos padres que han dejado al árbol hospedero, significa que su papel en el proceso de colonización ha terminado. Pero estos insectos descortezadores a pesar de haber salido del árbol hospedero continúan con un papel importante en el ciclo de infestación, ya que continúan siendo capaces de percibir las feromonas liberadas por las hembras para atacar un nuevo árbol hospedero, continua la producción de feromonas, apareamiento y puesta de huevos (Cooper & Stephen, 1978).

2.7.5 Emergencia, dispersión e hibernación

Cuando los insectos descortezadores adultos ya están totalmente desarrollados, comienzan a construir un orificio de salida a través de la corteza exterior. Sin embargo, si las condiciones del medio ambiente no son las óptimas para el insecto descortezador o adecuadas, el insecto adulto puede permanecer debajo de la corteza durante algún tiempo. Generalmente el que los insectos descortezadores permanezcan debajo de la corteza exterior está asociada con las bajas temperaturas del medio ambiente (Kinn, 1978).

Las condiciones ambientales afectan principalmente la dispersión de los insectos descortezadores ya que durante el invierno cuando se presentan bajas temperaturas, los insectos emergentes no pueden dispersarse a otros árboles hospederos, lo que da lugar a que vuelvan a atacar al mismo árbol hospedero (Thatcher & Pickard, 1964).

Los insectos emergen del árbol hospedero, los adultos nuevos vuelan en búsqueda de un árbol sano para que sirva como hospedero. Los insectos adultos solamente sobreviven unos pocos días fuera del árbol (Billings & Espino, 2005).

2.8 Daños causados por *Dendroctonus frontalis*

El ataque de *Dendroctonus frontalis* provoca una respuesta del árbol que se ve inmediatamente, se observan cambios de coloración en el follaje y resinación del árbol. Generalmente los daños causados por *D. frontalis* en los árboles son los grumos de resina que se acumulan en los orificios de entrada al desprender la corteza se observan túneles y galerías en forma de serpentina (forma de "S"). Existe presencia de aserrín fino de color rojizo que se acumula alrededor de la base del árbol, en las hojas de las plantas y en telarañas (Piña, 1981; Coulson, 1990; CATIE, 1991; Cibrián *et al.*, 1995; OIRSA, 2001; Núñez, 2001). (Figura 6).

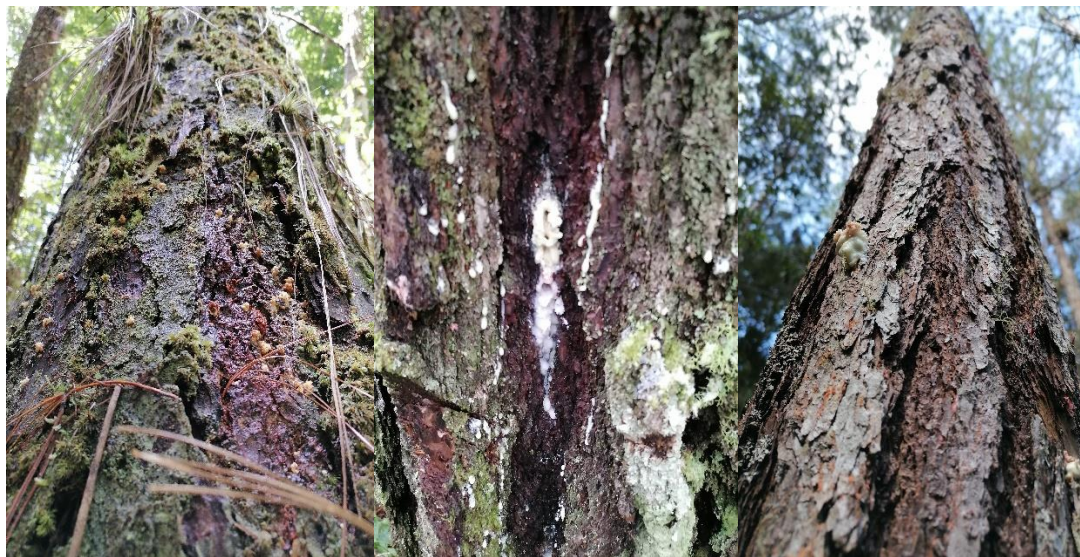


Figura 6. Daños causados por *Dendroctonus frontalis* en los árboles, aparición de grumos de resina.

Otros signos de estos insectos descortezadores (*Dendroctonus frontalis*) es la presencia del cambio de coloración del follaje del árbol de amarillento a rojizo o marrón y finalmente el desprendimiento de las acículas causándole la muerte al árbol. Por otro lado, también se presenta el ataque del hongo *Ceratocystis minor*, que es la responsable de la mancha azul de la madera lo cual reduce su valor comercial (Coulson, 1990; Billings, 1990; 1996).

Si los insectos descortezadores no logran penetrar la madera, logran introducir el hongo (*Ceratocystis minor*) que reduce rápidamente la comercialización de la madera en los árboles atacados (Billings *et al.*, 2014). Ya que estos insectos tienen la capacidad de asociación con hongos mutualistas y fitopatógenos (Paine *et al.*, 1997).

Los insectos introducen hongos manchadores de la madera que contribuyen de manera importante a la muerte del árbol, la cual ocurre en pocos días, esto permite que las infestaciones del arbolado plagado puedan ser muy grandes, de más de 10 hectáreas.

2.8.1 Fases de ataque

Durante la primera fase de infestación por insectos descortezadores el árbol hospedero presenta una coloración verde limón en el follaje, le aparecen grumos de color blanco a rosado rojizo, que salen de los orificios de entrada de los insectos descortezadores, estos grumos son suaves o cremosos durante esta primera fase de infestación (Cuadro 1).

En la segunda fase la coloración del follaje se torna amarillenta o rojiza y los grumos de resina se presentan de color blanco y son duros (Cuadro 1).

En la fase tres las larvas han madurado y emergen los adultos, el follaje del árbol se encuentra totalmente de un color rojizo a marrón y los grumos de resina son duros y de color amarillento (Macías-Sámamo *et al.*, 2004). (Cuadro 1).

Cuadro 1. Síntomas causados por *Dendroctonus frontalis*

| Síntoma | Fase 1 Ataque reciente | Fase 2 Cría en desarrollo | Fase 3 Árbol abandonado |
|--------------------|--|---|---|
| Follaje | Aparentemente normal (color verde) | El follaje puede ser verde en la mayoría de árboles con crías en desarrollo, pero puede tornarse amarillo o rojizo antes de que una nueva generación emerja del árbol hospedero | Rojizo y las acículas pueden empezar a caer |
| Grumos de resina | Suaves y blancos o ligeramente rosados a rojizos | Blancos y duros | Duros y amarillos |
| Corteza | Permanece firme y difícil de quitar del tronco | Suelta o fácil de separar del tronco | Muy suelta y fácilmente separada del tronco |
| Color de la madera | Blanca | Café claro con secciones azules | Café oscuro a negra |

| | | | |
|--------------------|---------|---|--|
| Agujeros de salida | Ninguno | Perforaciones de salida en el tronco del árbol, aserrín en pequeñas o moderadas cantidades en la base del árbol | Numerosos con aserrín abundante en la base del árbol |
|--------------------|---------|---|--|

Fuente: Billings *et al.*, 1990

El escarabajo descortezador ataca de forma masiva a través de la corteza del árbol. Su comportamiento gregario debilita y mata al organismo hospedero a medida que se multiplica. Se mueve de un individuo al vecino más cercano, de modo que las poblaciones puedan crecer rápidamente y afectar a miles de árboles en pocas semanas (Hall & Davies, 1968).

Cuando la población de *Dendroctonus frontalis* es baja (fase endémica) solo atacan a los árboles enfermos y debilitados, sin embargo, cuando es muy elevada (fase epidémica) atacan árboles sanos de 5 hasta 100 cm de diámetro (Piña, 1981; Coulson, 1990; CATIE, 1991; Cibrián *et al.*, 1995; OIRSA, 2001; Núñez, 2001).

Por otro parte los árboles más susceptibles son los árboles dañados por incendios y resinación excesiva, así como también aquellos árboles que se encuentran en sobre densidad, en sitios de baja productividad y aquellos árboles sobre maduros (Cibrián *et al.*, 1995).

2.9 Preferencia de ataque y distribución altitudinal

Un estudio demuestra que el rango de distribución altitudinal en la Sierra Gorda queretana, *Dendroctonus frontalis* presenta mayor abundancia en temperaturas mayores de 16 °C que ocurren a altitudes por debajo de los 1,716 msnm y menores abundancias en temperaturas por debajo de 13 °C con altitudes superiores a 2,393 msnm (Morales *et al.*, 2018).

La distribución altitudinal de *D. frontalis* en México ocurre a lo largo de las principales cadenas montañosas (Hain *et al.*, 2011), con un rango altitudinal preferentemente que va de 1500 a 2000 msnm (Salinas-Moreno *et al.*, 2010). (Cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución y coníferas asociado con *Dendroctonus frontalis*

| Especie | Descripción de la especie | Altitud de Influencia | Especie de Pino atacada |
|--|--|-----------------------------|---|
| <i>Dendroctonus frontalis</i> Zimmerman | Longitud promedio 3.5mm. 2.4 veces más larga que ancha de color café rojizo a casi negro. Inocula el hongo <i>Ceratocystis minor</i> . | De los 1500 a los 2000 msnm | <i>P. caribaea</i> <i>P. maximinoii</i> , <i>P. oocarpa</i> |

Fuente: Castañeda 2002b, Hernández 2003.

2.10 Hospederos

La FAO (2009), publicó que el descortezador *Dendroctonus frontalis* ataca principalmente a las especies de la familia Pinaceae, en particular del género *Pinus*: *P. arizonica*, *P. durangensis*, *P. greggi*, *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *P. pringlei*, *P. tecunumanni* y *P. teocote*.

Sin embargo, sus principales hospederos en Centroamérica son *Pinus oocarpa*, *P. maximinoiii* y *P. caribea* (Piña, 1981; Coulson, 1990; CATIE, 1991; Cibrián *et al.*, 1995; OIRSA, 2001; Núñez, 2001). (Cuadro 2).

2.11 Vulnerabilidad del arbolado

2.11.1 Calentamiento global y cambio climático

El cambio climático hace referencia al aumento gradual observado o previsto de la temperatura mundial en la superficie, como consecuencia de emisiones antropogénicas, mientras el cambio climático es una variación del estado del clima,

que puede deberse a procesos internos naturales o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmosfera (IPCC, 2007).

Con el cambio climático aumenta la temperatura lo que provoca un descenso de la disponibilidad hídrica; la sequía y las olas de calor conllevan a un aumento de la vulnerabilidad de los ecosistemas (IPCC, 2007).

Las sequias prolongadas son factores que influyen en el rápido desarrollo de las poblaciones de *D. frontalis* (González, 2018).

2.11.2 Frontera agrícola

Actualmente el avance de la frontera agrícola y de otras actividades humanas, propician el debilitamiento de los árboles por los incendios y extracción de productos forestales sin planes de manejo. Se ha demostrado que los impactos al bosque hacen más propensos a los árboles a ser infestados por insectos descortezadores, los cuales pueden causar pérdidas económicas y ambientales considerables (Barrios *et al.*, 2020).

2.11.3 Deforestación

La deforestación se ha convertido en la principal causa de pérdida de biodiversidad del planeta y es considerada como uno de los problemas ambientales de mayor importancia económica y social (Silva, 2012).

En México la pérdida de los bosques se debe a la conversión del bosque a tierras agrícolas o a pastizales para el pastoreo por razones de subsistencia o comerciales (FAO, 2006).

2.11.4 Heladas

Las heladas son disturbios que en los bosques templados se presentan con un periodo de retorno de uno a tres años, generalmente son de baja severidad (Silva, 2012).

Los bosques templados presentan adaptaciones a condiciones extremas de bajas temperaturas. Sin embargo, heladas extremas pueden reducir la capacidad fotosintética del arbolado y producir un estrés hídrico en los árboles (Silva, 2012).

2.11.5 Disturbio crónico

El disturbio crónico es un tipo de perturbación cotidiana que afecta al ambiente manteniéndose en el tiempo y espacio (Pickett & White, 1985); consiste en remover sistemáticamente pequeñas fracciones de biomasa, generalmente leña, forraje, materiales para la construcción y otros productos no maderables (Silva, 2012).

2.11.6 Composición y estructura del bosque

Los cambios en la composición y estructura del bosque por procesos naturales y prácticas de manejo aumentan la competencia entre los árboles por agua, nutrientes y espacio; lo cual, incrementa la susceptibilidad al ataque de insectos descortezadores (Fettig *et al.*, 2007).

Aunque también la densidad, el área basal, el índice de densidad y el diámetro del árbol son factores asociados al ataque de insectos descortezadores (Carroll *et al.*, 2004; Negrón & Popp, 2004).

Benet (1968), menciona que altas densidades ocasiona que los árboles pierdan vigor y sean vulnerables al ataque de insectos descortezadores.

Klepzig *et al.*, (1991) y Reid & Robb, (1999), mencionan que las infestaciones por insectos descortezadores están asociadas con masas forestales que están estresadas o moribundas por lo que estos árboles tienen menor vigor y debilitados los mecanismos de defensa.

2.11.7 Incendios forestales

Los incendios forestales son capaces de debilitar a los árboles e inclusive matarlos hasta quedar cenizas. Por lo que los árboles afectados por los incendios forestales se debilitan y su sistema de defensa no resiste al ataque de insectos descortezadores (Billings *et al.*, 2014).

2.11.8 Forma del terreno

Los árboles que crecen en las cimas de las montañas son muy propensos al estrés por sequías durante periodos secos. Por lo que el estrés parece ser una característica clave para la preferencia de los insectos descortezadores para atacar a los árboles que se encuentran en tierras altas y en tierras bajas con diferentes formas de relieve (González, 2018).

Por lo anterior estas condiciones hacen a los árboles y al bosque más vulnerables al ataque de insectos descortezadores, debido a que los árboles quedan debilitados y estresados por causas naturales y antropogénicas, por lo cual los árboles más débiles propician la liberación de la feromona alfa-pineno lo que atrae a los insectos descortezadores.

Aunado la vulnerabilidad de los árboles para ser atacados por insectos descortezadores también se debe a los daños mecánicos provocados en los árboles y a que el bosque este sobre maduró.

2.12 Control de insectos descortezadores

Actualmente para controlar las infestaciones por *Dendroctonus frontalis* y otros descortezadores del género *Dendroctonus*, se siguen los lineamientos establecidos en la NOM-019-SEMARNAT-2017, que establece los lineamientos técnicos para la prevención, combate y control de insectos descortezadores.

Estos lineamientos van dirigidos a acciones mecánicas, y se aplican cuando el arbolado ya está en una fase de ataque que ya no es posible recuperarse, por lo que el árbol debe ser derribado. Díaz *et al.*, (2006) mencionan que tradicionalmente para controlar las infestaciones por insectos descortezadores, se han utilizado técnicas silvícolas que incluyen el derribo de árboles infestados y no infestados.

En Norteamérica y Europa se han desarrollado métodos alternativos de control y manejo de insectos descortezadores usando semioquímicos (Islas, 1974; Nord *et al.*, 1990; Strom *et al.*, 2001; Strom *et al.*, 2004).

Para atraer especies del género *Dendroctonus* usualmente se combina una o varias feromonas de atracción con uno o varios compuestos volátiles del hospedero (Díaz *et al.*, 2006). La frontalina en combinación con el alfapineno, atrae a *D. frontalis* y se usa para el monitoreo de esta especie en los EE. UU (Billings, 2003; Turchin & Odendaal, 1996).

Diferentes estudios usando semioquímicos han encontrado que feromonas y compuestos volátiles de árboles pueden interrumpir el ataque de los insectos descortezadores. La verbenona, su función natural es desviar a otros insectos descortezadores cuando el hospedero ya ha sido colonizado (Hunt *et al.*, 1989), es uno de los productos más promisorios (Payne & Billings, 1989; Salom *et al.*, 1992; Strom *et al.*, 1999; Gillette *et al.*, 2001).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

Este estudio se llevó a cabo dentro del polígono del Parque Nacional Lagunas de Montebello y en las oficinas del Parque Nacional, la cual tiene como función de centro operativo donde se coordinan y se llevan a cabo las diferentes actividades como conservación, restauración, sanidad forestal, prevención y control de incendios forestales, manejo del área de uso público, protección y vigilancia comunitaria. El Parque Nacional Lagunas de Montebello se encuentra Localizado en la región Sur-Sureste del Estado de Chiapas, en la frontera con Guatemala, el Parque Nacional Lagunas de Montebello, cuenta con una superficie de 6,425 ha y abarca parte de los Municipios La Independencia y La Trinitaria, a este último pertenece el 95% de la superficie del Parque Nacional Lagunas de Montebello (DOF, 16 de diciembre de 1959). Sus coordenadas geográficas son 16° 04' 40" y 16° 10' 20" Latitud Norte y 91° 37' 40" y 91° 47' 40" Longitud Oeste (CONANP, 2007). (Figura 7).

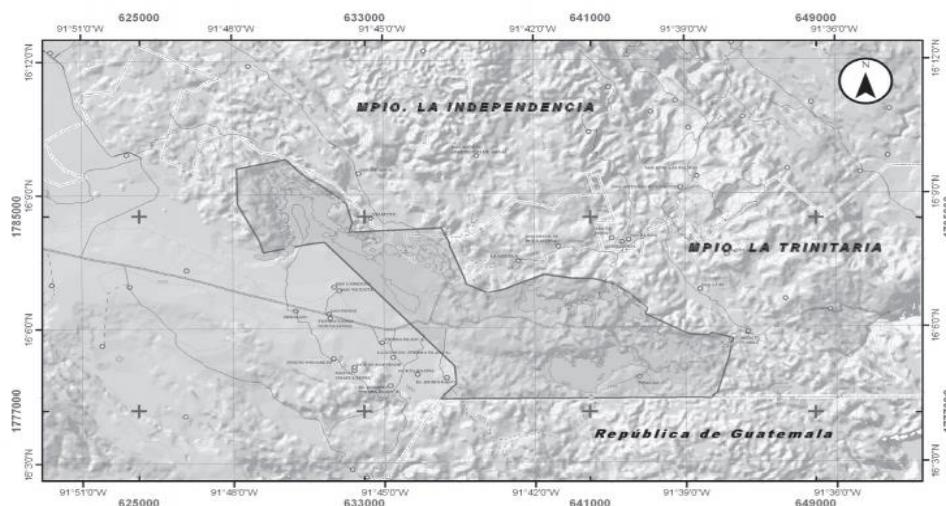


Figura 7. Polígono del Parque Nacional Lagunas de Montebello (CONANP, 2017).

3.2 Características físicas

Fisiografía: El Parque Nacional Lagunas de Montebello se encuentra ubicado entre la región fisiográfica de la Altiplanicie de Chiapas y la Planicie Costera del Golfo, que a su vez forma parte de la provincia fisiográfica Sierras de Chiapas y Guatemala (CONANP, 2007). La fisiografía está conformada por pequeños sumideros hasta grandes fosas con perfiles cóncavos, además existen grandes grutas con dimensiones variadas.

El Parque Nacional Lagunas de Montebello tiene una altitud de 1500 msnm (INEGI, 1982, 2000).

Hidrología: Dentro del Parque Nacional Lagunas de Montebello se encuentran diversos lagos con diferentes profundidades lo cual resalta diversas tonalidades del agua, constituyen un complejo lacustre de origen cárstico, que se extiende por territorio mexicano y guatemalteco (CONANP, 2007). La alimentación de estas aguas lacustres es principalmente subterránea (Vásquez & Méndez, 1994).

Comprende la Región Hidrológica Nacional No. 30 Grijalva-Usumacinta y forma parte de la subcuenca del Río Grande de Comitán con 545 km², que a su vez es parte de la cuenca del Río Lacantún (INEGI, 1988).

Geología: Principalmente materiales de origen marino, lo cual durante un largo periodo la región estuvo ocupada por mares someros, con depósito de organismos y materiales sedimentarios que al consolidarse formaron rocas calizas (CONANP, 2007).

Edafología: En el Parque Nacional Lagunas de Montebello se encuentran principalmente los siguientes tipos de suelos: Litosoles, Rendzinas, Vertisoles, Acrisoles, Fluvisoles y Gleysoles (Vásquez & Méndez, 1994; INEGI, 2000).

Clima: En el Parque Nacional Lagunas de Montebello el clima predominante es tipo C(fm) templado húmedo con lluvias todo el año y en el extremo Noroeste A(cm) cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (García, 1981).

En la temporada de lluvia, la precipitación va de 1200 a 1400 mm, con 90 a 119 días de lluvia, el mes más húmedo es septiembre (INEGI, 1984).

3.3 Características biológicas

Vegetación: La vegetación que predomina en el área de estudio es el bosque de clima templado. Dentro de las cuales se presentan principales asociaciones vegetales: bosque de coníferas, bosque de latifoliadas, bosque mesófilo de montaña, vegetación riparia, vegetación secundaria y zonas de cultivo (Serie II INEGI, 2000; Inventario Forestal Nacional, 2000-2001).

El bosque de coníferas es de las comunidades vegetales más importantes en el área de estudio. La especie de *Pinus* que más predomina es *Pinus oocarpa* que se distribuye en el Centro y Noreste del área de estudio en terrenos someros y con precipitaciones de 1200 mm. Y sobre las áreas más húmedas se distribuye *Pinus maximinoi* (CONANP, 2007).

3.4 Principales problemas que afectan la conservación del área de estudio

El Parque Nacional Lagunas de Montebello se ve afectado por el cambio de uso de suelo al cambiar la vocación forestal a uso agrícola, el incremento de los incendios forestales derivado de las quemas agrícolas, la aparición de plagas forestales (CONANP, 2007).

En el PNLM el principal problema es con los dueños de los terrenos, que fueron afectados por la creación del parque sin su respectiva indemnización, lo cual genera descontento social y falta de respeto a los lineamientos que rigen al área protegida.

La administración del parque nacional no tiene el control de alrededor de la mitad oriental que fue declarado Parque Natural Ejidal por los habitantes de Tzisco, dentro de sus terrenos ejidales. En dicha zona no se permite la injerencia de los vigilantes IMEP, 1994).

El Ejido Hidalgo tiene invadido el parque nacional en su porción noroeste y tampoco admite la posibilidad de abandonar dichos terrenos, con alrededor de 300 hectáreas. El Ejido Ojo de Agua, en el centro-norte, invadió el parque nacional en su parte norte, alrededor de 100 hectáreas. La zona noroeste está ocupada por pequeños propietarios, denominada San Lorenzo (IMEP, 1994).

Lo cual es un problema para el caso de realizar saneamiento en estas áreas invadidas por ejidatarios ya que no se nos permite acceder al sitio sin una autorización por parte de la comunidad, lo que representa un gran problema porque mientras más días pasen para realizar el saneamiento es posible que cuando se realice el saneamiento en estas áreas, la plaga ya se encuentre afectando a otros árboles cercanos, lo cual hace difícil mantener controlada la población de *Dendroctonus frontalis*.

La falta de cultura ambiental de las comunidades aledañas, las actividades turísticas dejan contaminación de residuos sólidos sobre el suelo y los cuerpos de agua, la cacería y la pesca descontrolada, afectan la conservación de la biodiversidad del área de estudio, así como también la extracción de plantas y la tala ilegal de árboles para utilizar la madera de autoconsumo, la construcción de viviendas y la venta de la madera, la utilización de productos químicos en la agricultura en todas las comunidades en la zona de influencia del parque, lo cual provoca la contaminación del suelo y agua (CONANP, 2007).

3.5 Metodología para cuantificar insectos descortezadores

Los datos se recolectaron de un saneamiento que se realizó en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, donde una brigada de sanidad forestal ya había realizado los monitoreos para identificar las áreas afectadas y se contaba con la Autorización por parte de la SEMARNAT para llevar a cabo el saneamiento en dichas áreas (Figura 8).

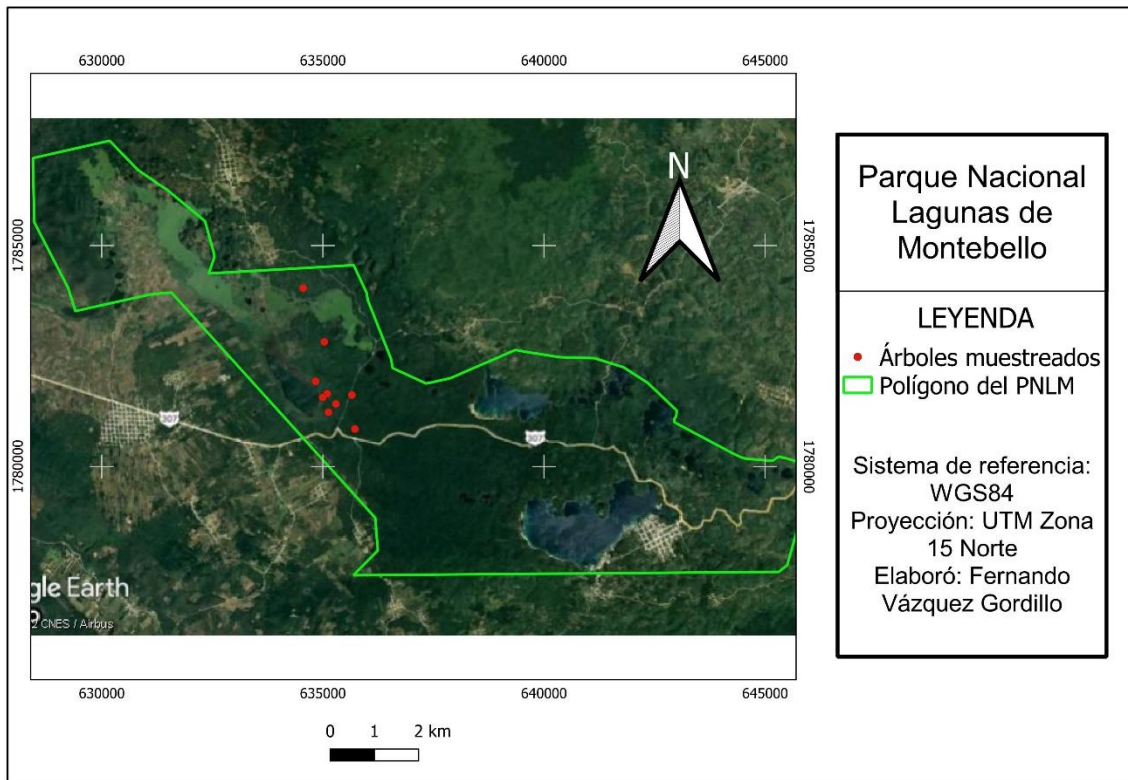


Figura 8. Árboles muestreados en el área de estudio.

Se derribaron los árboles marcados y se obtuvieron 4 muestras de 10 x 10 cm para cada sección del fuste del árbol (0 a 1 m, de 1 a 2 m, de 2 a 4 m y 4 a 6), simulando que se extrajeran del lado norte, sur, este y oeste del árbol.

En total fueron 16 muestras de corteza por árbol, es decir; 4 muestras para cada sección del fuste, cubriendo los 4 lados del árbol (norte, sur, este y oeste).

Con ayuda de machetes o hachas se realizan cortes en el fuste del árbol, tratando de formar un cuadrado (10x10 cm) y con la punta del machete se levanta cuidadosamente esa sección de la corteza procurando que todos los insectos se queden en la corteza.

Si el tamaño de la corteza que se extrae es de mayor dimensión, se sobrepone un cuadrado de alambre galvanizado de 10 x 10 cm, para cuantificar los insectos descortezadores (larvas, pupas y adultos) solo en esa región de 10 x 10 cm (Figura 9).



Figura 9. Obtención de las muestras de corteza.

Obtenidas las muestras se procedió a realizar el conteo de los insectos, con ayuda de una pinza pequeña se van extrayendo de las muestras larvas, pupas y adultos de *D. frontalis* y se colocan en un frasco con alcohol al 70%, se anota en el formato la cantidad de larvas, pupas y adultos que se encuentra en cada sección del árbol.

3.5.1 Tamaño de muestra

Para este estudio se extrajo el 10% del total de árboles que serían derribados durante una autorización de saneamiento en el PNLM; es decir, se obtuvieron muestras de 10 árboles de 100 árboles que se derribaron. Esto debido a que el conteo de los insectos demora tiempo y para no atrasar los trabajos de saneamiento

ya que se da cierto periodo de tiempo para terminar con los trabajos de saneamiento y emitir el informe final de saneamiento a la CONAFOR.

Esta metodología para obtener las muestras de 10 x 10 cm, se utiliza generalmente para realizar muestreos y colectas de insectos descortezadores, con el fin de identificarlos en laboratorios.

Para la cuantificación de insectos descortezadores generalmente se utiliza las trampas cebadas con feromonas.

Otros autores han utilizado esta metodología para la colecta de insectos descortezadores, Sánchez (2003) utilizó esta metodología para obtener muestras de corteza de 10 x 10 cm a una altura de 1.30 m de cinco especies de *Pinus* con síntomas de ataque por descortezadores, se colectaron adultos e imagos en frascos con alcohol al 70%, los cuales fueron trasladados al laboratorio del Campo Experimental Saltillo para su determinación taxonómica.

3.5.2 Selección de muestra utilizada en el estudio

Con todos los sitios georreferenciados, personal del Parque en conjunto con la brigada de sanidad forestal se accedió a cada uno de los sitios donde se llevó a cabo el saneamiento de los árboles marcados para ser derribados.

Se obtuvieron las muestras de los árboles considerando que la especie fuera *Pinus oocarpa* ya que es la más afectada y que se encontrara en fase 2, debido a que los árboles en esta fase están más atacados por *D. frontalis*.

En la fase 2, se encuentra la mayor cantidad de larvas, pupas y adultos. Durante la fase 1, apenas comienza la colonización del hospedero por lo que no es factible obtener las muestras en estos árboles que apenas está iniciando la infestación.

En la fase 3 el arbolado ya se encuentra muerto y presenta los orificios de salida de los insectos adultos. Por lo que los árboles en fase 2 son más representativos para cuantificar el número de larvas, pupas y adultos de *D. frontalis*.

3.5.3 Datos tomados en cada árbol

Antes de ser derribado el árbol se tomó las coordenadas geográficas del árbol con el GPS, el paraje en que se encontraba el árbol, el diámetro a la altura del pecho con una cintra diamétrica, la altura y la especie; con esta información se llenó el formato “toma de datos de una investigación sobre el ataque de insectos descortezadores” para después procesar los datos en gabinete.

Posterior a esto se llevó a cabo el derribo del árbol, una vez derribado el árbol se le hace la aplicación del químico, mediante aspersion o fumigación; se debe realizar con una sustancia registrada ante la autoridad competente.

Se realiza el asperjado de la corteza, trozas y ramas con Deltametrina en una dosis de 12.5 gramos de ingrediente activo por cada 100 litros de agua.

La aplicación del insecticida se debe realizar inmediata al derribo del arbolado, esto en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2017. Esto se realiza para evitar que los insectos adultos de *Dendroctonus frontalis* pudieran volar hacia otros árboles cercanos.

3.5.4 Cuantificación de larvas, pupas y adultos de *D. frontalis*

Para poder cuantificar el total de los insectos en cada una de sus fases del ciclo de vida, se requirió obtener la superficie en cm² de cada sección del fuste, por lo que se decidió utilizar la fórmula del área lateral de un cilindro.

Para obtener el área lateral de la sección del fuste, se decidió utilizar esta fórmula debido a su fácil manejo, entendimiento y además de que esta fórmula nos permitiría determinar el área en cada sección del fuste.

3.6 Fórmula área lateral de un cilindro

$$Al = 2\pi r * h$$

Donde:

Al = Área lateral de un cilindro (cm²)

r = Radio del diámetro promedio por árbol (cm)

h = Altura (cm)

$\pi = 3.14$

Un cilindro se compone de una cara lateral y dos bases, la cara lateral tiene forma de un rectángulo, al desarrollar el cilindro en una figura plana se conforma de un rectángulo y dos círculos, uno en la parte superior izquierda y otro en la parte inferior derecha.

Por lo que en este caso solo nos interesa obtener el área de la cara lateral del cilindro, para poder determinar la base del rectángulo aplicamos la fórmula ($2\pi r$) y para obtener el área de un rectángulo ($b \times h$), por lo tanto, se multiplica la base del rectángulo por la altura, por lo que la fórmula nos queda ($2\pi r * h$) y nos daría como resultado el área lateral del cilindro en centímetros cuadrados (cm²) (Lappan & Flores, 2000).

Simulando que el fuste del árbol es un cilindro, se tomó un diámetro promedio en cada árbol, para obtener el radio.

Posteriormente aplicamos la fórmula en cada segmento del árbol (0 a 1, 1 a 2, 2 a 4, 4 a 6 metros), una vez que obtenemos la superficie total en cm², se procedió a dividir el resultado entre 400 cm² que representa el área de las 4 muestras de 10 x 10 cm.

El resultado de esta división es la cantidad de muestras que caben en la superficie de esa sección del fuste, por lo que posteriormente solo queda multiplicar la cantidad de larvas, pupas y adultos por esa cantidad y de esta manera obtenemos el total de insectos para esa sección del fuste; esto se realiza para cada sección del fuste en cada árbol como se observa en el (Cuadro 3).

Esta metodología se propuso durante la realización de este trabajo, de fórmula del área lateral de un cilindro, se obtuvo la superficie en cm² de cada segmento del fuste y al dividirlo entre la superficie del área de muestreo, obtenemos como resultado la cantidad de veces que cabe el área de muestreo en el área lateral de la sección del fuste y de esta manera obtener el número de insectos de *D. frontalis* para cada sección del fuste de *P. oocarpa*.

Cuadro 3. Obtención de la cantidad de insectos descortezadores (*Dendroctonus frontalis*)

| Número de árbol | Medidas Dasométricas | | | <i>Pinus oocarpa</i> | <i>D. frontalis</i> No. de: | | | No. de veces que cabe el área de muestreo en el área lateral de la sección del fuste | <i>D. frontalis</i> No. de: | | |
|-----------------|----------------------|----|-----|----------------------|-----------------------------|-------|---------|--|-----------------------------|-------|---------|
| | H | D | DC | | Larvas | Pupas | Adultos | | Larvas | Pupas | Adultos |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 25 | 44 | 8.3 | X | 10 | 3 | 2 | 35 | 345 | 104 | 69 |
| 1 a 2 m | | | | | 6 | 7 | 4 | | 207 | 242 | 138 |
| 2 a 4 m | | | | | 19 | 1 | 6 | 69 | 1313 | 69 | 414 |
| 4 a 6 m | | | | | 12 | 4 | 4 | | 806 | 253 | 276 |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 18 | 22 | 4.5 | X | 8 | 2 | 6 | 17 | 138 | 35 | 104 |
| 1 a 2 m | | | | | 7 | 3 | 4 | | 121 | 52 | 69 |
| 2 a 4 m | | | | | 15 | 6 | 9 | 35 | 518 | 207 | 311 |

| | | | | | | | | | | |
|---------|--|--|--|----|---|---|--|-----|-----|-----|
| 4 a 6 m | | | | 10 | 4 | 6 | | 345 | 127 | 219 |
|---------|--|--|--|----|---|---|--|-----|-----|-----|

Donde: altura (H) en m, diámetro (D) en cm, diámetro de copa (DC) en cm.

En la última columna podemos observar la cantidad de larvas, pupas y adultos que están presentes en cada sección del árbol, una vez que aplicamos la fórmula para obtener el área lateral de un cilindro.

3.7 Correlación de *Pearson*

Se realizó una correlación entre las variables diámetro, número de larvas, pupas y adultos.

Para poder determinar si el diámetro influye en la cantidad de insectos encontrados, se esperaría que, a mayor diámetro, mayor sea el número de insectos.

Esta correlación se realizó en el programa de RStudio versión 4.2.1 y la utilización de la librería “Radiant” ya que de esta manera podríamos observar la matriz de correlación, así como los valores del p values al 95% de confiabilidad y las gráficas donde se presenta la distribución de los datos con los valores de la correlación.

La correlación de Pearson toma valores de -1 a +1.

3.8 Análisis estadístico

Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) (Steel & Torrie, 1980), para determinar diferencias estadísticamente significativas entre el número de insectos encontrados en cada sección del fuste del árbol.

Para establecer las relaciones de igualdad entre las secciones del fuste se hicieron las pruebas de comparación de medias de Tukey al 5% de significancia ($\alpha=0.05$). Esto para poder determinar las diferencias significativas que existen entre los tratamientos; los tratamientos son las secciones del fuste (0 a 1, 1 a 2, 2 a 4 y 4 a 6

metros) y las repeticiones el número de árboles, y en base a los resultados determinar la sección del fuste más atacada por *D. frontalis*. La prueba de Tukey nos ayuda a conocer donde se encuentran esas diferencias ($p \leq 0.05$).

Se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable aleatoria j -ésima observación del i -ésimo tratamiento.

$i = 1, 2, 3 \dots t$.

$j = 1, 2, 3 \dots n$.

μ = Media general.

T_i = Efecto del tratamiento i -ésimo.

ε_{ij} = Error experimental.

T = Número de tratamientos.

n = Número de repeticiones.

Este análisis se realizó en el programa de RStudio versión 4.2.1, mediante un script que contienen los comandos y las librerías para correr estos análisis estadísticos.

Muchos autores recomiendan los procedimientos de comparaciones múltiples de Tukey y Duncan ya que son ampliamente usados en investigación y están descritos en numerosos libros de metodología estadística, (Miller, 1966). Ramírez & Castillo (1985) recomiendan a Tukey por su simplicidad y por disponer de límites de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. 1 Tabla de resultados

Una vez llenado la tabla, tenemos como resultado la cantidad de larvas, pupas y adultos que están presentes en un árbol (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de insectos presentes en un árbol de *Pinus oocarpa*

| Número de árbol | Medidas Dasométricas | | | <i>Pinus oocarpa</i> | <i>D. frontalis</i> No. de: | | | No. de veces que cabe el área de muestreo en el área lateral de la sección del fuste | <i>D. frontalis</i> No. de: | | |
|-----------------|----------------------|----|-----|----------------------|-----------------------------|-------|---------|--|-----------------------------|-------|---------|
| | H | D | DC | | Larvas | Pupas | Adultos | | Larvas | Pupas | Adultos |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 25 | 44 | 8.3 | X | 10 | 3 | 2 | 35 | 345 | 104 | 69 |
| 1 a 2 m | | | | | 6 | 7 | 4 | | 207 | 242 | 138 |
| 2 a 4 m | | | | | 19 | 1 | 6 | 69 | 1313 | 69 | 414 |
| 4 a 6 m | | | | | 12 | 4 | 4 | | 806 | 253 | 276 |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 18 | 22 | 4.5 | X | 8 | 2 | 6 | 17 | 138 | 35 | 104 |
| 1 a 2 m | | | | | 7 | 3 | 4 | | 121 | 52 | 69 |
| 2 a 4 m | | | | | 15 | 6 | 9 | 35 | 518 | 207 | 311 |
| 4 a 6 m | | | | | 10 | 4 | 6 | | 345 | 127 | 219 |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 25 | 50 | 10 | X | 23 | 2 | 2 | 39 | 903 | 79 | 79 |
| 1 a 2 m | | | | | 5 | 5 | 4 | | 196 | 196 | 157 |
| 2 a 4 m | | | | | 10 | 1 | 3 | 79 | 785 | 79 | 236 |
| 4 a 6 m | | | | | 13 | 3 | 3 | | 994 | 209 | 236 |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 19 | 45 | 6.7 | X | 35 | 10 | 7 | 35 | 1236 | 353 | 247 |
| 1 a 2 m | | | | | 32 | 8 | 4 | | 1130 | 283 | 141 |
| 2 a 4 m | | | | | 24 | 5 | 10 | 71 | 1696 | 353 | 0 |

| | | | | | | | | | | | |
|--------------|----|----|-----|---|------------|------------|------------|----|--------------|-------------|-------------|
| 4 a 6 m | | | | | 30 | 8 | 7 | | 2143 | 542 | 495 |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 20 | 57 | 9.5 | X | 4 | 6 | 4 | 45 | 179 | 268 | 184 |
| 1 a 2 m | | | | | 9 | 4 | 4 | | 403 | 174 | 184 |
| 2 a 4 m | | | | | 15 | 3 | 7 | 89 | 1342 | 259 | 656 |
| 4 a 6 m | | | | | 9 | 4 | 5 | | 835 | 381 | 464 |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 25 | 40 | 7.4 | X | 12 | 3 | 11 | 31 | 377 | 94 | 345 |
| 1 a 2 m | | | | | 4 | 7 | 3 | | 126 | 220 | 94 |
| 2 a 4 m | | | | | 3 | 2 | 5 | 63 | 188 | 126 | 314 |
| 4 a 6 m | | | | | 6 | 4 | 6 | | 398 | 251 | 398 |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 11 | 25 | 5.8 | X | 33 | 24 | 2 | 20 | 648 | 471 | 39 |
| 1 a 2 m | | | | | 28 | 1 | 1 | | 550 | 20 | 20 |
| 2 a 4 m | | | | | 34 | 2 | 5 | 39 | 1335 | 79 | 196 |
| 4 a 6 m | | | | | 32 | 9 | 3 | | 1243 | 353 | 105 |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 10 | 20 | 4.2 | X | 22 | 5 | 2 | 16 | 345 | 79 | 31 |
| 1 a 2 m | | | | | 8 | 2 | 7 | | 126 | 31 | 110 |
| 2 a 4 m | | | | | 25 | 3 | 16 | 31 | 785 | 94 | 502 |
| 4 a 6 m | | | | | 18 | 3 | 8 | | 576 | 105 | 262 |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 30 | 33 | 6.9 | X | 8 | 3 | 3 | 26 | 207 | 78 | 78 |
| 1 a 2 m | | | | | 6 | 1 | 2 | | 155 | 26 | 52 |
| 2 a 4 m | | | | | 15 | 2 | 8 | 52 | 777 | 104 | 414 |
| 4 a 6 m | | | | | 10 | 2 | 4 | | 501 | 104 | 225 |
| 10 | | | | | | | | | | | |
| 0 a 1 m | 20 | 26 | 6.3 | X | 10 | 2 | 2 | 20 | 204 | 41 | 41 |
| 1 a 2 m | | | | | 5 | 1 | 8 | | 102 | 20 | 163 |
| 2 a 4 m | | | | | 24 | 4 | 4 | 41 | 980 | 163 | 163 |
| 4 a 6 m | | | | | 13 | 2 | 5 | | 531 | 95 | 190 |
| TOTAL | | | | | 612 | 170 | 207 | | 25789 | 6816 | 9128 |

Donde: altura (H) en m, diámetro (D) en cm, diámetro de copa (DC) en cm.

Como se puede observar la cantidad de larvas estimadas, que está presente en 1 árbol a una altura de 0 a 6 metros en *Pinus oocarpa* es de 2,579 larvas en promedio, lo cual es una cantidad bastante elevada de larvas capaces de matar al árbol.

Se estimaron 682 pupas en promedio por árbol, este número es menor al de las larvas debido a que muchas de las larvas aún no han pasado a la etapa de pupa, sin embargo, en cuanto al número de adultos estimados de 913 en promedio por árbol, puede explicarse a que muchas de las pupas ya están en la fase adulta y pre-adulta por lo que esta cantidad es mayor. También se debe a que muchos insectos adultos de *D. frontalis* son los padres y aún no han emergido del árbol.

Por lo tanto, se tiene en promedio por árbol la cantidad de 4,173 insectos de *Dendroctonus frontalis* tomando en cuenta larvas, pupas y adultos, presentes a una altura de entre 0 a 6 metros.

4.2 Figuras con relación al número de larvas, pupas y adultos de *D. frontalis*

También se determinó la cantidad de larvas, pupas y adultos de *D. frontalis* en cada árbol muestreado (Figura 10).

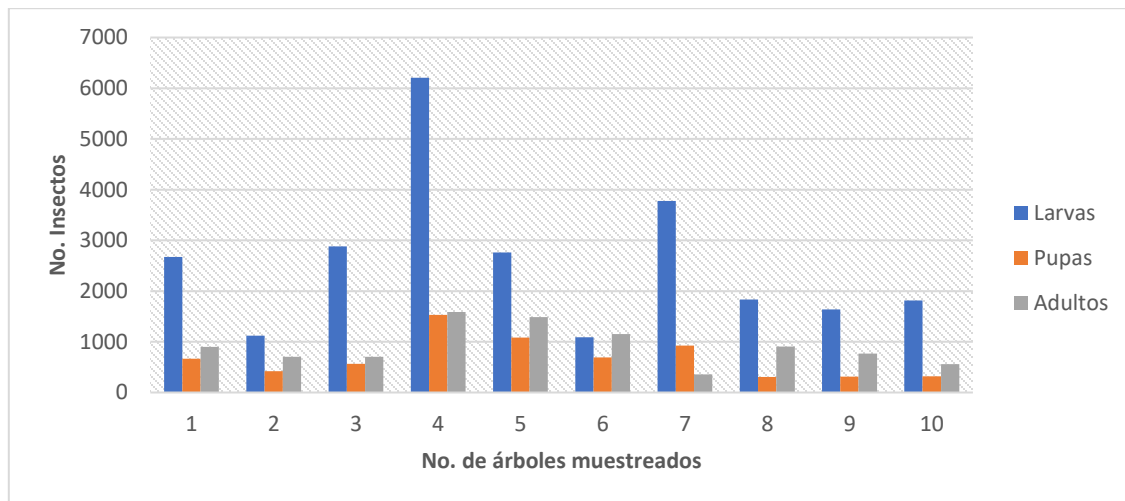


Figura 10. Cantidad de insectos (*Dendroctonus frontalis*) por árbol.

Se observa que el árbol más infestado fue el árbol número 4 con aproximadamente 6,205 larvas, 1,531 pupas y 1,590 adultos. El árbol menos infestado fue el árbol número 2 con apenas 1000 larvas, y aproximadamente 400

pupas y 700 adultos. En todos los árboles es mayor el número de larvas que están presentes.

Por otra parte, también se determinó a que altura de la sección del fuste se presenta la mayor cantidad de larvas de *Dendroctonus frontalis* en *Pinus oocarpa* (Figura 11).

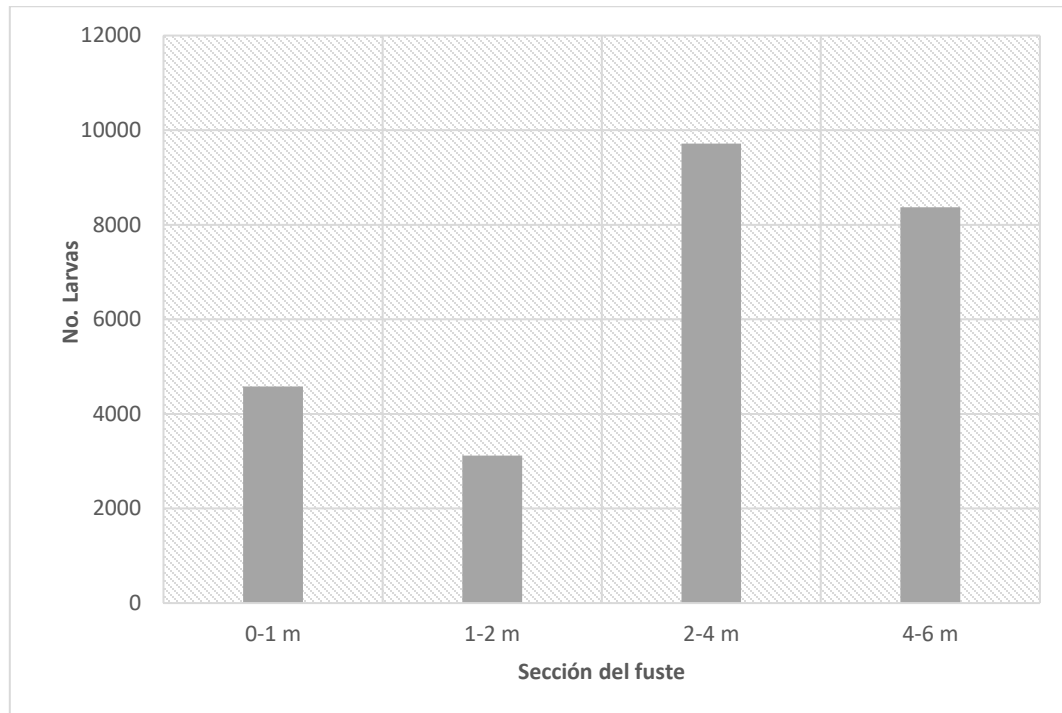


Figura 11. Número de larvas en cada sección del fuste.

En esta figura (Figura 11), está representada la sección del fuste con el número de larvas presentes, la sección del fuste más atacada por las larvas de *D. frontalis* es de 2 a 4 metros seguido por la sección de 4 a 6 metros. Mientras que la sección de 1 a 2 metros es la menos atacada por las larvas de *D. frontalis*.

De igual manera podemos ver gráficamente (Figura 12) la sección del fuste donde se concentra la mayor cantidad de pupas.

En la figura (Figura 12) se determinó que las pupas de *D. frontalis* están mayormente concentradas en la sección del fuste que va de 4 a 6 metros, con

alrededor de 2,400 pupas. Mientras que de 1 a 2 metros se encuentran menos de 1,200 pupas y es la sección del fuste donde se concentra la menor cantidad de pupas de *D. frontalis*.

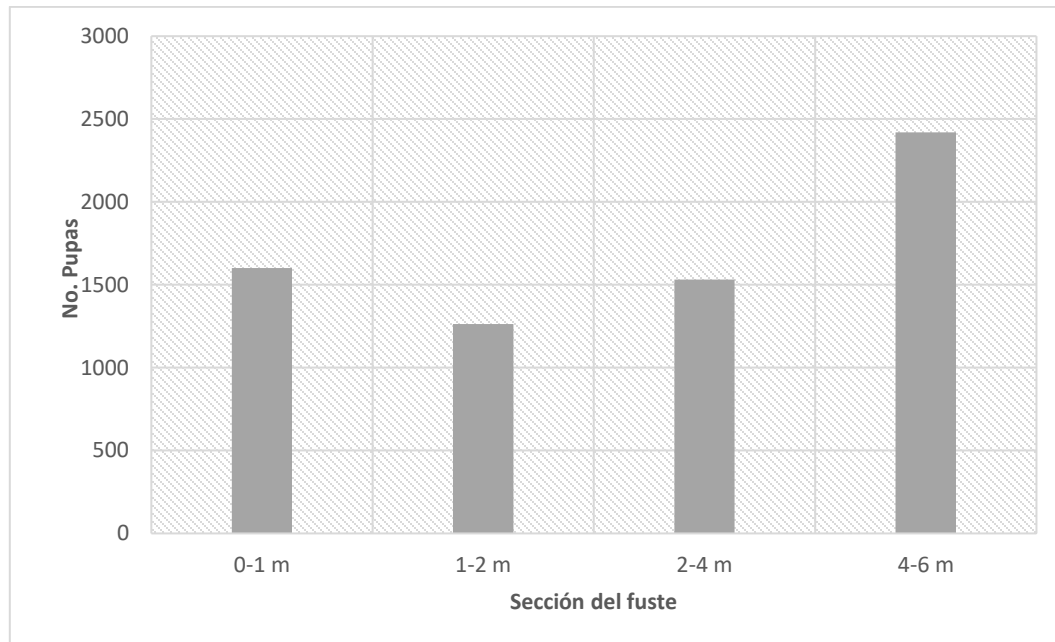


Figura 12. Número de pupas en cada sección del fuste.

Así mismo se determinó gráficamente (Figura 13) la sección del fuste donde se encuentra la mayor cantidad de insectos adultos de *D. frontalis*.

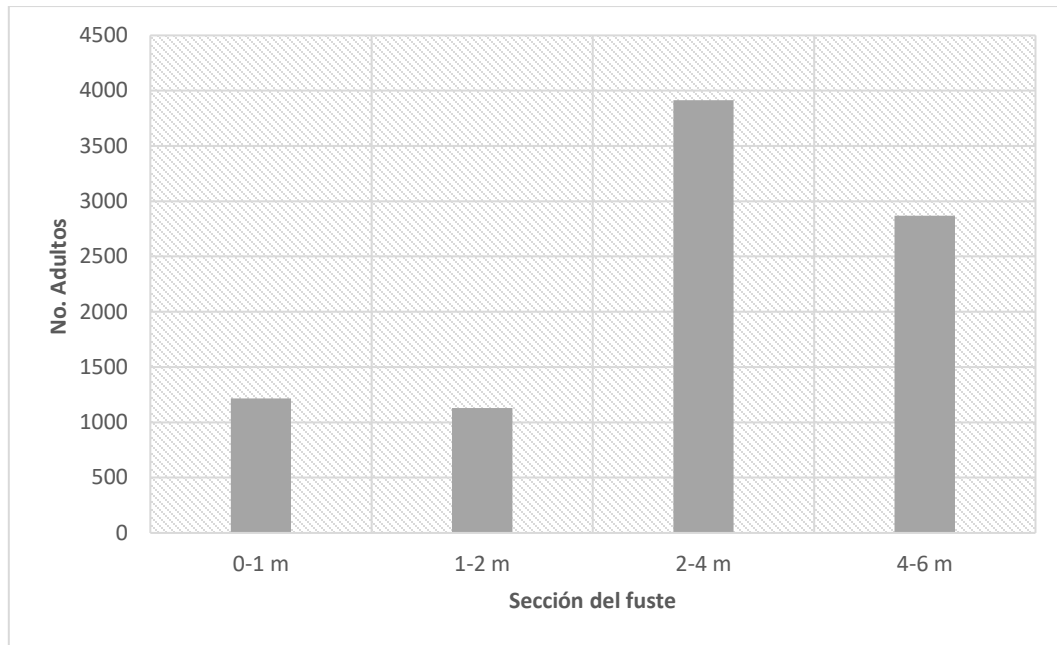


Figura 13. Número de insectos adultos en cada sección del fuste.

Se determinó que, de 2 a 4 metros de altura del árbol, se encuentra la mayor cantidad de insectos adultos de *D. frontalis*, seguido por la sección de 4 a 6 metros por lo tanto los insectos adultos se encuentran mayormente atacando a la altura de 2 a 6 metros.

Mientras que de 1 a 2 metros se encuentra atacado por pocos insectos.

4.3 Correlación de Pearson

Los resultados de la correlación de Pearson se observan en la (Figura 14).

```
Correlation matrix:
      D    Larvas Pupas
Larvas 0.37
Pupas  0.52 0.83
Adultos 0.50 0.37 0.62
```

Figura 14. Matriz de correlación de Pearson.

En la matriz de correlación (Figura 14) se observa los valores de las correlaciones entre las variables, la mayor correlación es entre la variable larvas y pupas con un valor de 0.83; seguido por pupas y adultos con un valor de 0.62.

Mientras que la variable diámetro y larvas la correlación es muy baja con un valor de 0.37.

Los valores del p-values, aquellos valores menores a 0.05 presentan correlación significativa al 95% de confiabilidad (Figura 15).

```
p.values:
      D    Larvas Pupas
Larvas 0.15
Pupas  0.02 0.00
Adultos 0.02 0.16  0.00
```

Figura 15. Valores de p .

Las variables larvas y pupas, pupas y adultos presentan una alta correlación; seguido por las variables diámetro y pupas, diámetro y adultos, por lo tanto, a mayores diámetros mayor sería la cantidad de pupas y adultos (Figura 16).

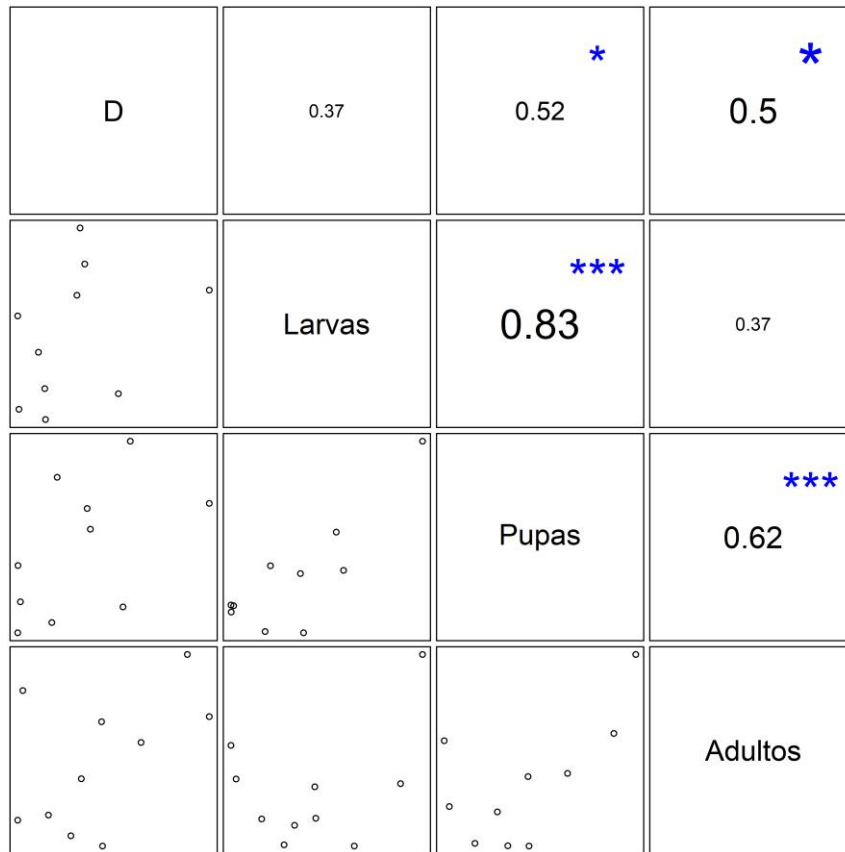


Figura 16. Correlación entre las variables diámetro (D), larvas, pupas y adultos de *Dendroctonus frontalis*.

Por lo tanto, en las figuras 11 y 13 la concentración de larvas y adultos están presentes mayormente a una altura del fuste de 2 a 4 metros, esto puede deberse a la concentración de alfa pineno en el árbol, debido a que diferentes especies de pinos presentan una mayor concentración de alfa – pineno en la parte baja, parte media y en la parte superior (Dajoz, 1980; Berryman, 1989; Coulson *et al.*,1990).

4.4 Análisis de varianza

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 5) si:

$F_{tab} > F_{cal} = \text{Acepta } H_0$

$F_{cal} > F_{tab} = \text{Acepta } H_a$

Por lo tanto, en el análisis de varianza la F calculada es mayor a la F tabla por lo que se acepta la hipótesis Ha. Ha = La sección del fuste influye en el ataque de *D. frontalis*, por lo tanto, existe preferencia de ataque de *D. frontalis* por sección del fuste del árbol.

Cuadro 5. Análisis de varianza (ANOVA (p<0.05))

| | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) | |
|------------------|----|----------|---------|---------|---------|----|
| Trat | 3 | 6623129 | 2207710 | 6.672 | 0.00107 | ** |
| Residuals | 36 | 11911927 | 330887 | | | |

4.5 Prueba de Tukey

De acuerdo a la prueba de Tukey (Cuadro 6). Al comparar las medias de los diferentes valores (Prueba de Tukey) obtenemos p-valores <0.05, por lo que si los valores de p son menores a 0.005 existen diferencias significativas en los tratamientos.

Si las medias son iguales tienen la misma letra o diferentes letras si son diferentes las medias (Cuadro 6). Las medias son del número total de insectos para cada sección del fuste tomando en cuenta larvas, pupas y adultos.

Cuadro 6. Prueba de Tukey

| Sección | Medias | Grupos |
|---------|--------|--------|
| T3 | 1516.3 | a |
| T4 | 1366 | ab |
| T1 | 740 | bc |
| T2 | 550.9 | c |

Donde: T1 = sección de 0 a 1 m, T2 = sección de 1 a 2 m, T3 = sección de 2 a 4 m, T4 = 4 a 6 m.

De acuerdo a la prueba de Tukey (Cuadro 6) la sección del fuste que va de 2 a 4 metros es la sección del fuste que tiene la mayor cantidad de insectos adultos de *D. frontalis*, por lo tanto es la sección del fuste preferentemente más atacada por este

insecto. Seguido por la sección que va de 4 a 6 metros es la segunda sección atacada por *D. frontalis*. Mientras que las secciones del fuste de 0 a 1 y 1 a 2 metros no tienen diferencias significativas, son las secciones del fuste con menos atacada.

4.6 Prueba de Duncan

Prueba de Duncan (Cuadro 7), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Por lo que la sección 2 a 4 y 4 a 6 metros no son significativamente diferentes lo mismo ocurre en la sección 0 a 1 y 1 a 2 metros. Sin embargo, las secciones del fuste que van de 0 hasta 2 y 2 a 6 metros si son significativamente diferentes. Esto quiere decir que la altura del fuste de 2 a 6 metros es la más atacada por *Dendroctonus frontalis*.

Cuadro 7. Prueba de Duncan

| Sección | Medias | grupos |
|---------|--------|--------|
| T3 | 1516.3 | a |
| T4 | 1366 | a |
| T1 | 740 | b |
| T2 | 550.9 | b |

Donde: T1 = sección de 0 a 1 m, T2 = sección de 1 a 2 m, T3 = sección de 2 a 4 m, T4 = 4 a 6 m.

Estos resultados concuerdan con Castillo, (2008) en su trabajo denominado “Diferenciación morfológica y comportamental de dos morfos de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Scolytinae) en Montebello, Chiapas.”

Encontró que *Dendroctonus frontalis* es más abundante en *Pinus oocarpa* a las alturas del fuste de 4-5 y 6-7 metros, lo cual existe mayor posibilidad de encontrar a *Dendroctonus frontalis* en esas alturas del fuste (Castillo, 2008).

Así mismo la evidente asociación de *Dendroctonus frontalis* con las partes alta del hospedero, donde el floema es más delgado (4 - 7 m), coincide con lo que reportaron Coster *et al.*, (1977) citado por Castillo (2008). Donde mencionan que a esa altura de los 3 m hacia arriba es donde llegan los primeros colonizadores del árbol.

En el Parque Nacional Lagunas de Montebello *Dendroctonus frontalis* tiene preferencia por atacar árboles de *Pinus oocarpa*, reportado también por Salinas *et al.*, (2004) encontró que *D. frontalis* está más asociado con *P. oocarpa* que con *P. maximinoi*. Aunque también *D. frontalis* se encuentra atacando *P. maximinoi*, pero en menor número de árboles atacados.

Por otra parte *D. frontalis* se encuentra atacando en la parte alta del fuste, esto está relacionado con lo que ha reportado Smith *et al.*, (1993) citado Castillo, (2008), el grosor del floema del que se alimentan los descortezadores juega un papel determinante en la distribución espacial en el fuste del hospedero incluso puede tener una relación directa con el tamaño de los individuos, es decir, a mayor grosor mayor tamaño (Haack *et al.*, 1987a, b).

Por lo tanto, la gran cantidad de larvas, pupas y adultos de *D. frontalis* encontrados en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, se debe en gran medida a la baja precipitación que se vienen presentando desde años atrás. Ya que durante los meses de sequias, la producción de resina es escasa y por lo tanto la defensa de los árboles se debilita, lo cual *D. frontalis* y otros descortezadores tienen más éxito para colonizar el árbol, por lo que mientras más prolongada y severa sea la sequía, menor será la habilidad de los árboles para resistir los ataques. Debido a que los árboles deshidratados por las sequias, la exudación de resina es muy baja. Y durante la época seca es cuando generalmente las poblaciones de los insectos descortezadores están más dispersas formando grandes brotes, sin embargo; en la época de lluvias los brotes son más pequeños y su expansión es lenta hasta la siguiente época seca donde las poblaciones se vuelven a expandir (Cano, 2001).

En el PNLM se ve afectado por el cambio climático, en la disminución de las precipitaciones y las sequías prolongadas, por lo que las poblaciones de *D. frontalis* han aumentado considerablemente. Cabe mencionar que las sequías son uno de los factores que influyen en el rápido desarrollo de las poblaciones de *D. frontalis*. De acuerdo con expertos del Instituto de Conservación Forestal (ICF) de Honduras, durante la temporada de lluvias los ataques de *D. frontalis* disminuyeron, por lo que durante la temporada de lluvia los árboles fortalecen su sistema de defensa ante el ataque de esta plaga (González, 2018).

Gan (2004), menciona que los cambios de temperatura y precipitación influyen las poblaciones de *D. frontalis*, actuando en los procesos fisiológicos del insecto, e indirectamente a través de la alteración de los árboles hospederos generando la pérdida de resistencia o disminuyendo la población de depredadores.

Cuellar *et al* (2013) en su estudio Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) atraídos a trampas en el noreste de México y su correlación con variables climáticas, menciona que el clima extremo junto con otros factores abióticos de estrés o por un manejo inadecuado de los bosques, influye en la susceptibilidad de los pinos y juega un rol importante en la dinámica de brotes de plagas.

4.7 Alternativa para el control de insectos descortezadores

Actualmente el uso de semioquímicos como atrayentes está más dirigido para la captura de insectos descortezadores durante varios meses para poder determinar la fluctuación poblacional de diferentes especies del género *Dendroctonus*. Por lo que también el uso de estos semioquímicos debe estar enfocado en repeler a estos insectos o controlarlos durante la primera fase de ataque, evitando el derribo del árbol.

El uso de los semioquímicos es una alternativa para el manejo de insectos descortezadores en ciertas condiciones (Díaz *et al.*, 2006).

Se deberá pensar en métodos alternativos para el control de estos insectos descortezadores durante la primera fase de infestación para erradicar a los pocos insectos que se encuentran atacando el árbol y evitar que más insectos sean atraídos hacia el mismo árbol.

Los bosques del Parque Nacional Lagunas de Montebello son de gran importancia, debido a los muchos servicios ecosistémicos que nos ofrecen, a la gran diversidad de flora y fauna que alberga; es un área cuyos objetivos son la conservación y protección del ecosistema, con la aparición de insectos descortezadores (*Dendroctonus frontalis*) el bosque de *Pinus oocarpa* se ve afectado, disminuyendo gradualmente su superficie debido al trabajo de saneamiento que se llevan a cabo y que implican el derribo del arbolado plagado. Por lo anterior se sugiere el uso de semioquímicos para el control y combate de insectos descortezadores. De acuerdo con Hayes *et al.*, (1996) sugieren el uso de semioquímicos repelentes para proteger árboles individuales o controlar brotes pequeños. Se ha encontrado que isómeros de verbenona se pueden utilizar como tratamientos complementarios para disminuir la agregación masiva de *Dendroctonus* (Díaz *et al.*, 2006).

Díaz *et al.*, (2006) en su estudio Respuesta De *Dendroctonus Mexicanus* (Hopkins) A Dos Isómeros Ópticos De Verbenona, se realizaron varios tratamientos con feromonas de atracción y varios compuestos volátiles del hospedero, frontalina + alfapineno + verbenona (+,-) y entre otros tratamientos, obtuvieron como resultados que se redujo el número de insectos descortezadores capturados en los tratamientos cuyos componentes fueron isómeros de verbenona, lo cual demuestra el efecto anti-agregatorio de esta feromona en este estudio fue para *Dendroctonus mexicanus*.

Muchos autores han demostrado que la verbenona es capaz de reducir en campo las capturas de especies de *Dendroctonus* Gillette *et al.*, (2001), Lindgren & Miller (2002) y Sun *et al.*, (2003).

Por lo que se ha demostrado la efectividad de la verbenona como antiagregante para *D. ponderosae*, *D. brevicomis*, *D. frontalis*, *D. valens*, *D. adjunctus*, *Ips pini* e *Ips latidens* (Gillette *et al.*, 2001; Strom *et al.*, 2001; Lindgren & Miller, 2002; Sun *et al.*, 2003).

5. CONCLUSIONES

Con la fórmula del área lateral de un cilindro es posible cuantificar la cantidad de larvas, pupas y adultos de *Dendroctonus frontalis* que están presentes entre los cero y los seis metros de altura, pero además esta misma fórmula puede aplicarse a la altura total del árbol ya que *Dendroctonus frontalis* y otros descortezadores pueden llegar a atacar todo el árbol.

Se determinó que en un árbol de *Pinus oocarpa* están presentes en promedio 2,579 larvas a una altura del fuste de cero a seis metros; las cuales son en gran medida las causantes de la muerte del árbol, debido a que las larvas se alimentan principalmente del cambium vascular.

Se determinó que en promedio en el fuste de *Pinus oocarpa* a una altura de 0 a 6 m, están presentes 4,173 insectos de *Dendroctonus frontalis* incluyendo larvas, pupas y adultos.

La sección del fuste preferentemente atacada es entre los 2 a 4 m y la altura del fuste de 0 a 2 metro es la menos atacada por *D. frontalis* en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, por lo tanto, si existe variación entre el número de insectos presentes en el fuste de *Pinus oocarpa* entre los 0 y 6 m de altura.

Así mismo se determinó que a mayor diámetro, mayor será la cantidad de pupas y adultos presentes en el fuste de *Pinus oocarpa* a una altura de 0 a 6 m.

6. RECOMENDACIONES

La cantidad de insectos descortezadores presentes en los bosques de *Pinus oocarpa* en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, también está influenciada por la ocurrencia de incendios forestales, tala clandestina y a la disminución de la precipitación en el área de estudio; además, de las sequias prolongadas que se han presentado en los últimos años y el aumento de la temperatura.

Así mismo los trabajos de saneamiento que se llevan a cabo dentro del Parque Nacional Lagunas de Montebello, tiene un impacto en el medio ambiente, por lo que se debe buscar alternativas con menos impactos y más amigables con el medio ambiente, que nos permita controlar el ataque de *D. frontalis*. Y como ya se ha visto, los semioquímicos repelentes son una alternativa para el control de estos insectos descortezadores, por lo tanto, las acciones de control y combate debe enfocarse en controlar los ataques durante la primera fase de colonización del hospedero ya que de esta manera evitamos que continúe la infestación y además evitamos la muerte del árbol. También el inyectado de los árboles con químicos que están permitidos actualmente, podemos controlar el ataque de *D. frontalis* durante la fase 1, matando a los pocos insectos que se encuentran en el árbol.

También se debe evitar las prácticas que estresan a los árboles, como son la deforestación, la tala ilegal, la extracción de plantas y los incendios provocados por las quemas agrícolas y el ocoteo.

7. LITERATURA CITADA

- Altuzar** Mérida, R. (2002). Informe de actividades realizadas en el viaje de estancia periodo 2002 en el Parque Nacional Lagunas de Montebello. Comitán de Domínguez, Chiapas, México, 14 pp.
- Aung** Din, U. (1958). Pines for tropical áreas. *Unasyuva* 12(3): Pp 121-133.
- Barrios** Izás, M. A., Salazar Chinchilla, W. M., Corzo Hernández, M. E., Urzua Duarte, M. V., & Alvarado Vargas, I. (2020). Vulnerabilidad De Los Bosques De Pino De La Reserva De Biosfera Trifinio Ante Gorgojos Descortezadores En Escenarios Actuales Y Futuros. Universidad de San Carlos de Guatemala, Pp 3-10.
- Bennet**, WH. (1968). Timber management and southern pine beetle research. (9): Pp 12-13.
- Billings** R. (2001). Evaluación de la plaga del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis*) en los pinares de Nicaragua y recomendaciones para su control. Informe Técnico. USAID/USDA.
- Billings**, R. F. (2003). Southern Pine Beetle South- Wide Trend Predictions for 2004.
- Billings**, R. F., Flores, J. E. y R. S. Cameron. (1996). Los escarabajos descortezadores del pino, con énfasis en *Dendroctonus frontalis*: métodos de control directo. Texas Forest Service. Publication 15

- Billings**, R., Flores, J. & Hebert, A. (1990). Los Escarabajos Descortezadores de Pino, con énfasis en *Dendroctonus frontalis*. Guía de Campo para la Inspección Terrestre. Publicación 146. Texas Forest Service. EE.UU. Pp. 5-19.
- Billings**, R., Flores, J. & Scott, R. (1996). Los Escarabajos Descortezadores de Pino, con énfasis en *Dendroctonus frontalis*. Guía para la Detección Aérea. Publicación 149. Texas Forest Service. EE.UU. Pp. 13-16.
- Billings**, RF; Clarke, SR; Mendoza, VE; Cabrera, PC; Figueroa, BM; Campos, JR; Baeza, G. (2014). Bark beetle outbreaks and fire: A devastating combination for central America's pine forests. ResearchGate 124(6): Pp 10-15.
- Billings**, RF; Espino, V. (2005). El gorgojo Descortezador del Pino (*Dendroctonus frontalis*) en Centroamérica: Como reconocer, prevenir y controlar las plagas. Texas Forest Service. EE.UU. 17 p
- Borden**, JH. (1974). Aggregation pheromones in the Scolytidae. In Pheromones mar. 1974.
- Bunt**, WD; Coster, JE; Johnson, PC. (1980). Behavior of the southern pine beetle on the bark of host trees during mass attack. Annals of the Entomological Society of America 73(6): Pp 647–652.
- CABI** (2002) Pines of silvicultural importance. CABI Publishing, Oxfordshire.
- Cano**, MF. (2001). Gorgojo del pino; efecto del cambio climático en los años recientes. Revista Agricultura no.40: Pp 12-14.
- Carroll**, A., Taylor, S., Regniere, J., Safranyik, L., (2004). Effects of climate change on range expansion by the mountain beetle in British Columbia. In: Shore,

T.L., Brooks, J.E., Stone, J.E. (Eds.), Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions, October 30–31, 2003, Kelowna, British Columbia, Canada, Report BC-X-399, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, Pp. 223– 232.

Castillo, B. M. (2008). Diferenciación morfológica y comportamental de dos morfos de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Coleoptera: Scolytinae) en Montebello, Chiapas. (Tesis). ECOSUR. El Colegio de la Frontera Sur. 15-20 p

CATIE. (1991). Plagas y Enfermedades Forestales en América Central. Guía de Campo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica. Pp 79-82.

Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México, pasado presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Agrupación Sierra Madre, S.C. México, D.F. México. 847 p.

Cienciulli, P. L. (1960). Os pinheiros da América Central e México. São Paulo, Instituto da Botânica, 65 p.

Cibrián D.; Méndez J.; Campos R.; Yates H. & Flores J. (1995). Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma Chapingo de México. Publicación No. 6. Pp 278-316.

Clarke, S. R. (1995). Impacts of southern pine beetles in special management areas. Forest Health Through Silviculture Workshop. Mescalero, New Mexico. 246 p.

- CONANP** (Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas) (2007) Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Lagunas de Montebello. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F., 200 pp.
- Cooper**, ME; Stephen, FM. (1978). Parent Adult Reemergence in Southern Pine Beetle Populations. *Environmental Entomology* 7(4): Pp 574-577.
- Costanza**, JK; Hulcr, J; Koch, FH; Earnhardt, T; McKerrow, AJ; Dunn, RR; Collazo, JA. (2012). Simulating the effects of the southern pine beetle on regional dynamics 60 years into the future. *Ecological Modelling* 244: Pp 93-103.
- Coster**, J.E., T.L. Payne, E.R. Hart & L.J. Edson. (1977). Aggregation of the Southern Pine Beetle in response to attractive host trees. *Environ. Entomol.* 6: Pp 725-731.
- Coulson** R & Witter J. (1990). *Entomología Forestal Ecología y Control*. Primera edición México Editorel LIMUSA. Pp 587-638.
- Coulson**, RN; Fargo, WS; Pulley, PE; Pope, DN; Foltz, JL; Bunting, AM. (1979). Spatial and temporal patterns of emergence for within-tree populations of *dendroctonus frontalis* (coleoptera: scolytidae). *The Canadian Entomologist* 111(3): Pp 273-287.
- Cuéllar** Rodríguez, G; Equihua Martínez, A; Estrada Venegas, E; Méndez Montiel, T; Romero Nápoles, J. (2013). Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) atraídos a trampas en el noreste de México y su correlación con variables climáticas. 2013.
- Diario** Oficial de la Federación. 16 de diciembre de (1959). Decreto que declara necesaria y de utilidad pública la creación de un Parque Nacional en la región

conocida con el nombre de Lagunas de Montebello, ubicada en Independencia y La Trinitaria, Chiapas.

Díaz Núñez, V., Sánchez Martínez, G., & E Gillette, N. (2006). Respuesta de *Dendroctonus mexicanus* (Hopkins) a dos isómeros ópticos de verbenona. *Agrociencia*, 40(3), Pp 349-350.

Dvorak, w. s., Gutiérrez, E. A., Osorio, L. F., Hodge, H. R. & Brawner, J. T. (2000). *Pinus oocarpa*. End Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative (pp. 129-147). Raleigh, NC, USA: College of Natural Resources, North California State University.

FAO. (2006). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005: hacia la ordenación forestal sostenible, FAO, Roma.

FAO. (2009). Global review of forest pests and diseases. FAO Forestry Paper 156. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 222 p.

Flinta, C. M. (1960). Prácticas de plantación forestal en América Latina. Roma, FAO, 497 p. (FAO. Cuaderno de Fomento Forestal NO 15).

Fronk, WD. (1947). The southern pine beetle: its life history. Virginia Agricultural Experiment. 12 p.

Gan, J. (2004). Risk and damage of southern pine beetle outbreaks under global climate change. *Forest Ecology and Management* 191: Pp 61-71.

García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática. Publicaciones, UNAM. México, D. F.

- Gillette**, N., D. R. Owen, and J. H. Stein. (2001). Interruption of semiochemical-mediated attraction of *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Scolytidae) and selected nontarget insects by verbenone. *Environ. Entomol.* 30: Pp 837-841.
- González**, M. E. (2018). Desarrollo de un modelo para la identificación de áreas con riesgo de ataque. Turrialba, Costa Rica.
- 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.
- Hall**, R. C. and G. R. Davies. (1968). Mountain pine beetle epidemic at Joseph Creek Basin. Modoc National Forest. Office Report. San Francisco, Ca. US Department of Agriculture, Forest Service Pacific Southwest Region. Pp 20-21.
- Hernández Dávila**. (2003). Aspectos básicos y técnicos sobre la estrategia nacional de sanidad forestal para Guatemala con énfasis en el gorgojo descortezador de los pinos (Modulo I). Guatemala, FAO. 20 p.
- Hernández Paz**, M. (1975). El gorgojo de la corteza, plaga de los pinares. *Dendroctonus frontalis* Zimm. (Coleóptera: Scolytidae). COHDEFOR. (corporación Hondureña de Desarrollo Forestal). Publicación No. 1. Pp. 1-3.
- Hopkins**, A.D. (1909). Contributions toward a monograph of the scolytid beetle. The genus *Dendroctonus*. Technical Bulletin, United State Department of Agriculture, Bureau of Entomology 17: Pp 1-164.
- INEGI**. (1982). Carta Topográfica. Las Margaritas. 1:250,000. (E15-12-D15-3).
- INEGI**. (1984). Carta de Efectos Climáticos Regionales. Mayo-octubre y noviembre-abril. Las Margaritas. 1:250,000. (E15-12-D15-3).

- INEGI.** (1988^a). Carta de uso del suelo y vegetación. Las Margaritas. 1:250,000. (E15- 12-D15-3).
- INEGI.** (2000). Conjuntos de Datos Vectoriales Edafológicos. 1:250,000. Las Margaritas. 1: 250 000. (E15-12, D15-3).
- Instituto Mexicano de Estudios Políticos, A.C.** (1994). Estudio sociopolítico del Parque Nacional Lagunas de Montebello, estado de Chiapas. SARH.
- Iñiguez, H. G.** (1999). Sistema de clasificación de riesgo para *Dendroctonus frontalis* y *D. mexicanus* en “El Manzano” en Villa de Santiago, Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N.L., México. 77 p.
- IPCC** (2007). Climate Change 2007-ThePhysical Science Basis. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Islas S., F.** (1974). Observaciones sobre la biología y el combate de los escarabajos descortezadores de los pinos *Dendroctonus adjunctus* Blf. y *D. mexicanus* Hopk. en algunas regiones del Estado de México. Boletín Técnico Núm. 40. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 35 p.
- Keen, F. P.** (1952). Insect enemies of western forests USDA. Misc. Pub. No. 273. Washington, OC. Pp 1-280.
- Kinn, DN.** (1978). Diel Emergence patterns of the southern pine beetle (*Dendroctonus frontalis* Zimm). Georgia Entomological Society. 13: Pp 80-85.

- Lindgren**, B. S., and D. R. Miller. (2002). Effect of verbenone on five species of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) in Lodgepole Pine Forests. *Environ. Entomol.* 31: Pp 759-765.
- Loock**, E. E. M. (1947). The pines of Mexico and British Honduras; a report on a reconnaissance of Mexico and British Honduras during. Pretoria, Union of South Africa, Department of Forestry, 1947. 244 p. (Bulletin N. 35).
- 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, Pp 527-532.
- Lorio**, PL; Bennett, WH. (1974). Recurring southern pine beetle infestations near Oakdale, Louisiana. New Orleans, La., Southern Forest Experiment Station, Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture. 6 p.
- 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. CONANP-USDA Forest Service. Tapachula, Chiapas, Méx. Pp 11.
- Martínez**, M. (1948). Los pinos mexicanos. 2a. ed. México, Ediciones Botas, 361 p.
- Martínez**, M. (1992). Los pinos mexicanos (3era ed.). México: Editorial Botas.
- McWILLIAM**, J. R. (1954). Caribbean pine (*Pinus caribaea*); some notes on its development and characteristics in Central America. Queensland. Forest Service. Research Notes No. 4. 33 p.

- Miller**, R. G. (1966). Simultaneous Statistical Inference. McGraw-Hill. New York. 272 p.
- Molina**, R. A. (1964). Coníferas de Honduras. Ceiba (Honduras) 10(1): Pp 5-21.
- Morales Rangel**, A. (2017). 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 de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. p 34.
- Morales Rangel**, A., Cambron Sandoval, V. H., Soto Correa, J. C., Jones, R. W., & Obregon Zuñiga, J. A. (2018). Efecto de la temperatura en poblaciones de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) bajo un escenario de cambio climático en la Sierra Gorda queretana. Acta zoológica mexicana, 34, 6 p.
- Negrón**, J.F., Popp, J.B., (2004). Probability of ponderosa pine infestation by mountain pine beetle in the Colorado Front Range. For. Ecol. Manage. 191, Pp 17–27.
- Nord**, J. C., F. L. Hastings, and A. S. Jones. (1990). Field tests of pine oil as a repellent for the Southern Pine Beetle. USDA Forest Service. Southern Forest Experiment Station, Research note SE-355, p. 8.
- Núñez Hernández**, D. (2001). Manejo Integrado del Gorgojo del Pino *Dendroctonus frontalis*. Primera edición. Honduras. Pp 3-6.
- OIRSA**, (2001). Los Escarabajos descortezadores del Genero *Dendroctonus*. Plaga de las pinaceas en Centroamérica. Organismo Internacional Regional de Sanidad Vegetal. El Salvador. Pp 7-10.

- Organización** De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación. Seminario y viaje de estudios de coníferas latinoamericanas. México, SAG-FAO, (1962). 229 p.
- Paine**, TD; Raffa, KF; Harrington, TC. (1997). Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi, and live host conifers. Annual review of entomology 42(1): Pp 179–206.
- Payne**, T. (1980). The southern pine beetle: Chapter 2: Life, history and habits. Texas, USA.
- Payne**, T. L., and R. F. Billings. (1989). Evaluation of (S)-verbenone applications for suppressing southern pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) infestations. J. Econ. Entomol. 82: Pp 1702-1708.
- Perusquía O.**, J. (1978). Descortezador de los pinos *Dendroctonus* spp. Taxonomía y distribución. Bol. Téc. No. 55. SARH, DGICF. México. 31 p.
- Piña I.** & Muñiz R. (1981). Los Escolitidos como Plagas Forestales. Monografía III. México. Pp 33-86.
- Prats-Llaurado**, J. (1960). Ficha forestal del *Pinus oocarpa* Schiede. In World Forestry Congress, 5th., Seattle, Washington, Auge 29-Sept. 10, 1960. Proceedings Seattle, Washington, University of Washington, 1960. Vol. 3, Pp 1975-1976.
- Ramírez V.**, B. y A. Castillo M. (1985). Estudio de las zonas de rechazo del análisis de varianza y algunas pruebas de comparaciones múltiples, para el caso de tres medias. Agro ciencia Núm. 61: Pp 65-78.

- Robbins**, A. M. J. (1983). *Pinus oocarpa* Schiede. Seed leaflet No. 3. DANIDA Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark. 17 p.
- Salinas-Moreno**, Vargas, C. F., Zúñiga, R. J., & Ager, V. A. (2010). Atlas De Distribución Geográfica De Los Descortezadores Del Género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) En México. Instituto Politécnico Nacional, Comisión Nacional Forestal. México, DF, México.
- Salom**, S. M., R. F. Billings, W. W. Upton, M. J. Dalusky, D. M. Grossman, T. L. Payne, C. W. Berisford, and T. N. Shaver. (1992). Effect of verbenone enantiomers and racemic endo-brevicomín on response of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) attractant baited traps. J. Can. Forestry 22: Pp 925-931.
- Sánchez Salas**, J. A., Torres Espinosa, L. M., Cano Pineda, A., & Martínez Burciaga, O. U. (2003). Daños y diversidad de insectos descortezadores de coníferas del Noreste de México. Ciencia Forestal en México, 28(93), Pp 41-47.
- Schwerdtfeger**, F. Informe al Gobierno de Guatemala sobre la entomología forestal de Guatemala, II, La plaga de *Dendroctonus* en los bosques de pinos y modos de combatirla. Roma, FAO, (1955). 63 p • (Informe FAO-ETAP NQ 366).
- Shaw**, G. R. (1909). The pines of Mexico. Boston, Mass., J. R. Ruites & Co., 29 p, (Publications of the Arnold Arboretum No. 1).
- Silva**, R. P. (2012). vulnerabilidad de los bosques templados bajo manejo silvícola. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas - Facultad de Humanidades., Pp 1-25.

- Six**, D.L. and R. Bracewell. (2015). *Dendroctonus*. (Pp. 305- 339). In: Vega, F. and R. Hofstetter (Eds.). *Biology and ecology of native and invasive species*. Academic Press, Elsevier Inc. UK, London.
- Strom**, B. L., R. A. Goyer, and P. J. Shea. (2001). Visual and olfactory disruption of orientation by the western pine beetle to attractant-baited traps. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 100: Pp 63-67.
- Strom**, B. L., L. M. Roton, R. A. Goyer, and J. R. Meeker. (1999). Visual and semiochemical disruption of host finding in the southern pine beetle. *Ecol. Appl.* 9: Pp1028-1038.
- Strom**, B. L., S. R. Clarke, and P. J. Shea. (2004). Efficacy of 4- Allylanisole-based products for protecting individual loblolly pines from *Dendroctonus frontalis* Zimmerman (Coleoptera: Scolytidae). *Can. J. Forest Res.* 34: Pp 659-665.
- Sun**, J., N. E. Gillette, Z. Miao, L. Kang, Z. Zhang, D. R. Owen, and J. D. Stein. (2003). Verbenone interrupts attraction to host volatiles and reduce attack on *Pinus tabuliformis* (Pinaceae) by *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Scolytidae) in the People's Republic of China. *Can. Entomol.* 135: Pp 721-732.
- Thatcher**, RC. (1960). Bark beetles affecting Southern pines: A review of current knowledge. in cooperation with Stephen F. Austin State College s.l., Southern Forest Experiment Station, Forest Service, U.S. Dept. of Agriculture. 25 p.
- Thatcher**, RC; Pickard, LS. (1964). Seasonal Variations in Activity of the Southern Pine Beetle in East Texas. *Journal of Economic Entomology* 57(6): Pp 840-842.

- Turchin**, P., and F. J. Odendaal. (1996). Measuring the effective sampling area of a pheromone trap for monitoring population density of Southern Pine Beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environ. Entomol.* 25: Pp 582-588.
- Vásquez**, M. A. y E. Méndez. (1994). Aspectos generales de la región: Lagos de Montebello. Reporte del trabajo para el curso de conservación de naturaleza y recursos naturales, Maestría en Ciencias: Recursos Naturales y Desarrollo Rural, ECOSUR Chiapas. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 109 p.
- Vité**, JP; Crozier, RG. (1968). Studies on the attack behavior of the southern pine beetle. *Boyce Thompson.* 24: Pp 87-93.
- Wood**, S. L. (1982). The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae). A taxonomic monograph. *Great Basin Nature Memoirs.* Brigham Young Univ. Provo, Utah. 1359 p.
- Wood**, S. L. W. (2007). Bark and ambrosia beetles of south America (coleoptera, scolytidae) (No. C/595.760980 W6).
- Zamora** S., C. (1981). Algunos aspectos sobre *Pinus oocarpa* Schiede en el estado de Chiapas. *Ciencia Forestal* Vol. 6 (32): Pp 25-53.