

Guatemala, 19 de abril, 2020

Señor Director  
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera  
Director General de Investigación  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

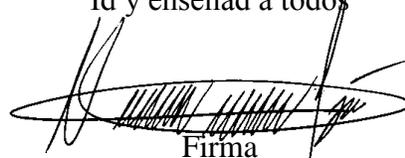
Adjunto a la presente el informe final “**Vulnerabilidad de los bosques de pino de la Reserva de Biosfera Trifinio ante gorgojos descortezadores en escenarios actuales y futuros**” con partida presupuestal 4.8.58.2.93, coordinado por el Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás y avalado por el Instituto de Investigaciones de Zacapa del Centro Universitario de Zacapa de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del **informe final y del manuscrito científico**. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

La entrega del presente informe se realiza en la presente fecha ya que se han realizado las correcciones y cambios que el Ing. Saúl Guerra ha tenido a bien sugerir para el mejoramiento del informe final del proyecto.

Sin otro particular, me suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”  
  
Firma

Coordinador del proyecto de investigación

Firma y sello  
Director del Instituto de Investigaciones de Zacapa  
Centro Universitario de Zacapa

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación  
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente



## INFORME FINAL

### VULNERABILIDAD DE LOS BOSQUES DE PINO DE LA RESERVA DE BIOSFERA TRIFINIO ANTE GORGOJOS DESCORTEZADORES EN ESCENARIOS ACTUALES Y FUTUROS

Equipo de Investigación

Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás  
Ing. Amb. Wendy Marañ Salazar Chinchilla  
Ing. Amb. Mynor Eliu Corzo Hernández  
Zoot. Miltón Valerio Urzua Duarte  
P. Agr. Iván Alvarado Vargas

Zacapa, enero de 2020

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE ZACAPA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ZACAPA

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera  
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. Augusto Saúl Guerra  
Coordinadora Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás  
Coordinador del proyecto

Ing. Amb. Wendy Maraí Salazar Chinchilla  
Investigadora

Ing. Amb. Mynor Eliu Corzo Hernández  
Investigador – Protección Forestal INAB

Zoot. Milton Valerio Urzúa Duarte  
Investigador

Br. Iván Alvarado Vargas  
Auxiliar de Investigación

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2019. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.58.2.93. durante el año 2019 en el Programa Universitario de Investigación de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.

Financiamiento aprobado por Digi: Q150,000.00 Financiamiento ejecutado: 81%

## INDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCION .....	3
4. PREGUNTAS DE INVESTIGACION.....	4
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
6. DELIMITACION EN TIEMPO Y ESPACIO .....	5
7. MARCO TEÓRICO .....	7
8. ESTADO DEL ARTE.....	13
9. OBJETIVO GENERAL .....	15
10. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
11. HIPOTESIS .....	15
12. MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
13. RESULTADOS DEL PROYECTO.....	19
13.1 Caracterización de los aceites esenciales de pino .....	19
13.2 Especies de escarabajos descortezadores y ambrosiales asociadas a pinos .....	19
13.3 Modelos de Nicho Ecológico.....	20
13.4 Clave para la identificación de los géneros de escarabajos descortezadores y ambrosiales colectados en la Reserva de Biosfera Trifinio (Guatemala) .....	41
13.5 Análisis y discusión de resultados.....	42
14. CONCLUSIONES.....	45
15. IMPACTO ESPERADO.....	47
16. REFERENCIAS .....	48
17. ORDEN DE PAGO .....	53

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Figura 1. Mapa de ubicación de los trayectos de monitoreo.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. Cromatograma del análisis de los aceites de Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl. en el municipio de Concepción Las Minas.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3. Cromatograma del análisis de los aceites de Pinus maximinoi H.E. Moore en el municipio de Concepción Las Minas.....</i>	<i>25</i>

<i>Figura 4. Imagen de Dendroctonus mesoamericanus Armendáriz-Toledano &amp; Sullivan de la Reserva de Biosfera Trifinio</i> .....	28
<i>Figura 5. Imagen de Corthylus sp. de la Reserva de Biosfera Trifinio</i> .....	29
<i>Figura 6. Imagen de Monarthrum sp. de la Reserva de Biosfera Trifinio</i> .....	30
<i>Figura 7. Imagen de Ips cribricollis de la Reserva de Biosfera Trifinio</i> .....	31
<i>Figura 8. Imagen de Cryptocarenum heveae de la Reserva de Biosfera Trifinio</i> .....	32
<i>Figura 9. Imagen de Pityophthorus sp. de la Reserva de Biosfera Trifinio</i> .....	33
<i>Figura 10. Imagen de Tomolips sp. de la Reserva de Biosfera Trifinio</i> .....	34
<i>Figura 11. Mapa de distribución potencial de Dendroctonus mesoamericanus Armendáriz-Toledano &amp; Sullivan en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa</i> .....	35
<i>Figura 12. Mapa de distribución potencial de Dendroctonus mesoamericanus Armendáriz-Toledano &amp; Sullivan, áreas con 70% de probabilidad de ocurrencia, en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa</i> .....	36
<i>Figura 13. Análisis de contribución de las variables en la generación del modelo de distribución potencial de Dendroctonus mesoamericanus Armendáriz-Toledano &amp; Sullivan en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa</i> .....	37
<i>Figura 14. Mapa de distribución potencial, proyección al año 2050, de Dendroctonus mesoamericanus Armendáriz-Toledano &amp; Sullivan en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa</i> .....	38
<i>Figura 15. Mapa de distribución potencial, proyección al año 2050 (GCM MIROC-ESM rcp85), de Dendroctonus mesoamericanus Armendáriz-Toledano &amp; Sullivan, áreas con 70% de probabilidad de ocurrencia , en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa</i> .....	39
<i>Figura 16. Análisis de contribución de las variables en la generación del modelo, proyección al año 2050 (GCM MIROC-ESM rcp85), de Dendroctonus mesoamericanus Armendáriz-Toledano &amp; Sullivan en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa</i> .....	40
<i>Figura 17. Taller con extensionistas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Ganadería de Zacapa</i> .....	47

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Especímenes de escarabajos descortezadores y ambrosiales capturados en trampas de etanol y coleta manual.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2. Lista de moléculas identificadas en el análisis GC-MS del aceite esencial de Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3. Lista de moléculas identificadas en el análisis GC-MS del aceite esencial de Pinus maximinoi H.E. Moore .....</i>	<i>26</i>

# VULNERABILIDAD DE LOS BOSQUES DE PINO DE LA RESERVA DE BIOSFERA TRIFINIO ANTE GORGOJOS DESCORTEZADORES EN ESCENARIOS ACTUALES Y FUTUROS

## 1. RESUMEN

La Región Trifinio comprende una de las áreas de mayor interés para la conservación de la biodiversidad y de los recursos naturales del norte de Centro América, fue creada como parte de los acuerdos alcanzados por los gobiernos de Guatemala, Honduras y El Salvador. A lo largo de la reserva se distribuyen en el gradiente de elevación bosques de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. y *P. maximinoi* H.E. Moore, en el presente trabajo hemos considerado estudiar los escarabajos descortezadores y ambrosiales asociados a estos. Los escarabajos descortezadores se alimentan directamente de la madera, mientras los escarabajos ambrosiales cultivan un hongo del género *Ambrosia* en el xilema del cual se alimentan. Los objetivos del presente proyecto fueron: 1) caracterizar la estructura química de los aceites esenciales presentes en las coníferas, 2) determinar la eficiencia de captura de gorgojos de la madera y *Ambrosia* de acuerdo con las diferentes concentraciones mezclas de aceites esenciales extraídos de las coníferas y 3) modelar la distribución potencial actual y en escenarios futuros de cambio climático de las especies de gorgojos descortezadores y ambrosiales. Las especies colectadas fueron *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan, *Corthylus* sp., *Monarthrum* sp., *Ips cribricollis* (Eichhoff 1868), *Cryptocarenum heveae*, *Pityophthorus* sp. e *Hypothenemus* sp. No encontramos una mayor tasa de captura añadiendo los extractos de aceites esenciales en las trampas de etanol, y la modelación de nicho ecológico de *D. mesoamericanus* en escenarios actuales y futuros muestra un movimiento del área de distribución actual modelada a zonas más altas, estos cambios están relacionados con incremento de la temperatura y sequías.

**Palabras clave:** *Dendroctonus mesoamericanus*, aceites esenciales, *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., *Pinus maximinoi* H.E. Moore, Modelos de Nicho Ecológico.

## 2. ABSTRACT

The Trifinio Region comprises one of the areas of greatest interest for the conservation of the biodiversity and natural resources of northern Central America, it was created as part of the agreements reached by the governments of Guatemala, Honduras and El Salvador. Throughout the reserve forests of *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltldl and *P. maximinoi* H.E. Moore are distributed on the elevation gradient, in the present work we have considered studying the bark and ambrosial beetles associated with them. The bark beetles feed directly on the wood, while the ambrosial beetles cultivate a fungus of the genus *Ambrosia* in the xylem of which they feed. The objectives of the present project were: 1) to characterize the chemical structure of the essential oils present in conifers, 2) to determine the capture efficiency of wood weevils and *Ambrosia* according to the different concentrations of essential oil mixtures extracted from conifers and 3) to model the current potential distribution and in future climate change scenarios of the bark and ambrosial beetles species. The collected species were *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan, *Corthylus* sp., *Monarthrum* sp., *Ips cribricollis* (Eichhoff 1868), *Cryptocarenum heveae*, *Pityophthorus* sp. and *Hypothenemus* sp. We did not find a higher capture rate by adding the essential oil extracts in the ethanol traps, and the ecological niche modeling of *D. mesoamericanus* in current and future scenarios shows a movement from the current range modeled to higher areas, these changes They are related to increased temperature and drought.

### 3. INTRODUCCION

Guatemala es considerado como uno de los países megadiversos, esto a pesar a su pequeña área se debe a que se encuentra dentro del “hotspot” mesoamericano (Norman Myers, Mittermeler, Mittermeler, Da Fonseca, & Kent, 2000). Los bosques de conífera se encuentran representados en los 22 departamentos de Guatemala y estos son de importancia económica ya que los bosques de coníferas alrededor del mundo proveen de diferentes productos forestales (Lyon, Quesada-Pineda, & Smith, 2012), así como servicios ecosistémicos (Felton et al., 2019). En Guatemala, los bosques de coníferas se encuentran amenazados por diversos factores, entre los que resaltan: el avance de la frontera agrícola (Geist, H & Lambin, E, 2002; N. Myers & Tucker, 1987), la extracción de madera como producto forestal (Jepma, 2014) y las infestaciones por especies plagas (Billings et al., 2004); entre otros.

En el oriente de Guatemala, los bosques de pino representan un importante recurso natural. Las especies de pino que se encuentran en los departamentos del corredor seco son: *Pinus ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schltld., *P. caribaea* Morelet, *P. maximinoi* H.E. Moore, *P. oocarpa* Schiede ex Schltld., *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. tecunumanii* F. Schwerdtf. ex Eguiluz & J.P. Perry. La mayor parte de bosques del corredor seco corresponden a zonas de serranía, entre las que se encuentran: Sierra de Las Minas, Sierra de El Merendón y la Región Trifinio (“Tropicos.org,” 2020).

La Reserva de Biosfera Trifinio constituye una de las reservas biológicas de mayor importancia en Mesoamérica por su biodiversidad, bienes y servicios ecosistémicos que brinda a las poblaciones de Guatemala, El Salvador y Honduras; motivo por el cual se considera patrimonio natural de la humanidad de acuerdo a la UNESCO. Una de las características de mayor importancia ecológica es la diversidad de ecosistemas que se encuentran a lo largo del gradiente de elevación son los bosques secos, bosques de pino, bosques de encino, bosques mixtos y bosque nuboso (Schlesinger, Muñoz Brenes, Jones, & Vierling, 2017).

El avance de la frontera agrícola y de otras actividades humanas, propicia el debilitamiento de los árboles por incendios forestales y extracción de productos forestales sin planes de manejo. Se ha demostrado, no en todos los casos, que los impactos al bosque hace más propensos a los árboles a

ser infestados por gorgojos de la madera que pueden causar pérdidas económicas y ambientales considerables. Algunos ensayos han detectado que las trampas con extractos de aceites esenciales de las coníferas y las feromonas son de alta utilidad para el monitoreo de las poblaciones de los gorgojos de la madera. Sweeney, Silk, Grebennikov, & Mandelshtam (2016) estudiaron la atracción de gorgojos de la madera a diferentes mezclas (3-hidroxyhexano-2-uno racémico; extracto de Picea; etanol; fuscumol racémico y acetato de fuscumol) y encontraron que las especies se encontraban atraídas a las diferentes mezclas de forma diferencial, de tal manera que no hay patrón general, sin embargo, las mezclas si pueden ser elaboradas de forma específica para las especies.

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) caracterizar la estructura química de los aceites esenciales presentes en las coníferas, 2) determinar la eficiencia de captura de gorgojos de la madera y Ambrosia de acuerdo con las diferentes concentraciones mezclas de aceites esenciales extraídos de las coníferas, y 3) modelar la distribución potencial actual y en escenarios futuros de cambio climático de las especies de gorgojos descortezadores y ambrosiales. Para lo cual se extraerán los aceites esenciales de las coníferas y otras plantas asociadas.

#### **4. PREGUNTAS DE INVESTIGACION**

Las preguntas de investigación del presente proyecto fueron: ¿Cuáles son los metabolitos secundarios más eficientes de las coníferas para la captura de los gorgojos descortezadores y gorgojos de Ambrosia?, ¿Cuáles son las asociaciones ecológicas de los gorgojos descortezadores y gorgojos de Ambrosia con los tipos de bosque y variables de la composición, estructura y fisionomía de los bosques de coníferas de la Reserva de Biosfera Trifinio? ¿Cuál es la distribución potencial actual y en escenarios futuros de los gorgojos de la descortezadores y gorgojos de Ambrosia en los departamentos de Zacapa y Chiquimula?

#### **5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los gorgojos de la madera son un grupo de insectos (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) que se alimentan de los tejidos del xilema y floema de las plantas leñosas causando daños a la planta que eventualmente le producen la muerte, especialmente en bosques de coníferas. Tanto las larvas como los adultos poseen interacciones simbióticas con hongos del género *Ambrosia* o bacterias del género *Wolbachia* que les ayudan a degradar la celulosa. Algunas especies de gorgojos, especialmente de los géneros *Dendroctonus* e *Ips*, son consideradas como plagas importantes de los bosques de coníferas (Moeck, Wood, & Lindahl, 1981) y han causado pérdidas de miles de hectáreas en las últimas décadas en Centro América (Billings et al., 2004).

El primer paso de la infestación de un área es la colonización de árboles por parte de las hembras, generalmente árboles viejos o que presentan daños, en este paso los metabolitos secundarios de las plantas infestadas juegan un rol importante ya que estas los utilizan para producir las feromonas que atraen al resto de la colonia para la infestación (Müller & Buchbauer, 2011).

La comunidad científica considera que con el calentamiento global incrementarán las explosiones demográficas de estas especies de gorgojos de la madera, causando pérdidas económicas al sector forestal y poniendo en riesgo los bosques de la región. Para comprender los ecológicos detrás de las variaciones demográficas es necesario realizar monitoreos de las poblaciones de los gorgojos de la madera que permitan asesorar la toma de decisiones de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales encargadas del manejo de bosques y control de plagas forestales.

Se ha detectado que las trampas con extractos de aceites esenciales de las coníferas y las feromonas son de alta utilidad para el monitoreo de las poblaciones de los gorgojos de la madera. Sweeney et al. (2016) estudiaron la atracción de gorgojos de la madera a diferentes mezclas (3-hidroxyhexano-2-uno racémico; extracto de *Picea*; etanol; fuscumol racémico y acetato de fuscumol) y encontraron que las especies se encontraban atraídas a las diferentes mezclas de forma diferencial, de tal manera que no hay patrón general, sin embargo, las mezclas si pueden ser elaboradas de forma específica para las especies.

## **6. DELIMITACION EN TIEMPO Y ESPACIO**

**6.1** Delimitación en tiempo: el proyecto se llevó a cabo de febrero a diciembre del 2019.

**6.2** Delimitación espacial: el estudio se llevó a cabo en la Reserva de Biosfera Trifinio, en los municipios de Esquipulas y Concepción Las Minas (fig. 1).

## 7. MARCO TEÓRICO

### Las especies de escarabajos descortezadores y ambrosiales

Los picudos (Coleoptera: Curculionidae) son uno de los grupos con mayor diversidad de especies sobre el planeta (McKenna, Sequeira, Marvaldi, & Farrell, 2009). Se han descrito más de 62,000 especies y se estima que existen más de 300,000 especies. Con algunas excepciones, los picudos son eminentemente fitófagos (Anderson, 1995). Las especies de la principal subfamilia, Curculioninae, se distinguen por la presencia de un rostro alargado y antenas geniculadas, en donde el fúniculo está alargado y el pedicelo forma parte del flagelo en conjunto con los antenómeros, finalizando en una masa antenal (Oberprieler, Marvaldi, & Anderson, 2007). Dos subfamilias que se encuentran asociadas con la madera presentan una reversión evolutiva en donde el rostro no se encuentra elongado, estas son las subfamilias Scolytinae y Platypodinae.

Los Scolytinae y Platypodinae se encuentran asociados con la madera de especies arbóreas de Angiospermas y Gimnospermas, se considera que los hábitos de vida dentro de las galerías que forman en los tejidos del floema y xilema han favorecido la reducción del rostro. Ambas subfamilias se ha demostrado que son clados que evolucionaron a partir de los Curculionidae y no como familias independientes (Jordal, Sequeira, & Cognato, 2011). Ambas subfamilias evolucionaron hábitos alimenticios convergentes, estando los Scolytinae más emparentados con los Cossoninae y los Platypodinae cercanamente emparentados los Dryophthorinae (Shin et al., 2018). Los hábitos de cuidados parentales y de crianza de larvas en la madera también evolucionaron de forma convergente (Jordal et al., 2011). A ambos grupos se les conoce como gorgojos descortezadores o gorgojos de Ambrosia, los primeros se alimentan directamente de la madera y los gorgojos de Ambrosia cultivan un hongo del género *Ambrosia* (Beaver, 1989).

Los gorgojos descortezadores poseen un rol ecológico importante en los ecosistemas, ya que contribuyen al reciclaje de nutrientes, al ralea el dosel, a la dinámica de claros en los bosques, a la formación de suelos, procesos hidrológicos, regímenes de perturbación y alteran procesos de la biodiversidad (Raffa, Grégoire, & Lindgren, 2015). Las especies de estas dos subfamilias construyen galerías en los tejidos muertos, principalmente, y muchas especies pueden tener

asociaciones con hongos que son cultivados en jardines dentro de las galerías para la alimentación de larvas y adultos (Biedermann, Klepzig, Taborsky, & Six, 2013). Estos hábitos pueden impactar negativamente en la salud de los bosques y en la calidad de la madera que es utilizada para fines antrópicos, ya que tanto los seres humanos como los gorgojos compiten por el recurso de la madera (Waring & Pitman, 1985).

En Guatemala las especies de descortezadores más importantes se encuentran dentro del género *Dendroctonus*, siendo las especies de mayor importancia *D. adjunctus* Blandford, *D. approximatus* Dietz, *D. frontalis* Zimmermann, *D. mesoamericanus* Armendariz et al. 2015, *D. parallelocolis* Chapuis, *D. valens* LeConte y *D. vitei* Wood.

A *D. adjunctus* es una especie que mide de 3.0-5.5 mm (machos, se puede confundir con *D. approximatus* y *D. ponderosae*. Se diferencia de *D. approximatus* por poseer un cuerpo más delgado, los granulos del declive elitral se encuentran en una sola serie más espaciados. De *D. ponderosae* se diferencia por poseer un cuerpo más esbelto, liso, brillante, declive elitral interestriado y las hembras poseen un callo pronotal transversal (Wood, 1982). Se le ha registrado desde el sur de los Estados Unidos hasta Nicaragua, se encuentra asociado a *Pinus arizonica* Engelm., *P. ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schltld., *P. douglasiana* Martínez, *P. engelmannii* Carrière, *P. hartwegii* Lindl., *P. herrerae* Martínez, *P. leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham., *P. maximinoi* H.E. Moore, *P. montezumae* Gordon & Glend., *P. oocarpa* Schiede ex Schltld., *P. patula* chltld. & Cham., *P. pinceana* Gordon & Glend., *P. ponderosa* P. Lawson & C. Lawson, *P. pringlei* Shaw, *P. pseudostrobus* Brongn., *P. rudis* Endl., *P. tenuifolia* Salisb. y *P. teocote* Schltld. & Cham. (Atkinson, 2020).

*D. approximatus* es una especie que mide entre 4.5-7.0 mm (machos), puede confundirse con *D. mexicanus* y *D. frontalis*, sin embargo, es más más grande y las estrías del declive elitral están suavemente impresas (Wood, 1982). Se le conoce desde el sur de los Estados Unidos hasta Nicaragua. Esta asociada a *P. arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. chihuahuana*, *P. devoniana*, *P. duranguensis*, *P. engelmannii*, *P. hartwegii*, *P. herrerae*, *P. jeffreyi*, *P. lawsoni*, *P. leiophylla*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. ponderosa*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. stobiformis* y *P. teocote* (Atkinson, 2020).

*D. frontalis* es una especie que mide de 2.0-3.2 mm, es muy similar a *D. brevicornis* (Wood, 1982) y a *D. mesoamericanus*, tradicionalmente mucho de los ataques a árboles de pino se le adjudican a esta especie, sin embargo, posee un alto traslape de nicho con *D. mesoamericanus*, está última fue descrita recientemente (Armendáriz-Toledano, Niño, Sullivan, Kirkendall, & Zúñiga, 2015). La distribución geográfica de *D. frontalis* va desde el norte de los Estados Unidos hasta Nicaragua, se encuentra asociada con *P. caribaea* Morelet, *P. chihuahuana* Engelm., *P. clausa* (Chapm. ex Engelm.) Sarg., *P. echinata* Mill., *P. engelmannii* Carrière, *P. glabra* Walter, *P. greggii* Engelm. ex Parl., *P. oocarpa* Schiede ex Schltl., *P. palustris* Mill., *P. ponderosa* P. Lawson & C. Lawson, *P. pringlei* Shaw, *P. pseudostrobus*, *P. rigida* Mill., *P. strobus* L., *P. taeda* L. y *P. virginiana* Mill (Atkinson, 2020).

*D. mesoamericanus* es una especie muy similar a *D. frontalis*, se pueden diferenciar por las arrugas del pronoto ubicadas en el margen anterior de los laterales y por la forma de los escleritos genitales del saco interno del pene del macho. Se distribuye desde Oaxaca y Michoacán en México hasta Nicaragua. Se encuentra asociada a *P. caribaeae*, *P. maximinoi*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pringlei* y *P. pseudostrobus*.

La especie de descortezador *D. parallelocolis* mide entre 4.9-6.3 mm, se distingue de *D. terebrans* por el pronoto subcilíndrico que carece de constricción anterior, los elitros con más esculturas sobre el disco y tienen diferente distribución (Wood, 1982). Se distribuye desde el norte de México hasta Nicaragua, se encuentra asociada a *P. arizonica*, *P. devoniana*, *P. douglasiana*, *P. durangensis*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pringlei*, *P. pseudostrobus*, *P. tenuifolia* y *P. teocote* (Atkinson, 2020).

*D. valens* es una especie que mide entre 5.3-8.3 mm (machos), es similar de *D. terebrans* por el color café rojizo, puntuaciones más pequeñas en las áreas laterales del pronoto, menos gránulos en el declive elitral y varía en distribución (Wood, 1982). Se distribuye desde Canadá hasta Nicaragua y se encuentra asociada *Abies concolor*, *Larix laricina*, *Picea excelsa*, *Picea glauca*, *Picea rubens*, *P. arizonica*, *P. ayacahuite*, *P. contorta*, *P. coulteri*, *P. devoniana*, *P. douglasiana*, *duranguensis*, *P. echinata*, *P. edulis*, *P. engelmannii*, *P. filifolia*, *P. flexilis*, *P. greggii*, *P. hartwegii*,

*P. herrerae*, *P. jeffreyi*, *P. lambertiana*, *P. lawsoni*, *P. leiophylla*, *P. lumholtzii*, *P. maximinoi*, *P. monophylla*, *P. montezumae*, *P. monticola*, *P. murrayana*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. ponderosa*, *P. pseudostrobis*, *P. quadrifolia*, *P. radiata*, *P. resinosa*, *P. rigida*, *P. sabiniana*, *P. strobiformis*, *P. strobis*, *P. sylvestris*, *P. tenuifolia*, *P. teocote* y *P. virginiana* (Atkinson, 2020).

*D. vitei* es una especie que mide entre 2.6-4.6 mm, es casi de color negro; es muy similar a *D. mexicanus* Hopkins, sin embargo, se le puede distinguir por ser más grande, más oscura y por la escultura del pronoto y los élitros. Esta especie ocurre a elevaciones mayores de los 2000 m y en Guatemala se le ha registrado en Patzún, Chimaltenango (Wood, 1982). *D. vitei* se conoce de México y Guatemala, los hospederos que se han identificado son *P. maximinoi*, *P. michoacana* Martínez, *P. montezumae* Lamb., *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. pseudostrobis*, *P. tenuifolia* y *P. teocote* (Atkinson, 2020).

Por otra parte el grupo de ambrosiales de mayor importancia comercial para Guatemala por los daños que ejerce sobre los bosques naturales y plantaciones forestales es el género *Ips*. Para Guatemala se conocen cinco especies, entre las que se encuentran *I. apache* Lanier, *I. bonansei* (Hopkins), *I. cribricollis* (Eichhoff), *I. integer* (Eichhoff) e *I. lecontei* Swaine.

*I. apache* se distribuye desde Arizona hasta Panamá, en Guatemala se le ha registrado en Baja Verapaz y Chichicastenango. Se encuentra asociada a *P. engelmanni*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobis* y *P. tenuifolia* (Atkinson, 2020).

*I. bonansei* es una especie que se encuentra desde el norte de México hasta Guatemala, de Guatemala se tienen registros de Quetzaltenango, Totonicapán y Guatemala. Se encuentra asociada a *P. duranguensis*, *P. hartwegii*, *P. jeffreyi*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. ponderosa* y *P. pseudostrobis* (Atkinson, 2020).

*I. cribricollis* se encuentra distribuida desde el sur de los Estados Unidos hasta Nicaragua, en Guatemala existen registros de los departamentos de Baja Verapaz y Guatemala. Se le ha encontrado en *P. duranguensis*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. pseudostrobis*, *P. strobiformis*, *P. tenuifolia* y *P. teocote* (Atkinson, 2020).

*I. integer* es una especie que se distribuye desde British Columbia en Canadá hasta Guatemala, en Guatemala se encuentra en los departamentos de Sololá y Totonicapán. Se le ha encontrado asociada a *A. concolor*, *P. arizonica*, *P. chihuahuana*, *P. contorta*, *P. cooperi*, *P. duranguensis*, *P. engelmannii*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. ponderosa*, *P. pseudostrobus* y *P. tenuifolia* (Atkinson, 2020).

*I. lecontei* se encuentra distribuida desde el sur de los Estados Unidos hasta Honduras. De Guatemala existe un registro pero es incierta su ubicación. Se encuentra asociada con *P. arizonica*, *P. duranguensis*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. ponderosa* y *P. pseudostrobus* (Atkinson, 2020).

### Aceites esenciales

Los aceites esenciales son compuestos que están formados por varias sustancias orgánicas de cinco clases dependiendo de su estructura química como alcoholes, cetonas, aldehídos, ésteres, lactonas y óxidos, estos que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas, confinados en el tejido el cual se denomina micela. En temperatura ambiente son líquidos volátiles en su mayoría insolubles en agua debido a su volatilidad son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua. Por el momento no se conoce la utilidad exacta de estos compuestos en la planta, pero se le atribuye beneficios como reguladores de temperatura, al momento de liberar los vapores, como atractivo para los insectos polinizadores o como repelentes para los insectos dañinos.

Los aceites esenciales, resinas y otras sustancias aromáticas de varias plantas, como pinos y cítricos están compuestos por sustancias químicas llamadas terpenos, se conocen más de 35,000 terpenoides distintos, estos son los responsables del olor característico del pino. Los terpenos se clasifican en terpenoides y no terpenoides; los no terpenoides son sustancias alifáticas de cadena corta, aromáticas, con azufre y nitrogenadas que no poseen usos y aplicaciones de importancia como los que los terpenoides, estos son los más importantes por las propiedades que presentan y sus usos comerciales como en la industria química-farmacéutica, cosmética, textil, biocidas e insecticidas y para la elaboración de artículos de limpieza (Iñíguez Guillén et al., 2018).



## 8. ESTADO DEL ARTE

Los escarabajos descortezadores (Coleoptera: Scolytinae) poseen relevancia forman parte de las redes de interacciones bióticas dentro de los bosques naturales, en donde contribuyen a la formación de parches de regeneración del bosque que además son hábitat de especies que viven en los árboles o tejidos muertos o bien están asociados a las plantas pioneras. Los escarabajos descortezadores contribuyen al reciclaje de nutrientes, raleo del dosel, a la dinámica de claros y biodiversidad, a la conformación de la estructura del suelo, con los sistemas hidrológicos, regímenes de perturbación y patrones de sucesión ecológica (Raffa et al., 2015).

En contraparte, los escarabajos descortezadores también son especies que tienen importancia comercial dentro de la industria forestal y en la conservación de bosques naturales por los efectos adversos que pueden tener sobre las plantaciones o los bosques cuando ocurren infestaciones. Las infestaciones en plantaciones y bosques naturales pueden ocurrir por diversas causas de origen natural hasta causas antropogénicas, tales como: El debilitamiento de los árboles por incendios forestales (Hicke, Meddens, & Kolden, 2015), enfermedades (Kolb et al., 2016), impacto de rayos (Eckberg, Schmid, Mata, & Lundquist, 1994), mal manejo de las plantaciones, pobre estructura genética en plantaciones (Six, Vergobbi, & Cutter, 2018), perturbación de los bosques e introducción de especies de descortezadores no nativas (Johnson, Hayes, Rinehart, Sheppard, & Smith, 2008); entre otras.

En Norte América una de las especies de escarabajos descortezadores que más daños causa a los bosques de coníferas es *Dendroctonus ponderosae* Hopk., la cual es una especie que generalmente ataca a algunos árboles dañados; sin embargo, diferentes factores pueden desencadenar infestaciones que se han extendido sobre extensiones muy grandes, principalmente en las Montañas Rocosas (Estados Unidos). y en British Columbia (Canadá). *D. ponderosae* se encuentra asociado a especies de pino de *Pinus contorta* Douglas ex Loudon, *Pinus ponderosa* P. Lawson & C. Lawson y *Pinus monticola* Douglas ex D. Don, sin embargo, pueden atacar a otras especies de pinos que se encuentren dentro de su rango de distribución (Safranyik & Carroll, 2006).

En Centro América se han detectado brotes de escarabajos de la madera y Ambrosia en diferentes épocas que han devastado los bosques nativos, en su mayor parte los gorgojos descortezadores que han provocado dichas infestaciones pertenecen al género *Dendroctonus* d (Vité, Luhl, & Renwick, 1975). Para Guatemala, se han reportada 67 géneros y 273 especies de gorgojos descortezadores y de Ambrosia. Del género *Dendroctonus* se han reportado siete especies para Guatemala, y del género *Ips* se han reportado cinco especies; las especies de *Ips* también son especies importantes de plagas (Wood, 1982).

De acuerdo con Billings et al. (2004), entre 1999 y 2003 se perdieron cerca de 90,000 Ha de bosques de pino en Centro América debido a infestaciones de gorgojos descortezadores. Uno de los efectos colaterales de las infestaciones fue la acumulación de grandes cantidades de combustible, por la muerte de los pinos, que posteriormente causaron incendios forestales devastadores en la región. Honduras ha sido uno de los países más afectados de Centro América, especialmente en los bosques de *P. caribea* Morelet y *P. oocarpa* Schiede ex Schltldl., en la década de los 1960-1970 se perdieron cerca de 2 millones de hectáreas por infestaciones de *D. frontalis*. Posteriormente a principios de la década del 2000-2010 se registraron cerca de 11650 infestaciones, casi 25000 hectáreas de bosque se vieron afectadas. Hasta el 2016 se estima que se han visto afectadas casi 500,000 hectáreas, las infestaciones han llegado hasta los bosques que se encuentran en la frontera con Guatemala en los departamentos de Izabal, Zacapa y Chiquimula.

En Guatemala, los daños más severos han ocurrido en la región occidental en donde la principal plaga ha sido *D. adjunctus* y ha afectado cerca de 100,000 ha de bosques de *P. hartwegii* Lindl. (Vité, 1980). En Petén las infestaciones de *D. frontalis* causaron la pérdida de los bosques naturales de *P. caribae*. En el departamento de Chiquimula en donde se encuentra la Reserva de Biosfera Trifinio se han registrado varias infestaciones, sin embargo, no se han documentado (Com. Pers. Milton Urzúa 2017, encargado de áreas protegidas de CONAP oriente).

## **9. OBJETIVO GENERAL**

Contribuir a generar información biológica de los escarabajos descortezadores y ambrosiales que habitan en los bosques de la Reserva de Biosfera Trifinio a fin de generar información de utilidad para su manejo.

## **10. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Caracterizar la estructura química de los aceites esenciales presentes en las coníferas.

Determinar la eficiencia de captura de gorgojos de la madera y Ambrosia de acuerdo con las diferentes concentraciones mezclas de aceites esenciales extraídos de las coníferas.

Modelar la distribución potencial actual y en escenarios futuros de cambio climático de las especies de gorgojos descortezadores y Ambrosiales.

## **11. HIPOTESIS**

- 1) El uso de trampas cebadas con aceites esenciales extraídos de coníferas nativas incrementa la eficiencia de captura de las especies de gorgojos descortezadores y ambrosiales.
- 2) Los escenarios futuros de cambio climático pueden incrementar la idoneidad de hábitat de los gorgojos descortezadores y ambrosiales.

## **12. MATERIALES Y MÉTODOS**

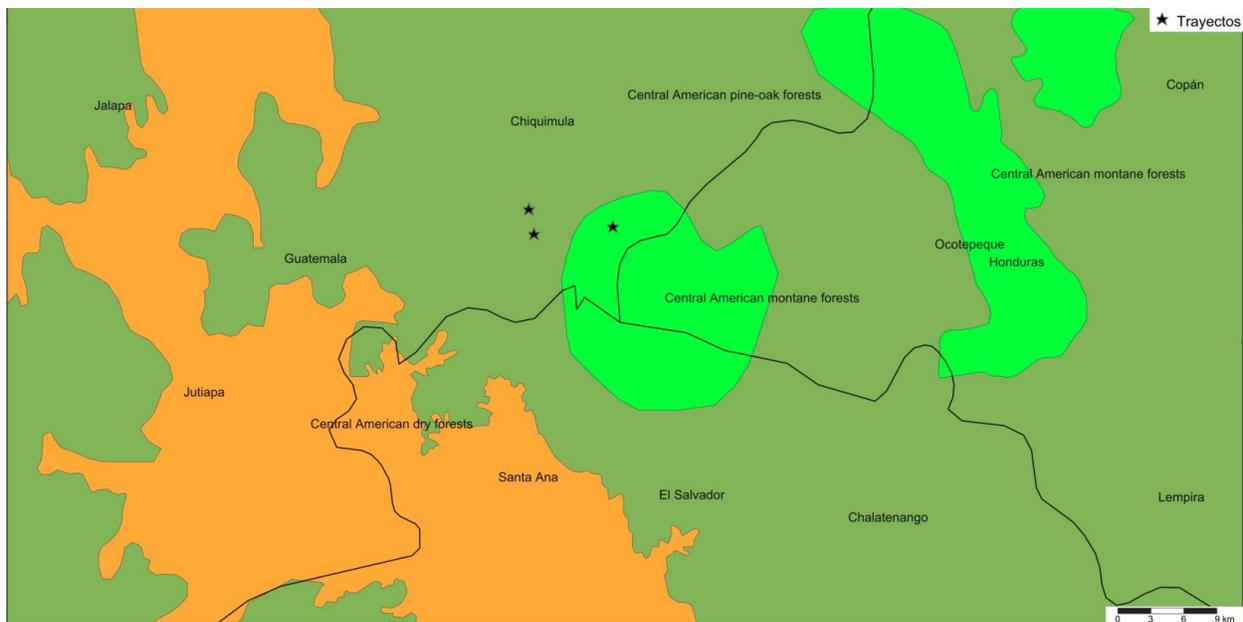
### **Área de estudio**

El estudio se llevó a cabo en la Reserva de la Biosfera transfronteriza Trifinio-Fraternidad en los municipios de Esquipulas y Concepción Las Minas mediante el acuerdo gubernativo 939-87 en Guatemala. La Reserva de la Biosfera es un esfuerzo conjunto de conservación de Guatemala, Honduras y El Salvador, en Guatemala la Reserva de la Biosfera se extiende comprende bosques

de *Pinus oocarpa*, bosque de *Quercus* spp., bosque de *Pinus maximinoi* y bosque de niebla, desde la parte más baja a aproximadamente 600 msnm hasta la parte más alta a más de 2000 msnm.

### Trayectos de monitoreo

La recolección de material vegetal y de los escarabajos descortezadores y ambrosiales se realizó en trayectos de 1500 m de longitud. Los trayectos estuvieron ubicados en Concepción Las Minas en bosque de *P. oocarpa* (936 m, 14.507672N 89.435797O) y en Esquipulas en Bosque de niebla(1551 m, 14.493472N 89.367432O). El material vegetal de especies de pino se colectó *ad libitum* sobre los trayectos hasta juntar suficiente material para destilar. Los escarabajos descortezadores y ambrosiales se colectaron utilizando trampas con botellas PET de 1.5 litros (ver descripción más adelante) distanciadas unas de otras cada 50 metros.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de los trayectos de monitoreo.

### Colecta del material vegetal

Se colectaron hojas y madera de las especies arbóreas con mayor dominancia de los ecosistemas de coníferas. Se seleccionaron 10 individuos de cada especie y se colectarán 5 kilogramos de hojas, 5 kilogramos de madera de las ramas y 5 kilogramos de estróbilos femeninos en desarrollo temprano. Las muestras se etiquetaron con los datos de colecta y con la identificación taxonómica de las especies.

### **Procesamiento del material vegetal para la extracción de aceites**

La molienda se realizó cortando con tijeras de podar para reducir el tamaño de partícula del material vegetal fresco. Seguidamente se tamizó la muestra para lograr un tamaño de partícula homogéneo (procesado en tamiz no. 8 y retenida en tamiz no. 20).

#### **Destilación de aceites por arrastre de vapor**

La materia prima vegetal se cargó en una cámara conectada a un destilador por arrastre de vapor. El vapor de agua se inyectó mediante un distribuidor interno próximo a su base y con la presión suficiente para vencer la resistencia hidráulica del lecho. La mezcla de vapor saturado y aceite esencial, fluyó hacia un condensador, mediante una prolongación curvada del conducto de salida del destilador. En el condensador, se obtuvo una emulsión líquida inestable, la cual, fue separada en un decantador dinámico. Este equipo está lleno de agua fría al inicio de la operación y el aceite esencial se va acumulando, debido a su casi inmiscibilidad en el agua y a la diferencia de densidad y viscosidad con el agua. El proceso terminó cuando el volumen del aceite esencial acumulado en el decantador no varió con el tiempo, todo el proceso de destilación demoró diez horas. Las muestras de aceites esenciales se analizaron por medio de cromatografía de gases.

#### **Colecta de los gorgojos de la madera**

Para la colecta de los gorgojos se utilizaron trampas elaboradas con botellas de PET de 1.5 litros a los cuales se les abrieron dos ventanas y se colocó una pantalla al medio. Las botellas se colgaron

en los árboles de forma invertida y se colocaron a lo largo de un trayecto *ad libitum*. Se realizó un control con etanol al 95% .

Los especímenes capturados se guardaron en viales con etanol al 95% y se les colocó una etiqueta con los datos de colecta. Los especímenes se trasladaron al laboratorio de entomología del Centro Universitario de Zacapa en donde se realizó la identificación taxonómica. Para lo cual se utilizaron estereoscopio, microscopio compuesto, equipo de disección y literatura especializada.

## 13. RESULTADOS DEL PROYECTO

### 13.1 Caracterización de los aceites esenciales de pino

Dentro del área de estudio de la Reserva de Biosfera Trifinio se identificaron dos composiciones vegetales de coníferas. La primera composición vegetal se encuentra dominada por árboles de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., esta se encuentra en la parte baja entre los 750 m y 1500 m; la segunda composición vegetal, dominada principalmente por *Pinus maximinoi* H.E. Moore se encuentra en alturas medias entre los 1500 m y 2000 m.

En el presente estudio se realizó un análisis de las acículas de *Pinus oocarpa* y *Pinus maximinoi* de la Reserva de Biosfera Trifinio. La caracterización de los aceites esenciales se realizó mediante cromatografía de gases y masas. De acuerdo con los cromatogramas (figs. 2 y 3) y los análisis de componentes (tablas 2 y 3) se han identificado más de 200 moléculas en el aceite esencial de *P. oocarpa* y más de 100 moléculas en el aceite esencial de *P. maximinoi*.

### 13.2 Especies de escarabajos descortezadores y ambrosiales asociadas a pinos

Durante el presente estudio se detectaron cinco especies de Curculionidos asociados al ataque de pinos en la Reserva de Biosfera Trifinio en el municipio de Concepción Las Minas. Las especies identificadas fueron *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan (fig. 4), *Corthylus* sp. (fig. 5), *Monarthrum* sp. (fig. 6), *Ips cribricollis* (Eichhoff 1868) (fig. 7), *Cryptocarenum heveae* (fig. 8), *Pityophthorus* sp. (fig. 9) e *Hypothenemus* sp.; adicionalmente se encontró a la especie *Tomolips* sp. asociada a los pinos muertos por ataques de escarabajos descortezadores (figura 10).

En el trayecto de monitoreo que se encuentra en el bosque de *P. oocarpa* se colectaron en trampas con etanol a las especies *Corthylus* sp. (n=5), *Cryptocarenum heveae* (n=6), *Hypothenemus* sp. (n=1) y *Monarthrum* sp. (n=1). En las trampas con etanol en el trayecto de monitoreo que se encuentra en el bosque de *P. maximinoi* se colectó a las especies *Cryptocarenum heveae* (n=60) e *Hypothenemus* sp. (n=1) (tabla 1).

Adicionalmente en colectas manuales en el bosque de *Pinus maximinoi* en árboles infestados se colectaron especímenes de *Ips cribricollis* (Eichhoff 1868) (fig. 7), *Pityophthorus* sp. (fig. 9) *Hypothenemus* sp. y *Tomolips* sp. (fig. 10). En el bosque nuboso del Plan de la Arada en Esquipulas no se colectaron especímenes.

**Tabla 1**

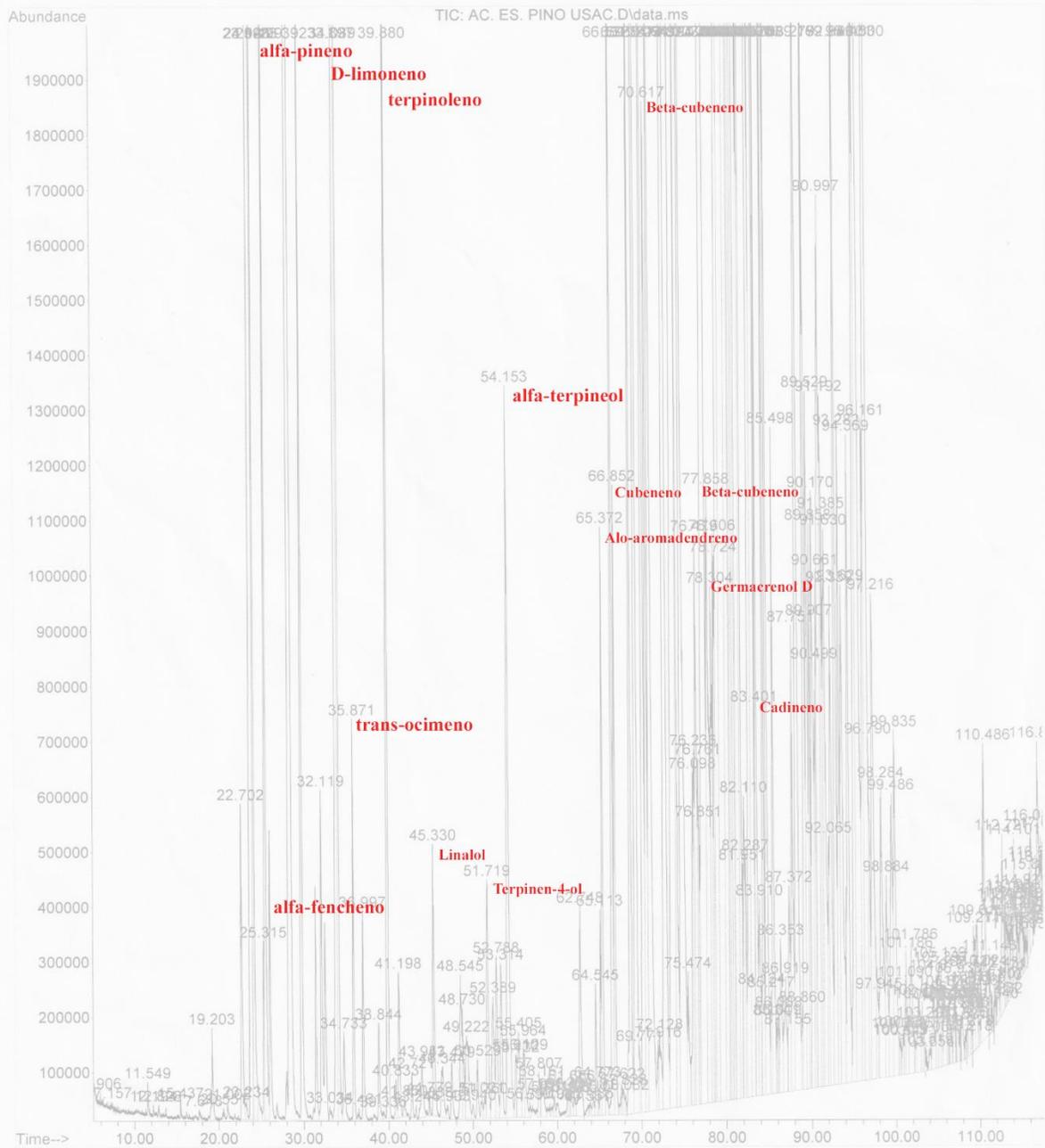
*Especímenes de escarabajos descortezadores y ambrosiales capturados en trampas de etanol y coleta manual.*

<b>Especie</b>	<b>Bosque <i>P. oocarpa</i></b>	<b>Bosque <i>P. maximinoi</i></b>	<b>Bosque nuboso</b>
<i>Corthylus</i> sp.	5	0	0
<i>Cryptocarenum heveae</i>	6	60	0
<i>Hypothenemus</i> sp.	1	1	0
<i>Monarthrum</i> sp.	1	0	0
<i>Dendroctonus mesoamericanus</i>	0	Colecta manual	0
<i>Tomolips</i> sp.	0	Colecta manual	0

### 13.3 Modelos de Nicho Ecológico

De acuerdo a los registros de la colección de insectos del Instituto de Investigaciones del Centro Universitario de Zacapa, una de las especies que mayor daño causa a las plantaciones forestales y bosques naturales es *Dendroctonus mesoamericanus*. En las figuras 11 y 12 se presentan los mapas de distribución potencial actual y en las figuras 14 y 15 se presentan los mapas de distribución potencial al año 2050 utilizando los modelos de circulación general MIROC-ESM bajo un escenario rcp85. Las capas ambientales utilizadas fueron las disponibles para Bioclim (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005).

File :C:\msdchem\1\data\JULIO 2019\AC. ES. PINO USAC.D  
 Operator : DELIA ARRIAZA  
 Acquired : 26 Jul 2019 15:12 using AcqMethod MET ADAMS FRAG ALC Y NO ALC 60 T40-270  
 Instrument : online  
 Sample Name: AC. ES. PINO USAC  
 Misc Info :  
 Vial Number: 2



**Figura 2.** Cromatograma del análisis de los aceites de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en el municipio de Concepción Las Minas.

**Tabla 2**

*Lista de moléculas identificadas en el análisis GC-MS del aceite esencial de Pinus oocarpa Schiede ex Schtdl..*

Peak	RT	Nombre	Peak	RT	Nombre	Peak	RT	Nombre
1	5.907	Geranial	31	41.199	Dihidropara cymene	61	57.991	Carveol I
2	7.156	Isovaleraldehyde	32	41.851	Alcohol c-12 lauric	62	58.16	Carvone
3	11.547	Toluene	33	42.721	Aldehyde c-9	63	59.109	Piperitone
4	12.195	Acetaldehyde	34	43.245	Phenyl propyl aldehyde	64	59.615	Trans-2-Decenal
5	12.826	Geranoxy- Acetaldehyde-I	35	43.953	Linalool	65	59.986	Corynolepyrazine
6	15.436	Chrysantheme	36	44.78	Jaffaral	66	61.181	Bornyl acetate
7	17.646	Hex-3-enol	37	44.838	Floralate	67	61.363	Cedroxyde
8	19.202	Koumalactone	38	45.331	Linalol	68	61.421	Citralva
9	20.552	Acetaldehyde	39	46.343	Fenchyl Alcohol	69	61.657	Heptadecane
10	21.008	Terpinene-Gamma	40	46.934	Citronellyl Tiglate	70	61.964	Spkrambrene-IV
11	22.703	Tricyclene	41	47.477	Campor	71	62.747	Anethole
12	23.232	Thujene-Alpha	42	48.544	Trans-Pinocarveol	72	63.567	Ethyl heptine Carbonte
13	23.989	Pinene-Alpha	43	48.73	Pinocarveol	73	63.885	Patchone I
14	24.049	Pinene-Alpha	44	49.222	para-Cresyl-Acetate	74	64.182	Patchomint
15	24.13	Pinene-Alpha	45	49.941	Tangerinol-LRG-1135-II	75	64.546	Alpha-Bulnesene
16	25.315	Fenchene-Alpha	46	50.529	Geranyl-Tiglate	76	64.772	Allo-Aromadendrene
17	25.497	Camphene	47	51.021	Limonene-1	77	65.113	Sativene
18	28.393	Pinene-Beta	48	51.349	Ambrettolide	78	65.373	Allo-Aromadendrene
19	32.12	Liffarome	49	51.72	Terpinen-4-ol	79	66.531	Alpha-Cubebene
20	33.034	Lilytol	50	52.388	Borneol	80	66.852	Cubebene
21	33.898	D-Limonene	51	52.787	Myrtenal	81	67.621	Gamma-Elemene
22	34.087	Sabinene	52	53.313	Methyl chavicol	82	67.827	Santalol Beta
23	34.732	Ocimene CIS	53	54.154	Terpineol Alpha	83	68.08	Vetivert Oil Unidentified
24	35.87	Ocimene-Trans	54	55.011	Cetonal	84	68.684	Alpha-Ylangene
25	36.46	Acetaldehyde	55	55.132	Cetonal	85	69.353	Alpha-Copaene
26	36.997	Terpinene-Gamma	56	55.406	Miroxyde	86	69.771	Alpha-Guaiene
27	38.843	Pinene-Beta	57	55.963	Thymyl-Methyl-Ether	87	70.21	Beta-Bourbonene
28	39.336	Benzyl Isoamyl Ether	58	56.128	4-(1-Methylethyl)-Benzaldehyhde	88	70.618	Beta-Cubebene
29	39.879	Terpinolene	59	56.709	Acetaldehyde	89	71.061	Elemene
30	40.831	Heptadecane	60	57.806	Carveol I	90	71.915	Allo-Aromadendrene

**Tabla 2***Continuación.*

<b>Peak</b>	<b>RT</b>	<b>Nombre</b>	<b>Peak</b>	<b>RT</b>	<b>Nombre</b>	<b>Peak</b>	<b>RT</b>	<b>Nombre</b>
<b>91</b>	72.127	Valencene	<b>121</b>	83.289	Cadinene	<b>151</b>	92.065	Javanol-Giv. pKI
<b>92</b>	72.782	Logefolene	<b>122</b>	83.401	Cadinene	<b>152</b>	92.338	Tert-Amorphol
<b>93</b>	73.994	Caryophyllene-Beta	<b>123</b>	83.529	Isolongefolene	<b>153</b>	92.848	Tangerinol-LRG-1135-II
<b>94</b>	74.119	Caryophyllene	<b>124</b>	83.91	Isolongefolene	<b>154</b>	93.284	Cedrene-Alpha
<b>95</b>	74.703	Beta-Cubebene	<b>125</b>	84.123	Valencene	<b>155</b>	93.628	Vetivert Oil Unidentified
<b>96</b>	75.472	Alpha-Guaiene	<b>126</b>	84.356	Cerdrene-Alpha	<b>156</b>	94.37	Tert-Amorphol
<b>97</b>	76.097	Germacrend D	<b>127</b>	84.707	Copaene	<b>157</b>	95.099	Cadinol
<b>98</b>	76.235	Germacrend D	<b>128</b>	85.217	Calamene	<b>158</b>	95.403	Alpha-Cadinol
<b>99</b>	76.478	Cubebene	<b>129</b>	85.497	N,N-Dibutyl-1-Butanamine	<b>159</b>	96.163	Vetivert Oil Unidentified
<b>100</b>	76.761	Gamma-Cadinene	<b>130</b>	85.841	Javanol- Giv. pKI	<b>160</b>	96.5	Alpha-Cadinol
<b>101</b>	76.849	Germacrend D	<b>131</b>	86.01	Javanol-Giv. pKI	<b>161</b>	96.79	Allo-Aromadendrene
<b>102</b>	77.308	Alpha-Humulene	<b>132</b>	86.087	Javanol-Giv. pKI	<b>162</b>	97.216	Iso Longifolanone
<b>103</b>	77.858	Beta-Cubebene	<b>133</b>	86.354	Allo-Aromadendrene	<b>163</b>	97.945	Allo-Aromadendrene
<b>104</b>	78.304	Germacrend D	<b>134</b>	86.918	Vetivert Oil Unidentified	<b>164</b>	98.282	Methyl Cyclo Citrone
<b>105</b>	70.608	Germacrend D	<b>135</b>	87.154	Valencene	<b>165</b>	98.883	Valencene
<b>106</b>	78.726	Gamma-Cadinene	<b>136</b>	87.37	Triethyl-Citrate	<b>166</b>	99.487	Iso Longifolanone
<b>107</b>	79.212	Gamma-Cadinene	<b>137</b>	87.751	Timberol	<b>167</b>	99.835	Iso Longifolanone
<b>108</b>	79.873	Germacrend D	<b>138</b>	88.278	Nerolidol	<b>168</b>	100.308	Trimofix-O-II
<b>109</b>	80.309	Germacrend D	<b>139</b>	88.862	Caryophyllene-Beta	<b>169</b>	100.439	Trimofix-O-II
<b>110</b>	80.414	Germacrend D	<b>140</b>	89.169	Spirambrene-III	<b>170</b>	100.551	Trimeofix
<b>111</b>	80.515	Germacrend D	<b>141</b>	89.503	Vetivert Oil Unidentified	<b>171</b>	100.827	Vetivert Oil Unidentified
<b>112</b>	80.667	Germacrend D	<b>142</b>	89.858	Copaene	<b>172</b>	101.091	Javanol-Giv. pKI
<b>113</b>	80.954	Allo-Aromadendrene	<b>143</b>	89.908	Copaene	<b>173</b>	101.185	Alpha-Guaiene
<b>114</b>	81.068	Germacrend D	<b>144</b>	90.168	Methyl Cyclo Citrone	<b>174</b>	101.786	Farnesyl-Acetate-III
<b>115</b>	81.419	Alpha-Muurolene	<b>145</b>	90.499	Exolide-I	<b>175</b>	102.167	Javanol-Giv. pKI
<b>116</b>	81.696	Cadinene	<b>146</b>	90.661	Exolide-I	<b>176</b>	102.613	Iso Longifolanone
<b>117</b>	81.953	Sinensal	<b>147</b>	90.998	Exolide-I	<b>177</b>	103.099	Allo-Aromadendrene
<b>118</b>	82.111	Germacrend D	<b>148</b>	91.191	Exolide-I	<b>178</b>	103.517	Sandiff-I(IFF)
<b>119</b>	82.287	6,9 Guaiadiene	<b>149</b>	91.387	Exolide-I	<b>179</b>	103.517	Vetivert Oil Unidentified
<b>120</b>	82.766	Gamma-Cadinene	<b>150</b>	91.63	Triplal-I (IFF)	<b>180</b>	103.656	Trimofix

**Tabla 2***Continuación.*

<b>Peak</b>	<b>RT</b>	<b>Nombre</b>	<b>Peak</b>	<b>RT</b>	<b>Nombre</b>	<b>Peak</b>	<b>RT</b>	<b>Nombre</b>
<b>181</b>	104.054	Javanol-Giv. pkII	<b>209</b>	110.487	Thujopsene	<b>237</b>	115.564	Decatone
<b>182</b>	104.361	Citralva	<b>210</b>	111.149	Aphermate (IFF) -II	<b>238</b>	115.891	Indisian-M
<b>183</b>	104.878	Indisian-M	<b>211</b>	111.341	Vertivert Oil Unidentified	<b>239</b>	116.084	Hexadecanolide
<b>184</b>	105.138	Trimofix-O-I	<b>212</b>	111.449	Javanol-Giv pk I	<b>240</b>	116.658	Sandiff-IV(IFF)
<b>185</b>	105.398	Logefolene	<b>213</b>	111.709	Indisian-M	<b>241</b>	116.715	Cedroxyde
<b>186</b>	105.833	Sandela gd	<b>214</b>	111.831	Trimofix-O-I	<b>242</b>	116.884	Aphermate (IFF) -II
<b>187</b>	106.076	Logefolene	<b>215</b>	111.908	Trimofix	<b>243</b>	117.063	Indisian-M
<b>188</b>	106.201	Allo-Aromadendrene	<b>216</b>	112.172	Pinocarveol			
<b>189</b>	106.268	Vertoliff	<b>217</b>	112.432	Decatone			
<b>190</b>	106.336	Alpha-Guaiene	<b>218</b>	112.722	Indisian-M			
<b>191</b>	106.403	Santalol Alpha	<b>219</b>	112.985	Exaltenone			
<b>192</b>	106.933	Trimofix-O-I	<b>220</b>	113.1	Globanone II			
<b>193</b>	107.089	Indisian-M	<b>221</b>	113.279	Globanone I			
<b>194</b>	107.139	Trimofix	<b>222</b>	113.438	Sandiff-IV(IFF)			
<b>195</b>	107.183	Trimofix	<b>223</b>	113.596	Globanone II			
<b>196</b>	107.274	Indisian-M	<b>224</b>	113.718	Decatone			
<b>197</b>	107.581	Javanol-Giv.pkII	<b>225</b>	113.859	Exaltenone			
<b>198</b>	107.676	Indisian-M	<b>226</b>	113.967	Exaltenone			
<b>199</b>	107.848	Amberone-I	<b>227</b>	114.102	Oley Alcohol			
<b>200</b>	108.219	Trimofix	<b>228</b>	114.349	Exaltenone			
<b>201</b>	108.277	Trimofix	<b>229</b>	114.396	Citronellyl-Ethyl-Ether			
<b>202</b>	108.52	Indisian-M	<b>230</b>	114.487	Citronellyl Acetate			
<b>203</b>	108.722	Tabanone-VII	<b>231</b>	114.602	Sandiff-IV(IFF)			
<b>204</b>	108.894	Salvone 7-I	<b>232</b>	114.744	Sandiff-IV(IFF)			
<b>205</b>	109.272	Farnesyl-Acetate-IV	<b>233</b>	114.838	Sandiff-IV(IFF)			
<b>206</b>	109.617	Diocetyl Adipate- Wickenol	<b>234</b>	114.929	Sandiff-I(IFF)			
<b>207</b>	109.816	Amyl-Cinnamic-Alcohol	<b>235</b>	115.129	Decatone			
<b>208</b>	110.025	Diiso Propyl Adipate- Wckwnol.1	<b>236</b>	115.385	Indisian-M			

File :C:\msdchem\1\data\DICIEMBRE 2019\AC. ES. PINO - MANUEL II.D  
 Operator : DELIA ARRIAZA  
 Acquired : 5 Dec 2019 23:19 using AcqMethod MET ADAMS FRAG ALC Y NO ALC 60 T40-270 2 DA.  
 Instrument : online  
 Sample Name: AC. ES. PINO - MANUEL II  
 Misc Info :  
 Vial Number: 5

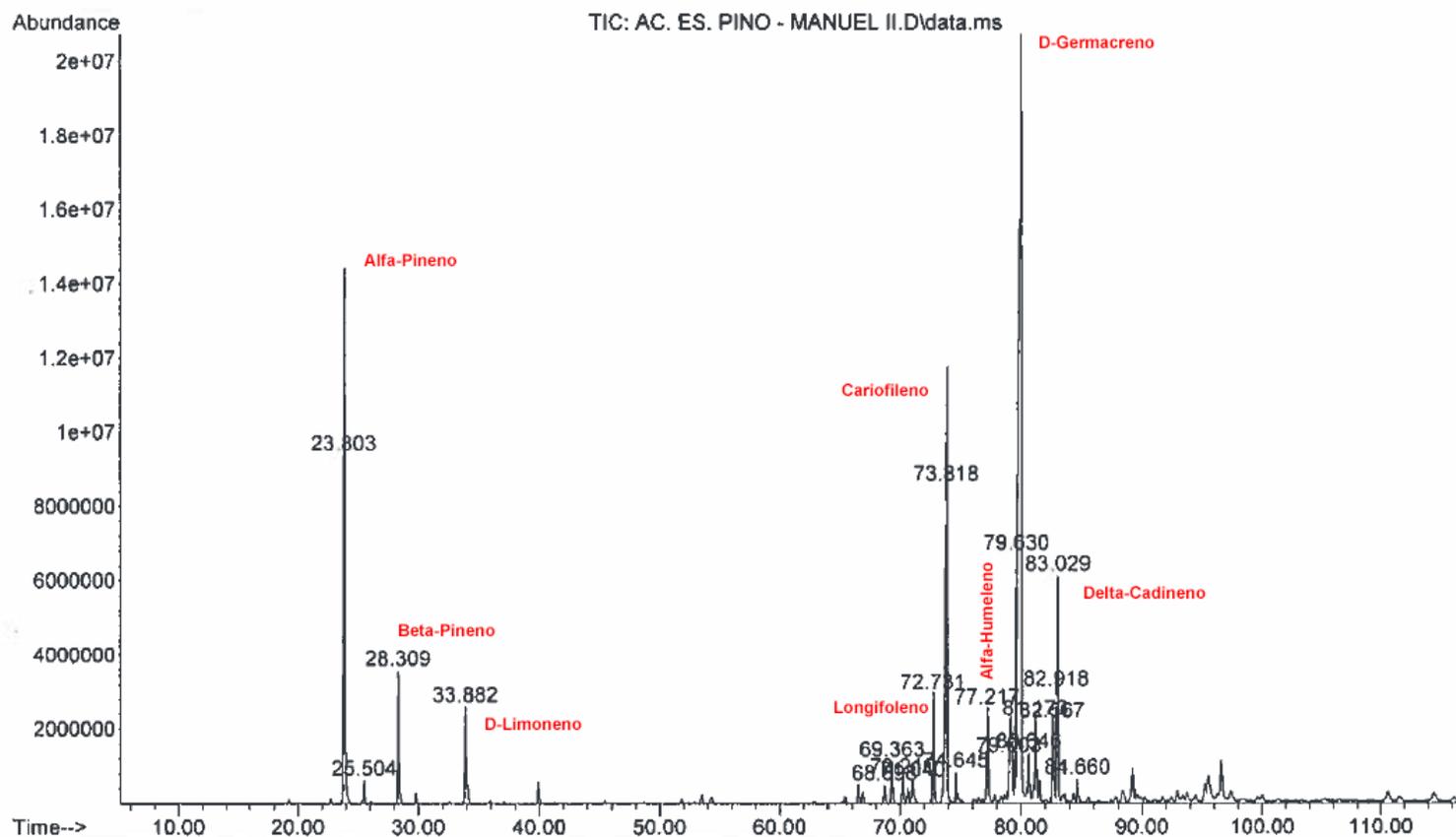


Figura 3. Cromatograma del análisis de los aceites de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en el municipio de Concepción Las Minas.

**Tabla 3**

*Lista de moléculas identificadas en el análisis GC-MS del aceite esencial de Pinus maximinoi H.E.*

Moore.

Peak	RT	Nombre	Peak	RT	Nombre	Peak	RT	Nombre
<b>1</b>	19.229	Koumalactone I	<b>41</b>	76.785	Gamma-Cadinene	<b>81</b>	95.518	Alpha-Cadinol
<b>2</b>	22.713	Tricyclene	<b>42</b>	77.261	Alpha-Humulene	<b>82</b>	96.856	Copaene
<b>3</b>	23.891	Pinene-Alpha	<b>43</b>	77.848	Germacrend	<b>83</b>	96.254	Vetivert
<b>4</b>	25.305	Fenchene-Alpha	<b>44</b>	78.328	Allo-Aromadendrene	<b>84</b>	96.541	Alpha-Cadinol
<b>5</b>	25.497	Camphene	<b>45</b>	78.328	Delta, Cadinene	<b>85</b>	96.99	Guaiene
<b>6</b>	28,329	Pinene-Alpha	<b>46</b>	79.165	Gamma-Cadinene	<b>86</b>	97.347	Iso Longifolanone
<b>7</b>	32.579	Cassis-Base-345B	<b>47</b>	80.009	Germacrend	<b>87</b>	98.363	Timberol
<b>8</b>	33.892	D-Limonene	<b>48</b>	80.464	Valencene	<b>88</b>	99.035	Farnesene
<b>9</b>	34.088	Sabinene	<b>49</b>	80.646	Copaene	<b>89</b>	99.589	Iso Longifolanone
<b>10</b>	35.914	Ocimene	<b>50</b>	80.991	Cadinene	<b>90</b>	99.589	Safraleine
<b>11</b>	37.041	Terpinene-Gama	<b>51</b>	81.203	Alpha-Muurolene	<b>91</b>	101.01	Acetaldehyde
<b>12</b>	39.927	Terpilonene	<b>52</b>	81.507	Cadinene	<b>92</b>	101.378	Indisan- M
<b>13</b>	41.328	Dihydropara	<b>53</b>	82.037	Germacrend	<b>93</b>	101.955	Mint-Sulfide
<b>14</b>	45.425	Ocimene	<b>54</b>	82.608	Gamma-Cadinene	<b>94</b>	102.822	Acetaldehyde
<b>15</b>	48.669	Pinocarveol	<b>55</b>	83.023	Cadinene	<b>95</b>	103.342	Indisan- M
<b>16</b>	51.798	Terpinen-4-ol	<b>56</b>	83.421	Calamene	<b>96</b>	104.453	Acetaldehyde
<b>17</b>	52.415	Mayol	<b>57</b>	83576	Calamene	<b>97</b>	104.621	Vetivert
<b>18</b>	52.864	Myrtenal	<b>58</b>	83.931	Gamma-Cadinene	<b>98</b>	105.266	Indisan- M
<b>19</b>	53.482	Methyl chavicol	<b>59</b>	84.299	Cedrene-Alpha	<b>99</b>	105.546	Vetivert
<b>20</b>	54.258	Tricyclene	<b>60</b>	82.66	Cubenene	<b>100</b>	105.87	Methyl Cyclo
<b>21</b>	62.848	Methyl chavicol	<b>61</b>	85.261	Calamene	<b>101</b>	106.508	Dihydroambrate
<b>22</b>	64.58	Beta-Bourbonene	<b>62</b>	85.551	Dibutyl	<b>102</b>	107.112	Acetaldehyde
<b>23</b>	65.144	Sativene	<b>63</b>	86.418	Caryophellene	<b>103</b>	107.43	Indisan- M
<b>24</b>	65.424	Farnesene	<b>64</b>	87.407	Triethyl-Citrate	<b>104</b>	107.781	Indisan- M

<b>25</b>	66.551	Alpha-Cubene	<b>65</b>	87.765	Beta-Bourbonene	<b>105</b>	108.81	Vetivert
<b>26</b>	66,889	Cedrene-Alpha	<b>66</b>	88.403	Nerolidol	<b>106</b>	108.986	Santalyl-Acetate
<b>27</b>	68.705	Alpha-Ylangene	<b>67</b>	89.193	Caryophellene	<b>107</b>	109.347	Nerolidpl
<b>28</b>	69.366	Alpha-Copaene	<b>68</b>	89.584	Farnesene	<b>108</b>	110.599	Ocimene- Trans
<b>29</b>	70.217	Beta-Bourbonene	<b>69</b>	89.854	Alpha-Ylangene	<b>109</b>	111.217	Acetaldehyde
<b>30</b>	70.649	Germacrend	<b>70</b>	90.188	Oxapirane	<b>110</b>	111.558	Methyl para cresol
<b>31</b>	71.04	Elemene	<b>71</b>	90.992	Trimofix	<b>111</b>	112.86	Acetaldehyde
<b>32</b>	72.745	Logefolene	<b>72</b>	91.701	Cedroxyde	<b>112</b>	114.44	Javanol
<b>33</b>	73.892	Caryophellene	<b>73</b>	92.153	Seychellene	<b>113</b>	116.188	Sandiff- IV
<b>34</b>	74.196	Caryophellene	<b>74</b>	92.382	Tert-Amorphol	<b>114</b>	116.99	Tabanone-VII
<b>35</b>	74.645	Beta-Cubebene	<b>75</b>	92.912	Chrysantheme			
<b>36</b>	74.868	Bergamonte	<b>76</b>	93.382	Beta-Patchoulene			
<b>37</b>	75.111	Germacrend	<b>77</b>	93.685	Allo-Aromadendrene			
<b>38</b>	76.083	Germacrend	<b>78</b>	94.208	Farnesene			
<b>39</b>	76.265	Cadinene	<b>79</b>	94.424	Tert-Amorphol			
<b>40</b>	76.495	Cubenene	<b>80</b>	95.191	Cadinol			



Figura 4. Imagen de *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan de la Reserva de Biosfera Trifinio.



*Figura 5.* Imagen de *Corthylus* sp. de la Reserva de Biosfera Trifinio.



Figura 6. Imagen de *Monarthrum* sp. de la Reserva de Biosfera Trifinio.



*Figura 7. Imagen de Ips cribricollis de la Reserva de Biosfera Trifinio.*



Figura 8. Imagen de *Cryptocarenum heveae* de la Reserva de Biosfera Trifinio.



Figura 9. Imagen de *Pityophthorus* sp. de la Reserva de Biosfera Trifinio.



*Figura 10.* Imagen de *Tomolips* sp. de la Reserva de Biosfera Trifinio.

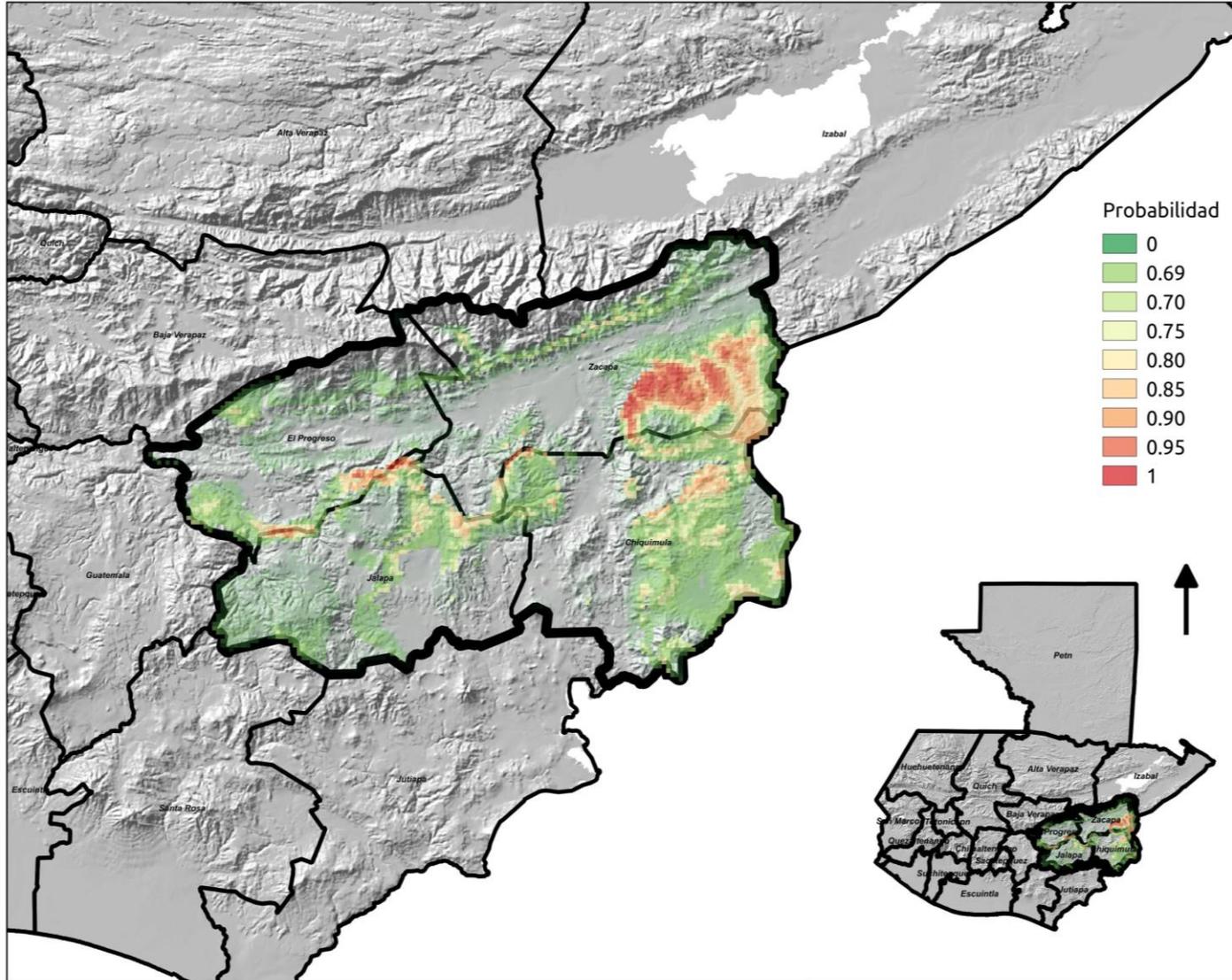


Figura 11. Mapa de distribución potencial de *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa.

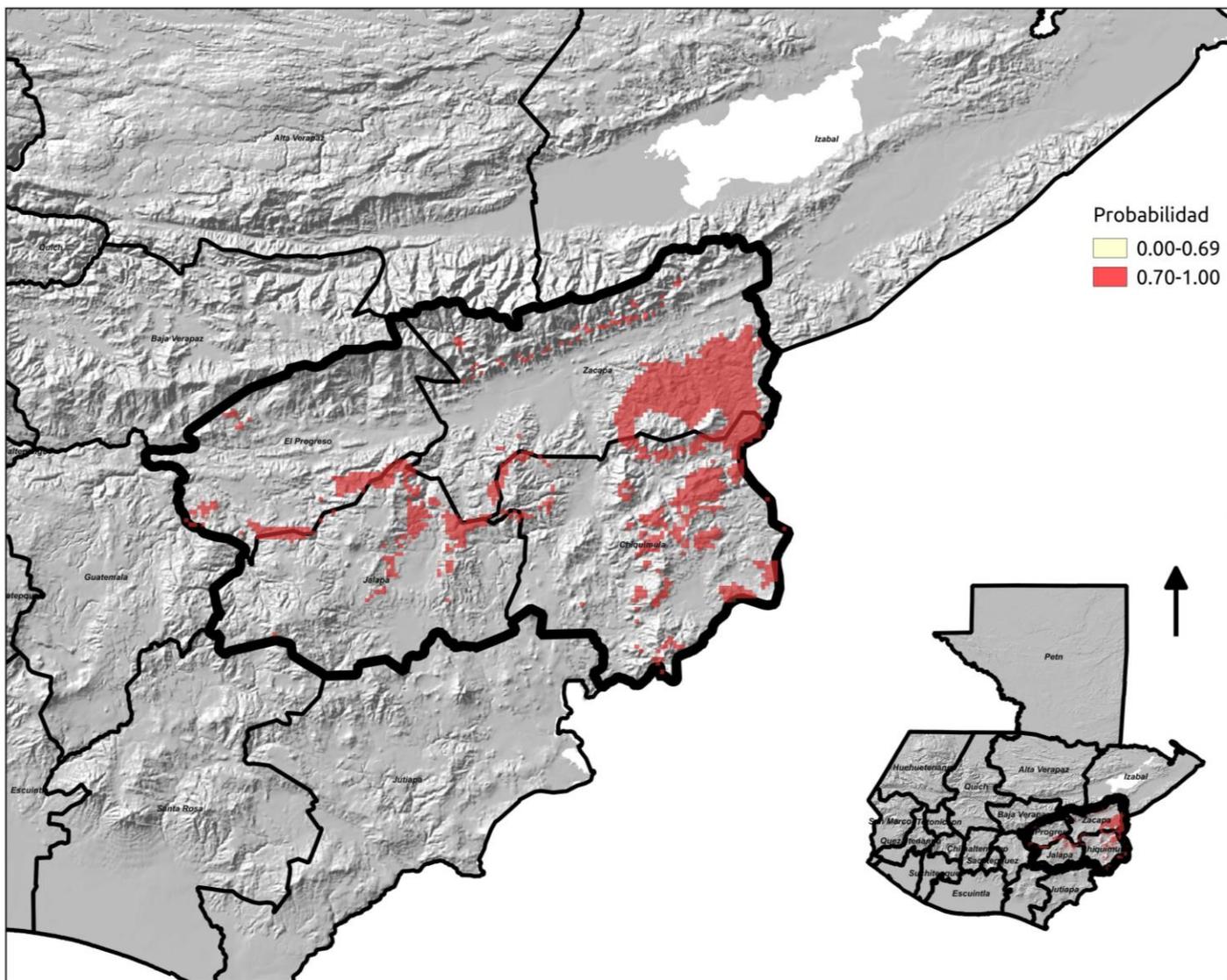


Figura 12. Mapa de distribución potencial de *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan, áreas con 70% de probabilidad de ocurrencia, en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa.

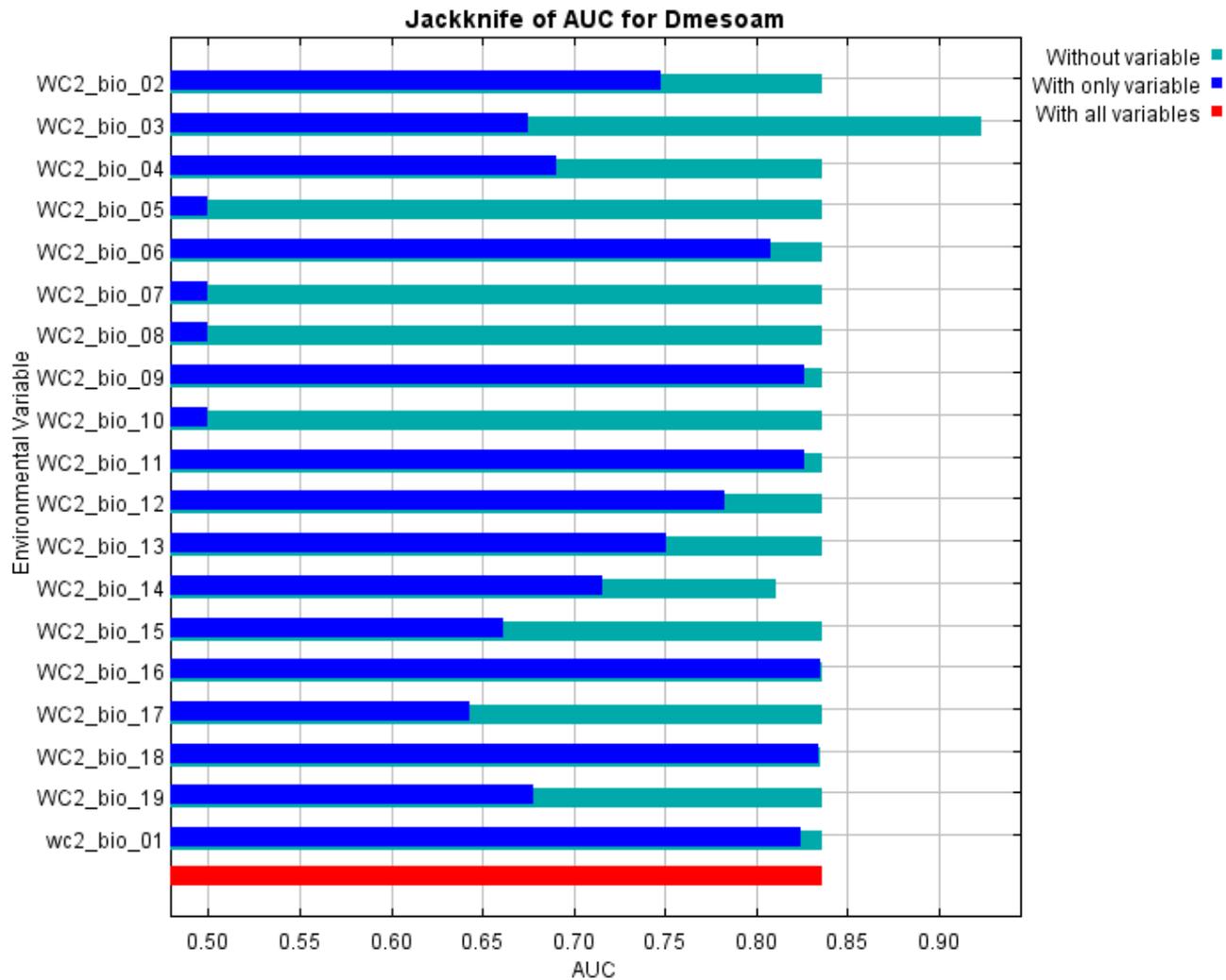


Figura 13. Análisis de contribución de las variables en la generación del modelo de distribución potencial de *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa..

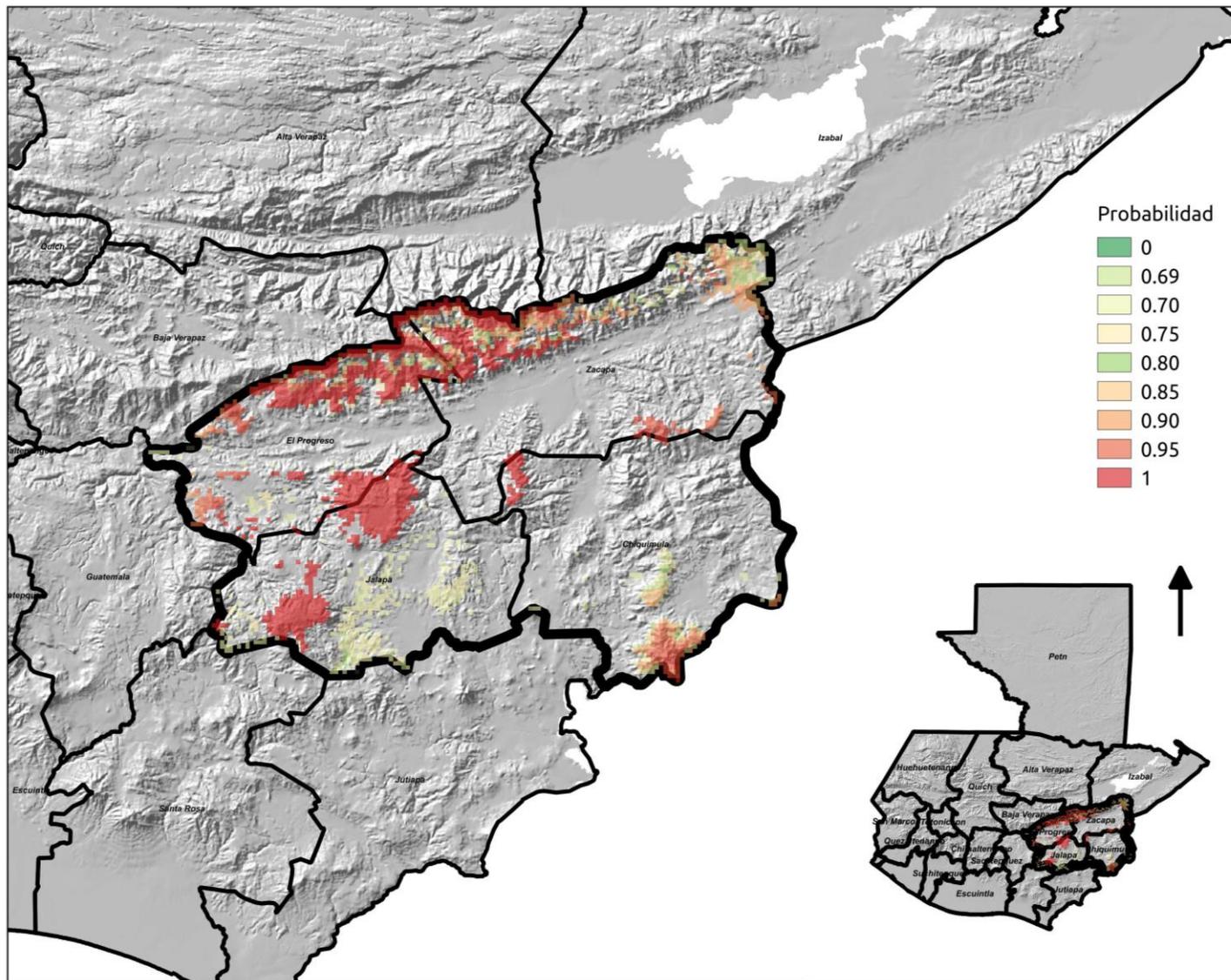


Figura 14. Mapa de distribución potencial, proyección al año 2050, de *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa.

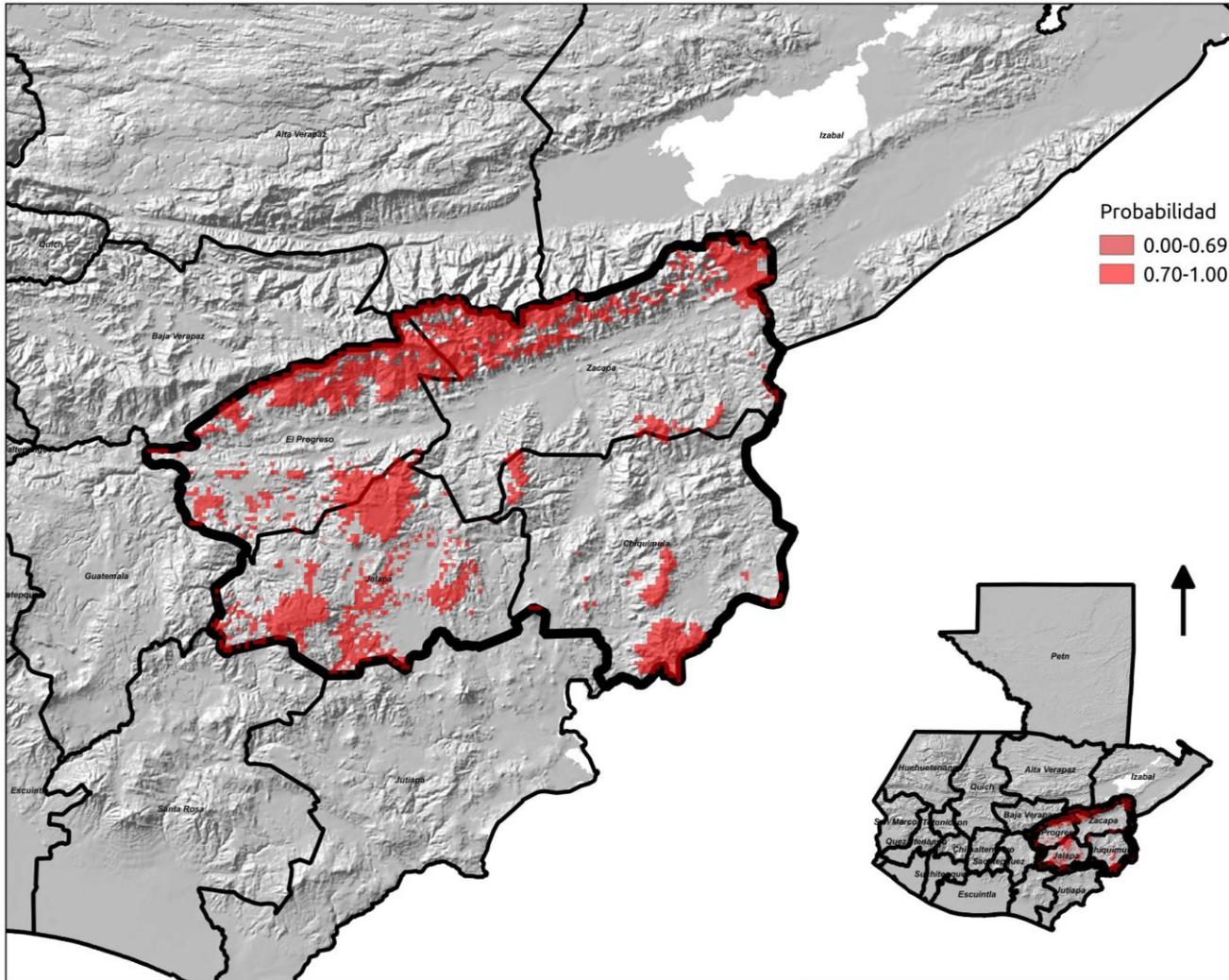


Figura 15. Mapa de distribución potencial, proyección al año 2050 (GCM MIROC-ESM rcp85), de *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan, áreas con 70% de probabilidad de ocurrencia, en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa.

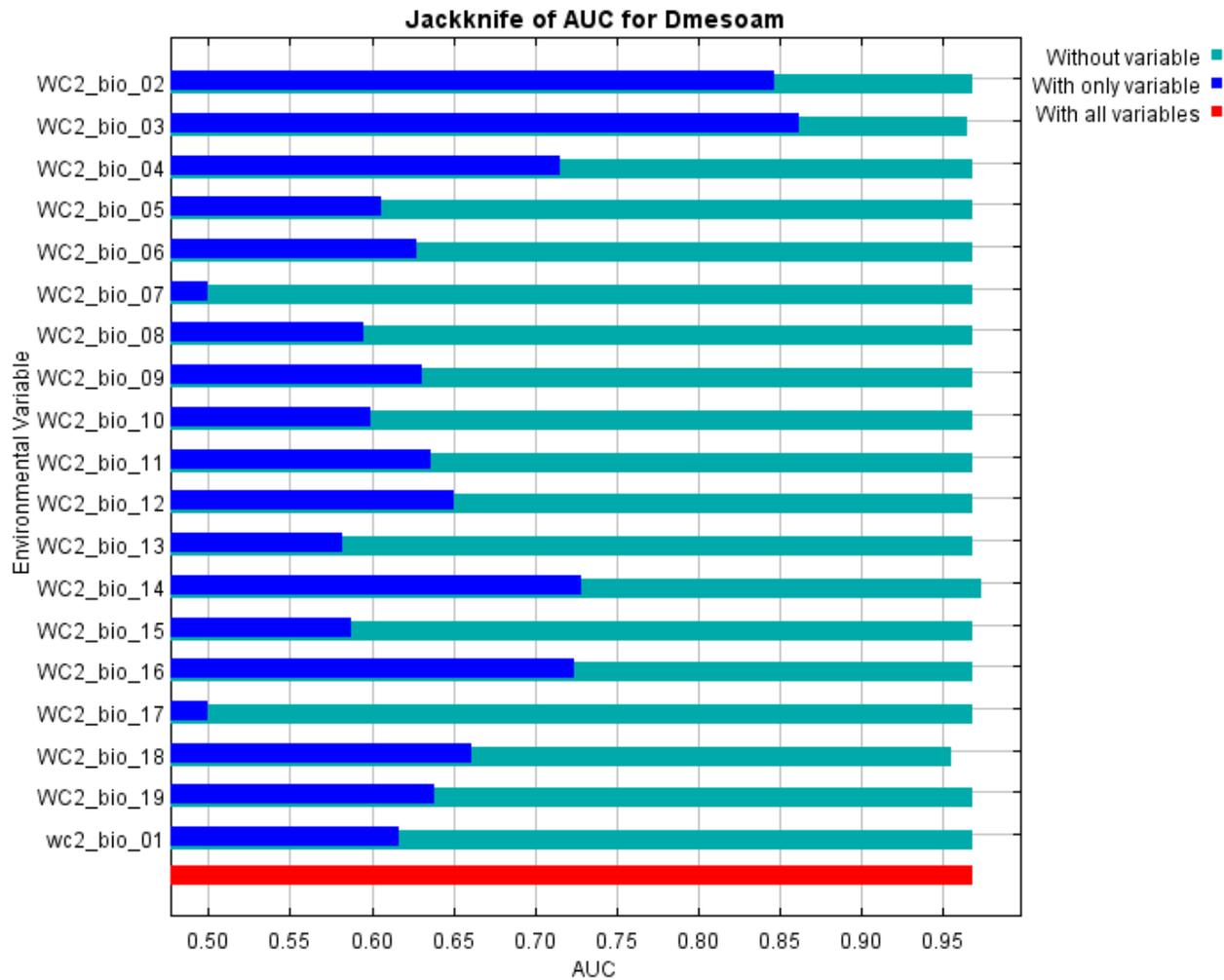


Figura 16. Análisis de contribución de las variables en la generación del modelo, proyección al año 2050 (GCM MIROC-ESM rcp85), de *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa.

### 13.4 Clave para la identificación de los géneros de escarabajos descortezadores y ambrosiales colectados en la Reserva de Biosfera Trifinio (Guatemala)

Dentro del período y área de estudio se colectaron seis especies diferentes que comprenden los géneros *Dendroctonus*, *Corthylus*, *Cryptocarenum*, *Ips*, *Monarthrum* y *Pityophthorus*. Debido a que *D. mesoamericanus* posee una distribución similar a *D. frontalis*, hemos incluido esta última especie dentro de la clave. Las entradas de la clave están basadas en Wood (1982).

Familia Curculionidae

Subfamilia Scolytinae Latreille 1804

- 1 Margen anterior de los élitros elevado, armado con dentaciones, funículo antenal 5-antennomeros, proceso epistomal bien desarrollado, ojo entero.....2
- Margen anterior de los élitros no elevado, desarmado, proceso epistomal variable.....3
- 2 Superficie del margen anterolateral de pronoto con arrugas.....*D. mesoamericanus*
- Superficie del margen anterolateral de pronoto lisa.....*D. frontalis*
- 3 Metanepisterno visible en toda su longitud, declive elitral excavado, bordes con dentaciones....  
.....*Ips*
- Metanepisterno ampliamente cubierto por élitros, declive elitra excavado o no, si excavado entonces sin dentaciones.....4
- 4 Funículo 5-segmentado, ojo entero.....*Cryptocarenum*
- 4 Funículo 2-5 segmentos, ojo emarginado.....5
- 5 Declive elitral convexo, funículo 5-segmentado.....*Pityophthorus*
- Declive elitral excavado, funículo 2-3 segmentos.....6
- 6 Costa en declive elitral elevada, ápice elitral contiguo.....*Corthylus*
- Costa en declive elitral regular, ápice elitral divaricato.....*Monarthrum*

### 13.5 Análisis y discusión de resultados

Aceites esenciales de *P. oocarpa* y *P. maximinoi*

El análisis de los aceites esenciales de los pinos es importante ya que estos son utilizados como atrayentes de los descortezadores o bien son utilizados como moléculas precursoras para la síntesis de feromonas. En *D. ponderosae* Hopkins, al igual que en otras especies de este género, las feromonas de agregación (-)-*trans*-verbenol y *exo*-brevicomina y la hormona de antiagregación frontalina juegan un rol importante en la dinámica de atracción de individuos de ambos sexos para iniciar la colonización de árboles hospederos, alimentarse de estos o bien para la reproducción. El (-)-*trans*-verbenol es secretado por las hembras que inician la colonización (Pitman, VitÉ, Kinzer, & Fentiman, 1968), la *exo*-brevicomina es secretada por los nuevos machos que emergen del árbol colonizado (Song, Delaplain, et al., 2014; Song, Gorzalski, et al., 2014) y frontalina es segregada por machos que se alimentan del árbol (Pureswaran, Gries, Borden, & Pierce, 2000). Tanto el (-)-*trans*-verbenol, la *exo*-brevicomina y la frontalina son sintetizados por diferentes rutas metabólicas a partir del alfa-pineno, uno de los principales componentes de las resinas de los pinos.

Niño-Domínguez, Sullivan, Lopez-Urbina, & Macías-Sámamo, (2018) realizaron un análisis de respuesta de *D. mesoamericanus* a los excrementos de hembras mediante un análisis de electrofisiología y encontraron que los especímenes de *D. mesoamericanus* reaccionaron a los siguientes componentes: alfa-pineno, beta-pineno, 3-careno, Mirceno, Limoneno, Nonanal, Linalool, Longifoleno, Terpinen-4-ol, 2-3 coeluentes, Mirtenol, *cis*-Verbenol, Frontalina y *endo*-Brevicomina. Es importante resaltar que la mayor parte de estas moléculas se encuentran presentes en las muestras de *P. oocarpa* y *P. maximinoi* del área de estudio.

Escarabajos descortezadores y ambrosiales registrados

El descortezador *Dendroctonus mesoamericanus* es una especie descrita recientemente (Armendáriz-Toledano, Niño, Sullivan, Kirkendall, & Zúñiga, 2015), se distribuye desde Michoacán en México hasta el norte de Nicaragua. Anteriormente, a los individuos de *D. mesoamericanus* se les agrupaba dentro de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, sin embargo, a

través de análisis cromosomales, de marcadores moleculares y caracteres de la morfología externa e interna se ha determinado que son dos especies diferentes (Armendáriz-Toledano et al., 2014).

Del género *Corthylus* se conocen más de 80 especies de Centro América y Norte América, En Guatemala el género *Corthylus* está representado por 15 especies: *Corthylus collaris* Blandford 1904, *Corthylus comatus* Blandford 1904, *Corthylus comosus* Wood 1974, *Corthylus concisus* Wood 1974, *Corthylus consimilis* Wood 1974, *Corthylus diligens* Wood 1974, *Corthylus flagellifer* Blandford 1904, *Corthylus fuscus* Blandford 1904, *Corthylus luridus* Blandford 1904, *Corthylus panamensis* Blandford 1904, *Corthylus parvulus* Blandford 1904, *Corthylus praeustus* Schedl 1950, *Corthylus sentus* Wood 1974, *Corthylus trunculus* Wood 1974 y *Corthylus villus* Bright 1972. Las especies de *Corthylus* se encuentran asociadas a Angiospermas (Jaramillo, Ospina, Gil, Montoya, & Benavides, 2011; Wood, 1974) y Gimnospermas (Mecke, Galileo, & Engels, 2001).

El género *Monarthrum* comprende más de 70 especies para Centro América y Norte América, de estas 16 especies se encuentran registradas para Guatemala: *Monarthrum bifoveatum* Wood 1974, *Monarthrum cordatum* (Blandford) , *Monarthrum egenum* (Blandford) 1904, *Monarthrum fimbriaticorne* (Blandford) 1905, *Monarthrum glabrifrons* (Blandford) 1904, *Monarthrum gracilior* (Schedl) 1959, *Monarthrum laterale* (Eichhoff) 1869, *Monarthrum lobatum* (Ferrari) 1867, *Monarthrum luctuosum* (Blandford) 1904, *Monarthrum praeruptum* (Blandford) 1904, *Monarthrum punctifrons* (Blandford) 1904, *Monarthrum quercicolens* Wood 1967, *Monarthrum terminatum* (Blandford) 1904, *Monarthrum tomicoides* (Blandford) 1904, *Monarthrum umbrinum* (Blandford) 1904 y *Monarthrum validum* (Ferrari) 1867.

El género *Ips* al menos 24 especies registradas para Centro América y América del Norte, para Guatemala se conocen *Ips apache* Lanier 1991, *Ips bonanseai* (Hopkins) 1905, *Ips cribricollis* (Eichhoff) 1868, *Ips integer* (Eichhoff) 1869 *Ips lecontei* Swaine 1924.

Las especies del género *Tomolips* se encuentran asociadas a los árboles muertos, estas especies no causan ningún daño a los árboles vivos, se les encuentra frecuentemente debajo de cortezas de árboles en descomposición en sitios húmedos con micelios.

## Modelos de Nicho Ecológico

De acuerdo, con los Modelos de Nicho Ecológico la especie *Dendroctonus mesoamericanus* tiene potencial de encontrarse en los bosques montanos de toda el área de estudio que incluye los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa. Entre las principales áreas se encuentran la Sierra de Las Minas, montaña El Gigante, Sierra del Menrendón, Región Trifinio y los bosques de pino de Jalapa. Al realizar las proyecciones al año 2050 se puede apreciar que la probabilidad de presencia de la especie incrementa y se traslada de unas zonas a otras. En general al comparar los Modelos de Nicho Ecológico de las figuras 12 y 15 se aprecia un incremento en la distribución en la Sierra de Las Minas y en las montañas de Jalapa. Mientras en la Sierra del Merendón se aprecia disminución en el área de ocupación pero una migración a partes más altas; así mismo para el departamento de Chiquimula se aprecia una migración de las condiciones óptimas para la especie de los municipios del norte del departamento hacia los municipios de Quezaltepeque, Concepción Las Minas, Esquipulas y San José la Arada.

De acuerdo al análisis de las variables utilizadas para modelar la distribución potencial actual de *D. mesoamericanus* (fig. 13) las variables que tuvieron mayor asociación con la distribución actual fueron la precipitación del cuatrimestre mas seco, precipitación del cuatrimestre más caliente, la temperatura media anual, la temperatura del mes más seco, la precipitación anual, la precipitación del mes más humedo, el rango medio diurno, la precipitación del más seco, la temporalidad de la temperatura y la isothermalidad.

De acuerdo al análisis de las variables utilizadas para modelar la distribución potencial en escenario futuro de *D. mesoamericanus* (fig. 16) las variables con mayor importancia fueron la isothermalidad, rango diurno medio, la precipitación del mes más seco, la temporalidad de la precipitación y la temporalidad de la temperatura. Estos datos son importantes porque son variables que se consideran serán fuertemente afectadas con el cambio climático global y se ve una clara respuesta de la especie en el modelo.

## 14. CONCLUSIONES

A través de la destilación por arrastre de vapor de los aceites de las acículas de pino, se identificaron más de 100 componentes en el aceite esencial de *Pinus oocarpa* y más de 150 componentes en el estudio de *Pinus maximinoi*. En el estudio de Niño-Domínguez, Sullivan, Lopez-Urbina, & Macías-Sámamo, (2018), se ha determinado que varios de estos componentes (en una evaluación independiente a este estudio) producen una respuesta fisiológica en especímenes de *Dendroctonus mesoamericanus*. Componentes presentes en los aceites de pino de del área de estudio, como el alfa-Pineno son precursores bioquímicos de las feromonas de agregación.

Dentro del área de estudio en la Reserva de Biosfera Trifinio se capturaron a las siguientes especies: *Dendroctonus mesoamericanus* Armendáriz-Toledano & Sullivan (fig. 3), *Corthylus* sp. (fig. 4), *Monarthrum* sp. (fig. 5), *Ips cribricollis* (Eichhoff 1868) (fig. 6), *Cryptocarenum heveae* (fig. 7), *Pityophthorus* sp. (fig. 8) e *Hypothenemus* sp.; adicionalmente se encontró a la especie *Tomolips* sp. asociada a los pinos muertos por ataques de escarabajos descortezadores (figura 9). Las especies con potencial para infestar y dañar plantaciones forestales o bosques naturales son *Dendroctonus mesoamericanus* e *Ips cribricollis*.

En el trayecto de monitoreo en el bosque de *P. oocarpa* se colectaron a las especies *Corthylus* sp., *Cryptocarenum heveae*, *Hypothenemus* sp. y *Monarthrum* sp. En el trayecto de monitoreo que se encuentra en el bosque de *P. maximinoi* se colectó a las especies *Cryptocarenum heveae*, *Hypothenemus* sp., *Ips cribricollis*, *Pityophthorus* sp., *Hypothenemus* sp. y *Tomolips* sp.

La especie de mayor importancia comercial en la región es *D. mesoamericanus* y es de la que se tiene mayor registros por lo que fue la especie más adecuada para elaborar los modelos de nicho ecológico en escenarios actuales y al año 2050. Los modelos de distribución potencial muestran que existen condiciones ambientales similares en los departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa para *D. mesoamericanus*. Así mismo, los modelos a futuro (año 2050) muestran que las condiciones ambientales del hábitat de *D. mesoamericanus* se amplian en algunos municipios y se mueven de lugar en otros municipios. Sin embargo, es importante considerar que

esta especie esta asociada a bosques de pino y algunas zonas a las que se mudan las condiciones ambientales del hábitat probablemente no contengan las condiciones biológicas para la especie.



*Figura 17. Taller con extensionistas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Ganadería de Zacapa.*

## 15. IMPACTO ESPERADO

Con los resultados generados en el presente proyecto se avanza en el conocimiento de la diversidad de escarabajos descortezadores y ambrosiales (Curculionidae: Scolytinae y Platypodinae). Se elaboró una colección de los descortezadores y ambrosiales de la Reserva de Biosfera Trifinio, se elaboró una colección digital que permitirá a través del portal digital del Instituto de Investigaciones de Zacapa realizar consultas y se asesoró la distribución actual y futura de una especie de importancia comercial *Dendroctonus mesoamericanus*.

Adicionalmente como parte de la divulgación del proyecto se realizó una actividad de socialización del proyecto con los extensionistas del Ministerio de Agricultura de Zacapa en donde se presentaron los resultados del proyecto y se elaboró un listado de necesidades en temas de investigación (Fig. 17). También es importante que el encargado de Protección Forestal del Instituto Nacional de Bosques de Zacapa, Ing. Amb. Mynor Eliu Corzo Hernández, fue parte importante del proyecto en la colecta de muestra de descortezadores en el oriente de Guatemala, estas muestras fueron utilizadas para realizar los modelos de nicho ecológico.

## 16. REFERENCIAS

- Anderson, R. S. (1995). An evolutionary perspective on Diversity in Curculionoidea. *Memoirs of the Entomological Society of Washington*, 14, 103–114.
- Armendáriz-Toledano, F., Niño, A., Sullivan, B. T., Kirkendall, L. R., & Zúñiga, G. (2015). A new species of bark beetle, *dendroctonus mesoamericanus* sp. nov. (Curculionidae: Scolytinae), in Southern Mexico and Central America. *Annals of the Entomological Society of America*, 108(3), 403–414. doi: 10.1093/aesa/sav020
- Atkinson, T. H. (2020). Bark and Ambrosia Beetles. Retrieved February 24, 2020, from <https://www.barkbeetles.info/index.php>
- Beaver, R. A. (1989). Insect–Fungus Relationships in the Bark and Ambrosia Beetles. In *Insect-fungus Interactions* (pp. 121–143). doi: 10.1016/b978-0-12-751800-8.50011-2
- Biedermann, P. H. W., Klepzig, K. D., Taborsky, M., & Six, D. L. (2013). Abundance and dynamics of filamentous fungi in the complex ambrosia gardens of the primitively eusocial beetle *Xyleborinus saxesenii* Ratzeburg (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *FEMS Microbiology Ecology*, 83(3), 711–723. doi: 10.1111/1574-6941.12026
- Billings, R. F., Clarke, S. R., Mendoza, V. E., Cabrera, P. C., Figueroa, B. M., Campos, J. R., & Baeza, G. (2004). Bark Beetles outbreaks and fires: a devastating combination for Central America’s pine forests. *Unasylva*, 55(217), 15–21.
- Eckberg, T. B., Schmid, J. M., Mata, S. A., & Lundquist, J. E. (1994). Primary focus trees for the mountain pine beetle in the Black Hills. *Research Note - US Department of Agriculture, Forest Service*, (RM-RN-531). doi: 10.5962/bhl.title.81808
- Felton, A., Petersson, L., Nilsson, O., Witzell, J., Cleary, M., Felton, A. M., ... Lindbladh, M. (2019). The tree species matters: Biodiversity and ecosystem service implications of replacing Scots pine production stands with Norway spruce. *Ambio*. doi: 10.1007/s13280-019-01259-x
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *Bioscience*, 52(2), 143–150.

- Hicke, J. A., Meddens, A. J. H., & Kolden, C. A. (2015). Recent Tree Mortality in the Western United States from Bark Beetles and Forest Fires. *Forest Science*, 62(2), 141–153. doi: 10.5849/forsci.15-086
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. doi: 10.1002/joc.1276
- Iñíguez Guillén, R. M., Esqueda Reyes, H. C., Escoto García, T., Guillermo Ochoa, H., Rodríguez Rivas, A., & Contreras Quiñones, H. J. (2018). Caracterización química de aceites esenciales y extractos de madera de dos especies de pinos del bosque La Primavera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 42–57. doi: 10.29298/rmcf.v6i28.259
- Jepma, C. J. (2014). Tropical deforestation: A socio-economic approach. In *Tropical Deforestation: A Socio-Economic Approach* (Vol. 18). doi: 10.4324/9781315870113
- Johnson, P. L., Hayes, J. L., Rinehart, J., Sheppard, W. S., & Smith, S. E. (2008). Characterization of two non-native invasive bark beetles, *Scolytus schevyrewi* and *Scolytus multistriatus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Canadian Entomologist*, 140(5), 527–538. doi: 10.4039/N07-034
- Jordal, B. H., Sequeira, A. S., & Cognato, A. I. (2011). The age and phylogeny of wood boring weevils and the origin of subsociality. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 59(3), 708–724. doi: 10.1016/j.ympev.2011.03.016
- Kolb, T. E., Fettig, C. J., Ayres, M. P., Bentz, B. J., Hicke, J. A., Mathiasen, R., ... Weed, A. S. (2016). Observed and anticipated impacts of drought on forest insects and diseases in the United States. (Special Section: Drought and US forests: impacts and potential management responses.). *Forest Ecology and Management*, 380, 321–334. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.051>
- Lyon, S. W., Quesada-Pineda, H., & Smith, R. L. (2012). A Case Study to Determine Drivers and Barriers of Appalachian Forest Products in Central America. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 40. doi: 10.18845/rfmk.v9i22.362

- McKenna, D. D., Sequeira, A. S., Marvaldi, A. E., & Farrell, B. D. (2009). Temporal lags and overlap in the diversification of weevils and flowering plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(17), 7083–7088. doi: 10.1073/pnas.0810618106
- Moeck, H. A., Wood, D. L., & Lindahl, K. Q. (1981). Host selection behavior of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) attacking *Pinus ponderosa*, with special emphasis on the western pine beetle, *Dendroctonus brevicomis*. *Journal of Chemical Ecology*, 7(1), 49–83. doi: 10.1007/BF00988635
- Müller, M., & Buchbauer, G. (2011, November). Essential oil components as pheromones. A review. *Flavour and Fragrance Journal*, Vol. 26, pp. 357–377. doi: 10.1002/ffj.2055
- Myers, N., & Tucker, R. (1987). Deforestation in Central America: Spanish legacy and North American consumers. *Environmental Review*, 11(1), 55–71. doi: 10.2307/3984219
- Myers, Norman, Mittermeyer, R. A., Mittermeyer, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. doi: 10.1038/35002501
- Niño-Domínguez, A., Sullivan, B. T., Lopez-Urbina, J. H., & Macías-Sámano, J. E. (2018). Discrimination of Odors Associated with Conspecific and Heterospecific Frass by Sibling Species *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) and *Dendroctonus mesoamericanus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Environmental Entomology*, 47(6), 1532–1540. doi: 10.1093/ee/nvy146
- Oberprieler, R. G., Marvaldi, A. E., & Anderson, R. S. (2007). Weevils, weevils, weevils everywhere. *Zootaxa*.
- Pitman, G. B., VitÉ, J. P., Kinzer, G. W., & Fentiman, A. F. (1968). Bark beetle attractants: trans-verbenol isolated from *dendroctonus*. *Nature*, Vol. 218, pp. 168–169. doi: 10.1038/218168a0
- Pureswaran, D. S., Gries, R., Borden, J. H., & Pierce, H. D. (2000). Dynamics of pheromone production and communication in the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins, and the pine engraver, *Ips pini* (Say) (Coleoptera: Scolytidae). *Chemoecology*, 10(4), 153–168. doi: 10.1007/PL00001818

- Raffa, K. F., Grégoire, J. C., & Lindgren, B. S. (2015). Natural History and Ecology of Bark Beetles. In *Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species* (pp. 1–40). doi: 10.1016/B978-0-12-417156-5.00001-0
- Safranyik, L., & Carroll, A. L. (2006). The biology and epidemiology of the mountain pine beetle in lodgepole pine forests. *The Mountain Pine Beetle – A Synthesis of Biology, Management, and Impacts in Lodgepole Pine*, 11, 3–66. doi: 10.1673/031.011.12701
- Schlesinger, P., Muñoz Brenes, C. L., Jones, K. W., & Vierling, L. A. (2017). The Trifinio Region: a case study of transboundary forest change in Central America. *Journal of Land Use Science*, 12(1), 36–54. doi: 10.1080/1747423X.2016.1261948
- Shin, S., Clarke, D. J., Lemmon, A. R., Moriarty Lemmon, E., Aitken, A. L., Haddad, S., ... Mckenna, D. D. (2018). Phylogenomic data yield new and robust insights into the phylogeny and evolution of weevils. *Molecular Biology and Evolution*, 35(4), 823–836. doi: 10.1093/molbev/msx324
- Six, D. L., Vergobbi, C., & Cutter, M. (2018). Are survivors different? Genetic-based selection of trees by mountain pine beetle during a climate change-driven outbreak in a high-elevation pine forest. *Frontiers in Plant Science*, 9. doi: 10.3389/fpls.2018.00993
- Song, M., Delaplain, P., Nguyen, T. T., Liu, X., Wickenberg, L., Jeffrey, C., ... Tittiger, C. (2014). Exo-Brevicomin biosynthetic pathway enzymes from the Mountain Pine Beetle, *Dendroctonus ponderosae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 53, 73–80. doi: 10.1016/j.ibmb.2014.08.002
- Song, M., Gorzalski, A., Nguyen, T. T., Liu, X., Jeffrey, C., Blomquist, G. J., & Tittiger, C. (2014). Exo-Brevicomin Biosynthesis in the Fat Body of the Mountain Pine Beetle, *Dendroctonus ponderosae*. *Journal of Chemical Ecology*, 40(2), 181–189. doi: 10.1007/s10886-014-0381-9
- Sweeney, J. D., Silk, P., Grebennikov, V., & Mandelshtam, M. (2016). Efficacy of semiochemical-baited traps for detection of Scolytinae species (Coleoptera: Curculionidae) in the Russian Far East. *European Journal of Entomology*, 113(1), 84–97. doi: 10.14411/eje.2016.010

- Tropicos.org. (2020). Retrieved March 18, 2020, from Missouri Botanical Garden website:  
<http://www.tropicos.org>
- Vité, J. P. (1980). *Planificación del control de la plaga del Dendroctonus (in Guatemala)*. En *Planificación del control de la plaga del Dendroctonus y del aprovechamiento de la madera dañada*. Roma.
- Vité, J. P., Luhl, P. R., & Renwick, J. A. (1975). Pine beetles of the genus *Dendroctonus*: pest populations in Central America. *Plant Protection Bulletin*, 23(6), 178–184.
- Waring, R. H., & Pitman, G. B. (1985). Modifying lodgepole pine stands to change susceptibility to mountain pine beetle attack. *Ecology*, 66(3), 889–897. doi: 10.2307/1940551
- Wood, S. L. (1982). The bark and ambrosia beetles of North America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph. *The Great Basin Naturalist Memoirs*, (6), 1–1359.

## 17. ORDEN DE PAGO

Lista de todos los integrantes del equipo de investigación

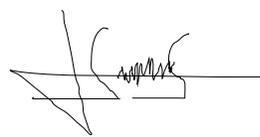
<b>Contratados por contraparte y colaboradores</b>	
Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás	Coordinador e investigador
Ing. Amb. Mynor Eliu Corzó Hernández	Conpartió datos y especímenes de descortezadores

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago DIGI		Firma
			Si	No	
Wendy Maraí Salazar Chinchilla	Investigador I		X		
Miltón Valerio Urzua Duarte	Investigador I		X		
Iván Daniel Alvarado Vargas	Auxiliar de Investigación I		X		



**Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás**  
Coordinador proyecto de investigación



**Ing. Saúl Guerra**  
Coordinadora Programa Universitario de  
Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

**Vo.Bo. Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar,**  
Coordinador General de Programas.