Zacapa, 15 de enero del 2019

M.Sc. Manuel de Jesús Martínez Ovalle Director General de Investigación Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Maestro Manuel Martínez:

Adjunto a la presente el informe final "**Diseño de un método de monitoreo de gorgojos de la madera**" (partida presupuestal 4.8.58), coordinado por el Doctor 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 de acuerdo a la guía de presentación de la Dirección General de Investigación y revisado su contenido en función de los objetivos planteados y productos esperados, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente. Así mismo el coordinador se compromete a dar seguimiento al proceso de revisión, edición del informe final y elaborar el manuscrito científico de calidad para el envío a una revista científica indexada, revisada por pares externos.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

"Id y enseñad a todos"

MSc. Carlos Augusto Vargas Gálvez
Director
Centro Universitario de Zacapa

Universidad de San Carlos de Guatemala Dirección General de Investigación Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial



INFORME FINAL

DISEÑO DE UN METODO DE MONITOREO DE GORGOJOS DE LA MADERA

Equipo de Investigación

Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás Ing. Agr. José María Figueroa Acevedo Licda. Gloria María Sanabria Cabrera Br. Jorge Mario Sosa Mejía

Zacapa, enero de 2019

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE ZACAPA CENTRO UNIVERSITARIO DE ZACAPA M.Sc. Manuel de Jesús Martínez Ovalle Director General de Investigación

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

Inga. Liuba María Cabrera Coordinadora Programa Universitario de Investigación en Desarrollo Industrial

Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás Coordinador del proyecto.

Ing. Agr. José María Figueroa Acevedo Investigador

Licda. Gloria María Sanabria Cabrera Investigadora

Br. Jorge Mario Sosa Mejía Auxiliar de Investigación

Partida Presupuestaria 4.8.58 Año de ejecución: 2018 http://www.iicunzac.com

INDICE

1.	RESUMEN	1
2.	ABSTRACT	2
3.	INTRODUCCION	3
4.	MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	6
5.	MATERIALES Y METODOS	7
6.	RESULTADOS DEL PROYECTO	8
	CAPÍTULO 1. Diseño de un método de teledetección para modelar la biomasa relativa de vegetación arbórea para estudios de ecología de fauna en paisaje naturales y antropizados	8
	Resumen	8
	Abstract	9
	Introducción	9
	Metodología	10
	Resultados	14
	Discusión	21
	Agradecimientos	23
	Referencias	23
	CAPÍTULO 2. Caracterización de los aceites esenciales presentes en acículas de Pino (<i>Pinocarpa</i> Schiede ex Schltdl. y <i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore) de Zacapa, Guatemala	
	Resumen	25
	Abstract	26
	Introducción	26
	Metodología	27
	Resultados	29
	Referencias	38
	CAPITULO 3. Clave para la identificación de escarabajos descortezadores y ambrosiales (Coleoptera: Curculionidae) de los bosques de pino del departamento de Zacapa	40
	Resumen	40
	Abstract	40
	Introducción	40
	Metodología	41
	Resultados	12

	Agradecimientos
	Referencias
7.	MATRIZ DE RESULTADOS
8.	IMPACTO ESPERADO 49
9.	ACTIVIDADES DE GESTION, VINCULACION Y DIVULGACION 49
10.	REFERENCIAS 50
11.	ORDEN DE PAGO
IN	DICE DE ILUSTRACIONES
Ca	pítulo 1.
_	gura 1. Histogramas para las variables de los pinos de la unidad de estudio de Guadalupe,
	gura 2. Análisis de residuales para el modelo lineal generalizado (x=log(cobertura) y
_	og(altura), family=Gaussian, Link=identity)15
	gura 3. Histogramas para las variables de los arboles latifoliados de la unidad de estudio de
	adalupe, Zacapa
Fig	gura 4. Diagrama de densidad de residuos para la variable de altura. A) distribución de los
	iduales sin transformación y B) distribución de los residuales con transformación de BoxCox.
Fig	gura 5. Análisis de residuales para el modelo lineal simple con transformación de Box-Cox
(x=	cobertura y y=altura)
Fig	gura 6. a) Diagrama de distribución espacial de los árboles en la unidad de estudio de
Gu	adalupe, b) Suavización de Kernel, c) Suavización de Kernel con corrección de Diggles, d)
Sua	avización de Kernel con corrección de máxima verosimilitud, e) estimación de la longitud de
bar	nda con corrección de Diggles y f) estimación de la longitud de banda con corrección de
Má	ixima Verosimilitud19
Fig	gura 7. Diagrama de cajas de Tuckey de las abundancias de gorgojos de la madera con los
dif	erentes tratamientos de captura. A) Etanol al 95%, B) Etanol al 95% con aceite esencial, C)
Co	ntrol, agua con jabón20
Fig	gura 8. Análisis de residuales del análisis de varianza de las abundancias de gorgojos de la
ma	dera con los diferentes tratamientos de captura21

Capítulo 2.
Figura 1. Estructura de la molécula de Isopreno, base estructural de los terpenos27
Figura 3. Cromatograma de acículas de <i>Pinus oocarpa</i> de la aldea Guadalupe, Zacapa29
Figura 4. Cromatograma de acículas de Pinus maximinoi de la finca San José El Olvido, El
Progreso
Figura 5. Cromatograma de acículas de Pinus oocarpa de la finca San José El Olvido, El
Progreso
INDICE DE TABLAS
Capítulo 1.
Tabla 1. Modelos evaluados para la ecuación 1. ML: modelo lineal y MLG: modelo lineal
generalizado12
Tabla 2. Parámetros estadísticos para los nueve modelos evaluados para evaluar la relación entre
altura y cobertura de pinos de la aldea Guadalupe
Tabla 3. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Dunn
Capítulo 2.
Tabla 1. Compuestos volátiles encontrados en acículas de Pinus oocarpa de la aldea Guadalupe,
Zacapa
Tabla 2. Compuestos volátiles encontrados en acículas de Pinus maximinoi de la finca San José
El Olvido, El Progreso
Figura 5. Compuestos volátiles encontrados en acículas de <i>Pinus oocarpa</i> de la finca San José El
Olvido, El Progreso

DISEÑO DE UN METODO DE MONITOREO DE GORGOJOS DE LA MADERA

1. RESUMEN

Los gorgojos de la madera (Coleoptera: Curculionidae: Platypodinae y Scolytinae) son uno de los grupos con especies plaga de mayor importancia para los bosques y plantaciones forestales en el mundo. Los metabolitos secundarios presentes en las especies de coníferas, especialmente aceites escenciales, son utilizados por los gorgojos para detectar árboles que poseen potencial de ser colonizados. Dichos aceites esenciales han sido utilizados para el monitoreo de poblaciones de gorgojos de la madera, sin embargo, en Guatemala no se cuenta con extractos de árboles locales. Los objetivos del presente proyecto son: 1) identificar las especies de gorgojos de la madera asociados a las especies de coníferas, 2) determinar la relación de las abundancias y ensambles de gorgojos con variables geoespaciales y ecológicas, 3) caracterizar mediante cromatografía de placa los aceites esenciales presentes en las coníferas, 4) determinar la eficiencia de captura de las diferentes concentraciones y mezclas de aceites esenciales, y 5) proponer un protocolo de monitoreo de gorgojos de la madera para uso de las instituciones encargadas de resguardar los bosques.

El presente informe de investigación se divide en tres capítulos. El primer capítulo se titula "Diseño de un método de teledetección para modelar la biomasa relativa de la vegetación arbórea para estudios de ecología de fauna en paisaje naturales y antropizados" en este primer capítulo ajustamos modelos estadísticos que nos permitieron predecir estas variables y generar un índice de biomasa arbórea relativa. Además, generamos un modelo espacial variegado de la cobertura arbórea a través de la utilización análisis espacial de los árboles mediante técnicas de patrones espaciales puntuales, esto nos permitió establecer además la distancia de la dependencia espacial de los árboles mediante la utilización de correcciones de Diggles y Máxima Verosimilitud sobre las suavizaciones de Kernel. Así mismo, determinamos la atracción de los escarabajos descortezadores y ambrosiales a etanol al 95% y etanol al 95% con una mezcla de monoterpenos y sesquiterpenos extraídos de las hojas de pino.

En el segundo capítulo se presentan los resultados de la "Caracterización de los aceites esenciales presentes en acículas de Pino (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. y Pinus maximinoi H.E. Moore) de Zacapa, Guatemala" extrajimos aceites esenciales por arrastre de vapor de las acículas de *P. oocarpa* y *P. maximinoi* en la Sierra de Las Minas y Sierra de El Merendón en los departamentos de El Progreso y Zacapa. Los compuestos más frecuentes en los extractos fueron α-Pineno, β-Pineno, D-Limoneno, Germacreno D, β-Cariofileno, δ-Cadineno y α-Copaeno; entre otros.

En el tercer capítulo "Clave para la identificación de escarabajos descortezadores y ambrosiales (Coleoptera: Curculionidae) de los bosques de pino del departamento de Zacapa" presentamos el listado de especies encontradas y una clave para la identificación de géneros de los escarabajos descortezadores y ambrosiales de los bosques de pino de Zacapa.

Palabras clave: procesos puntuales, modelación espacial, escarabajos descortezadores, escarabajos ambrosiales, Zacapa.

2. ABSTRACT

Bark and Ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae: Platypodinae and Scolytinae) are one of the groups with the most important pest species of natural forests and tree plantations in the world. The secondary metabolites present in conifer species, especially essential oils, are used by weevils to detect trees that have the potential to be colonized. These essential oils have been used for monitoring populations of wood weevils, however, in Guatemala there are no extracts from local trees indentified. The objectives of the present project are: 1) to identify the wood weevil species associated with the coniferous species, 2) to determine the relationship of abundances and assemblages of weevils with geospatial and ecological variables, 3) to characterize by plaque chromatography the essential oils present in conifers, 4) determine the efficiency of capture of different concentrations and mixtures of essential oils, and 5) propose a monitoring protocol for wood weevils for use by the institutions in charge of forest protection.

This research report is divided into three chapters. The first chapter is entitled "Design of a remote sensing method to model the relative biomass of arboreal vegetation for wildlife ecology studies in natural and anthropized landscapes" in this first chapter we adjusted statistical models that allowed us to predict these variables and generate an index of relative arboreal biomass. In

addition, we generated a variegated spatial model of the tree coverage through the use of spatial analysis of the trees by means of spatial patterns techniques, this allowed us to also establish the distance of the spatial dependence of the trees by using Diggles corrections and Maximum Likelihood on kernel smoothing. Likewise, we determined the attraction of bark beetles and ambrosial to 95% ethanol and 95% ethanol with a mixture of monoterpenes and sesquiterpenes extracted from pine needles.

In the second chapter, we present the results of the "Characterization of the essential oils present in Pine needles (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl. And Pinus maximinoi HE Moore) of Zacapa, Guatemala" we extracted essential oils by steam removal of the needles P. oocarpa and P. maximinoi in the Sierra de Las Minas and Sierra de El Merendón in the departments of El Progreso and Zacapa. The most frequent compounds in the extracts were α -Pineno, β -Pinene, D-Limonene, Germacrene D, β -Cariofileno, δ -Cadineno and α -Copaeno; among others.

In the third chapter "Key to the identification of bark and ambrosial beetles (Coleoptera: Curculionidae) of the pine forests of the department of Zacapa" we present the list of species found and a key for the identification of genera of bark beetles and ambrosial the pine forests of Zacapa.

3. INTRODUCCION

El oriente de Guatemala posee zonas importantes de bosques de montaña que son hábitats de especies endémicas y fuente importante de bienes y servicios ecosistémicos. Los principales bosques de montaña se encuentran ubicados en la Sierra de Las Minas, Sierra de El Merendón y Sierra de Caral. Los insectos de la familia Curculionidae son el grupo con mayor número de especies descritos en la actualidad (Oberprieler, Marvialdi, & Anderson, 2007). Las subfamilias Scolytinae y Platypodinae son una de las familias de mayor importancia debido a que se alimentan del Xilema o Floema de especies arbóreas (Kirkendall, 1983), y en algunas ocasiones pueden llegar a causar infestaciones que producen pérdidas considerables de bosques (Ploetz, Hulcr, Wingfield, & de Beer, 2013).

En Centroamérica se han detectado en diferentes décadas infestaciones que además de causar la muerte de coníferas en escalas de miles de hectáreas, han provocado la acumulación de combustible y esta acumulación a su vez ha provocado incendios devastadores en la región, principalmente en los países del norte (Billings, et al., 2004).

El monitoreo de especies plaga es de importancia para las instituciones encargadas de la administración de la cobertura forestal, en el caso de Guatemala le corresponde al Instituto Nacional de Bosques y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas, esto para implementar medidas tempranas de control de infestaciones. Entre las kairomonas (Wood L. D., 1982) los los aceites esenciales de las especies arbóreas afectadas han sido utilizados en el monitoreo de las poblaciones de gorgojos de la madera (Sweeney, Silk, Grevennikob, & Mandelshtam, 2016). Sin embargo, la carencia de estudios y extractos de aceites esenciales producidos por plantas locales limita el monitoreo de estas especies y las variaciones en sus poblaciones.

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. Tanto las larvas como los adultos poseen interacciones simbióticas con hongos (Ambrosia spp.) o bacterias (Wolbachia spp.) para la degradación de la celulosa. Algunas especies de gorgojos, especialmente del género Dendroctonus e Ips, son consideradas como plagas importantes de los bosques de coníferas (Moeck, Wood, & Lindahl Jr., 1981) y han causado pérdidas de miles de hectáreas en las últimas décadas en Centro América (Billings, et al., 2004). Se considera que con el calentamiento global incrementen las explosiones demográficas de estas especies de gorgojos, por lo que el monitoreo de las poblaciones de los gorgojos de la madera se considera como una herramienta importante para el control de dichas plagas.

Los metabolitos secundarios presentes en las especies de coníferas, especialmente aceites escenciales, son utilizados por los gorgojos para detectar árboles que poseen potencial de ser colonizados. Se ha detectado que las trampas con extractos de aceites escenciales de las coníferas son de alta utilidad para el monitoreo de las poblaciones de los gorgojos de la madera.

A través de la siguiente investigación queremos resolver las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es la estructura química de los metabolitos secundarios que atraen a los gorgojos descortezadores y gorgojos de Ambrosia?, ¿Cuáles son los metabolitos secundarios más eficientes

para la captura de los gorgojos descortezadores y gorgojos de Ambrosia? ¿Cuáles son las asociaciones geoespaciales y 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 Sierra de Las Minas y Sierra del Merendón?

El estudio se llevó a cabo en los bosques de coníferas del departamento de Zacapa y El Progreso, en los municipios de Zacapa y San Cristobal Acasaguastlán.

Algunas especies de gorgojos de la madera son considerados como plagas importantes de bosques de coníferas, especialmente de Pinus spp. En Centro América se han detectado brotes 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 (Vite, Luhl, Hughes, & 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 D. L., 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 y P. oocarpa, 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 500000 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 (Vité,

1980). En Petén las infestaciones de D. frontalis causaron la pérdida de los bosques naturales de P. caribae. En el oriente de Guatemala se han registrado varias infestaciones en la Sierra de Las Minas, Sierra de Caral y Sierra del Merendón, sin embargo, no se han documentado (Com. Pers. Eliú Corzo 2017, encargado de protección forestal INAB-Zacapa).

Ante la amenaza de nuevas infestaciones, se considera necesario realizar estudios que contribuyan al conocimiento y monitoreo de la dinámica de las poblaciones de gorgojos descortezadores y gorgojos de Ambrosia. Uno de los principales métodos de monitoreo es a través de la utilización de atrayentes utilizando los semioquímicos. Sweeney et al. (2016) a través del uso de trampas cebadas con semioquímicos extraídos de las plantas nativas afectadas por Scolytinos detectaron 36 especies de gorgojos y colectaron cerca de 12000 especímenes; así mismo detectaron que las diferentes mezclas preparadas con los semioquímicos extraídos incrementó la efectividad de captura.

4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Importancia y ecología de los gorgojos de la madera

Los picudos (Coleoptera: Curculionidae) son uno de los grupos con mayor diversidad de especies sobre el planeta (D., Sequeira, Marvaldi, & Farrell, 2008). 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. 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. Ambos grupos

han evolucionado a este hábito de vida a partir de un ancestro en común siendo el clado hermano los Cossoninae (Jordal, Sequeira, & Cognato, 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 de este género (Beaver, 2012).

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, 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 (Waring & Pitman, 1985).

Aceites Esenciales de las coníferas

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. (Iñiquez, Esqueda, Escoto, Ochoa, & Rodriguez, 2015).

5. MATERIALES Y METODOS

El informe del presente estudio se divide en tres capítulos, por lo que los materiales y métodos utilizados se describen en la misma sección adentro de cada capítulo.

6. RESULTADOS DEL PROYECTO

CAPÍTULO 1. Diseño de un método de teledetección para modelar la biomasa relativa de la vegetación arbórea para estudios de ecología de fauna en paisaje naturales y antropizados

Designing a teledetection method for estimating relative biomass of trees in faunal studies in natural and anthropized landscapes

Manuel A. Barrios-Izás, Cristian J. Interiano Gutierrez, Steven Franco-Ramos, Iván Alvarado-Vargas & Enma Aldana-Salguero

Instituto de Investigaciones de Zacapa, Centro Universitario de Zacapa, Universidad de San Carlos de Guatemala. 12 calle "A", 14-03, Zona 1, Barrio La Laguna, Zacapa, Guatemala. 19001.

*Autor al que se dirige la correspondencia: manuelbarriosgt@gmail.com

Resumen

La digitalización y caracterización de los elementos del paisaje es uno de los procesos imprescindibles en estudios de ecología espacial. Los sistemas de teledetecciones como los drones pueden ser una alternativa rápida y económica para llevar a cabo dicho proceso, así mismo, a través de las fotografías aéreas es posible modelar algunos parámetros de la vegetación arbórea como la altura y el diámetro del fuste a partir de mediciones de la copa de los árboles. En el presente estudio ajustamos modelos estadísticos que nos permitieron predecir estas variables y generar un índice de biomasa arbórea relativa. Además, generamos un modelo espacial variegado de la cobertura arbórea a través de la utilización análisis espacial de los árboles mediante técnicas de patrones espaciales puntuales, esto nos permitió establecer además la distancia de la dependencia espacial de los árboles mediante la utilización de correcciones de Diggles y Máxima Verosimilitud sobre las suavizaciones de Kernel. Así mismo, determinamos la atracción de los escarabajos descortezadores y ambrosiales a etanol al 95% y etanol al 95% con una mezcla de monoterpenos y sesquiterpenos extraídos de las hojas de pino.

Palabras clave: drones, bosques, pino, procesos puntuales

Abstract

Digitization and characterization of landscape elements is one of the essential processes in spatial ecology studies. Remote sensing systems such as drones can be a quick and economical alternative to carry out this process; also, through aerial photographs it is possible to model some parameters of the tree vegetation such as the height and diameter of the shaft from measurements of the tree canopy. In the present study, we adjusted statistical models that allowed us to predict these variables and generate a relative tree biomass index. In addition, we generated a variegated spatial model of the tree coverage through the use of spatial analysis of the trees by means of spatial patterns techniques, this allowed us to also establish the spatial dependence distance of the trees by using Diggles corrections and Maximum Likelihood on Kernel smoothing.

Introducción

La caracterización de los elementos del paisaje en estudios de ecología es uno de los primeros pasos para delimitar las unidades de estudio, especialmente en paisajes fragmentados por perturbaciones antropogénicas. La discrecionalidad de la caracterización de los elementos del paisaje puede sesgar el diseño experimental, introduciendo criterios subjetivos que no pueden replicarse en el futuro con la misma precisión. Uno de los diseños experimentales más comunes en estudios de ecología de la conservación, de flora y fauna, incluyen tratamientos como bosque conservado, bosque secundario y áreas degradadas. La separación de los elementos del paisaje en unidades discretas (Diffendorfer et al. 1995, Flather & Sauer 1996, Atauri & Lucio, 2001) visualiza a cada una de estas como un mosaico de áreas con adecuación o sin adecuación, esto es cierto solo para algunas especies con requerimientos ecológicos con rangos muy estrechos; sin embargo, para muchas especies a lo largo del paisaje existe un gradiente de adecuación que se comporta más bien como un paisaje variegado (McIntyre & Barrett 1992, McIntyre & Hobbs 1999, Watson et al. 2001).

Los sistemas de teledetección permiten poder caracterizar y cuantificar la vegetación a escalas grande de forma rápida y económica. A través de la tecnología de drones es posible capturar

imágenes de la cobertura de un paisaje y poder identificar elementos naturales y antropogénicos, además si son combinados con un Sistema de Información Geográfico es posible georreferenciar y cuantificar los elementos de un paisaje. Dentro del campo de la ecología de insectos de interés forestal se encuentran como la composición de especies arbóreas, biomasa, densidad de árboles y área de cobertura de los bosques puede afectar la presencia y el comportamiento de especies. Mediante la captura de fotografías aéreas y modelación con bases en tierra es posible poder generar modelos espaciales de la cobertura vegetal precisos, que describan la vegetación en el espacio geográfico como un continuo (ej. Densidad de árboles por pixel o biomasa de árboles por pixel) y no como unidades discretas (ej. Bosque, guamil, cultivo y área urbana).

Los principales objetivos del presente estudio son calibrar un método de teledetección de la vegetación arbórea en un bosque de *Pinus oocarpa*. Nosotros hipotetizamos que a través de la calibración de la asociación entre las medidas de la cobertura, diámetro y altura de los árboles es posible generar un polígono con pixeles de biomasa relativa.

Metodología

Recopilación de información de la vegetación en campo

En cada uno de los sitios de monitoreo se trazaron polígonos no menores de 25 hectáreas. Utilizando un sistema de información geográfico se seleccionaron de forma aleatoria 10 puntos. En cada uno de los puntos se elaboró una parcela circular de vegetación de 12.62 metros de radio que equivale a 0.05 hectáreas. Los árboles se midieron y se anotaron los datos de la especie del árbol, diámetro del fuste a la altura del pecho (DAP), altura, cobertura de la copa (ancho*largo) y se anotó si hay evidencia de daños de gorgojos de la madera y el número de árboles dañados dentro de parcela.

Análisis de vegetación mediante fotografías aéreas

Para obtener imágenes actualizadas de alta resolución, se realizaron sobrevuelos con un dron Phantom 3 Professional. El dron se sobrevoló a 500 metros de altura y se capturaron fotografías en una ruta de vuelo que cubrió las unidades de estudio. Las fotografías se unieron y ortorectificaron. Posteriormente, en un Sistema de Información Geográfico se cargó la imagen de vuelo ortorectificada y se sobrepuso el polígono de la unidad de estudio. Dentro de este polígono se generaron 200 puntos al azar y se midieron el ancho y largo de las copas de los árboles.

Análisis de las asociaciones de los gorgojos de la madera con extractos de pino

Por último, analizamos las asociaciones de los gorgojos de la madera con extractos de pino. Inicialmente se colectaron acículas de pino, estas se cortaron en segmentos de 1 pulgada y se colocaron dentro de un equipo de destilación por arrastre de vapor. La extracción se realizó durante 8 a 12 horas hasta que ya no se detectó incremento en la cantidad de aceite destilado.

En el campo, se colocaron 60 trampas de intersección de la siguiente forma: 20 trampas con etanol al 95%, 20 trampas con etanol al 95% más aceite esencial de pino y 20 trampas con agua jabonosa como control. Todas las trampas se colocaron distribuidas de forma aleatoria, para lo cual se utilizó un Sistema de Información Geográfico. El distanciamiento mínimo entre trampas fue de 30 metros para evitar que interfieran entre sí. Las trampas de intersección consistieron en envases de plástico de 2 litros con dos ventanas opuestas y un panel central, los envases se colgaron de forma invertida, el alcohol o el agua jabonosa se colocaron en el área del embudo y el aceite esencial se colocó dentro de un tubo cónico de 2.5 ml. Las trampas se revisaron dos días después.

Análisis de datos

Inicialmente se elaboró un modelo estadístico para predecir el DAP y la altura de los arboles a través de la medición de la cobertura en fotografías aéreas. Para la elaboración del modelo inicialmente se elaboró un modelo lineal simple (ecuación 1).

Ecuación 1.
$$\gamma = \beta o + \beta 1(x) + \epsilon$$

Luego se cargaron los datos de la variable predictora (cobertura) y de las variables de respuesta (altura y DAP) y se corrió el modelo de la ecuación 1. Posteriormente, se analizaron los valores de

significancia de la variable predictora y se realizó un análisis de residuos para conocer la homocesteidad, normalidad y linealidad de los datos. En caso de que el modelo de la ecuación 1 no cumpliera con alguno de los supuestos homocesteidad, normalidad y linealidad, se procedió a realizar transformaciones de datos. Para la transformación de datos se elaboraron transformaciones de Box-Cox (ecuación 2) con diferentes valores (de -3 a 3 en intervalos de 0.5), los resultados se visualizaron en cajas de Tukey, de tal manera que se buscó la mayor simetría.

Ecuación 2. $y^{\lambda}=X\beta$

Generalmente, la transformación logarítmica proporcionó buenos valores de homocesteidad, normalidad y linealidad; por lo que se aplicó de forma universal cuando se requirió de transformaciones. En caso de no obtenerse homocesteidad se evaluaron diferentes modelos (tabla 1). Así mismo, se elaboraron diagramas de densidad con variables no transformadas y con transformación logarítmica.

Tabla 1. Modelos evaluados para la ecuación 1. ML: modelo lineal y MLG: modelo lineal generalizado.

Ecuación.	Función	Modelo	Familia	Link
1	Lineal	ML		
2	Lineal	ML	Gaussian	Identity
3	Lineal	ML	Gaussian	Log
4	Cuadrática	ML		
5	Cuadrática	MLG	Gaussian	Identity
6	Cuadrática	MLG	Gaussian	Log
7	Log (y)	ML		
8	Log (y)	MLG	Gaussian	Identity
9	Log (y)	MLG	Gaussian	Log
10	Log(y), Log(x)	ML		
11	Log(y), Log(x)	MLG	Gaussian	Identity
12	Log(y), Log(x)	MLG	Gaussian	Log

Para analizar si los aceites esenciales tuvieron un efecto sobre la captura de escarabajo descortezadores y ambrosiales, inicialmente se elaboró un diagrama de Tuckey para apreciar de forma visual las tendencias. Posteriormente se realizó un análisis de varianza con las abundancias totales de los especímenes colectados, luego se revisaron los supuestos del análisis de varianza

realizando un análisis de residuales. Debido a que el análisis de residuales mostró que no había normalidad, entonces se procedió a realizar una prueba de Kruskal Wallis.

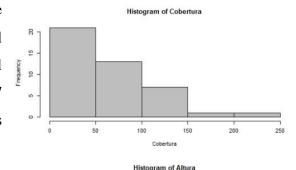
Resultados

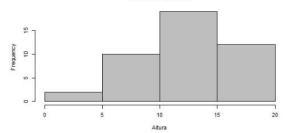
Modelos de ajuste para estimar el volumen relativo de la cobertura arbórea

Dentro de las 10 parcelas de vegetación que se midieron en la aldea Guadalupe, en la Sierra del Merendón, se midieron un total de 110 árboles. Del total de árboles 43 fueron pinos (*Pinus oocarpa*) y 67 fueron especies latifoliadas, en su mayoría encinos (*Quercus* sp.).

Para el índice de cobertura la mayor parte de pinos se encontró debajo de un valor de $100~(\mu=64.34, de=\pm50.31)$, en el caso de la altura la mayor parte de árboles se encontró en un rango de entre 10~y~15~metros (12.31 ± 4.01), mientras para el DAP la mayor parte de árboles se encontró en un rango entre 10~y~50 cm de DAP (38.85 ± 18.26). Se puede apreciar que la altura es la variable con menor desviación y la cobertura es la variable con mayor desviación (fig. 1).

De acuerdo a la transformación de Box-Cox, para la variable cobertura el exponencial que mejor se ajusto es un $\lambda = 1.06$. Debido a que es casi igual a 1 no se realizó transformación. El modelo de densidad





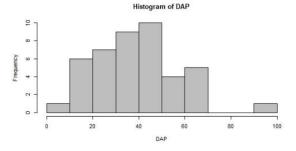


Figura 1. Histogramas para las variables de los pinos de la unidad de estudio de Guadalupe, Zacapa.

mostró un buen ajuste del modelo de la ecuación 1 y el análisis de residuales también mostró una mejor distribución del modelo lineal simple sin transformación (fig. 2). Así mismo la prueba de Shapiro-Wilks (p=0.2359). Sin embargo, no se observó homocesteidad por lo que se seleccionó el modelo lineal generalizado de la ecuación 11, por presentar un valor bajo de AIC (tabla 2).

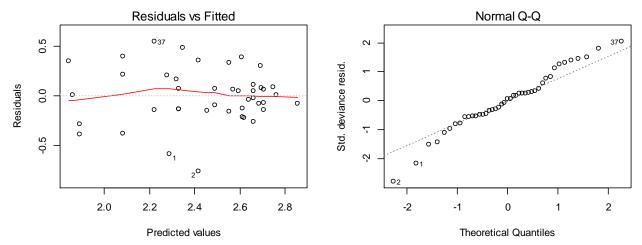


Figura 2. Análisis de residuales para el modelo lineal generalizado (x=log(cobertura) y y=log(altura), family=Gaussian, Link=identity).

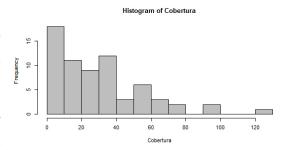
Tabla 2. Parámetros estadísticos para los nueve modelos evaluados para evaluar la relación entre altura y cobertura de pinos de la aldea Guadalupe.

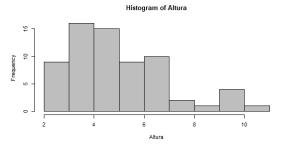
Modelo	Intercepto	Pr (> t)	Pr(> t) cob^2	r² ajustado	AIC	Dev. nula	Dev. residuales
1	9.126855	9.18e-06		0.3696			
2	9.126855	9.18e-06			225.61	675.99	415.98
3	2.285291	3.14e-05			228.4	675.98	443.79
4	7.9365067	0.000406	0.048525	0.4145			
		8.45	6e-06				
5	7.9365067	0.000406	0.048525		223.28	675.98	376.96
6	2.133	0.000467	0.028008		224.18	675.98	384.07
7	2.146007	1.18e-05		0.3621		675.98	
8	2.146007	1.18e-05			24.114	6.1609	3.8365
9	0.7797489	2.27e-05			25.588	6.1609	3.9704
10	1.55942	1.26e-07		0.4857			
11	1.55942	1.26e-07			14.852	6.1609	3.0931
12	0.51264	4.48E-07			15.161	6.1609	3.1154

Para el índice de cobertura la mayor parte de árboles latifoliados se encontró debajo de un valor de 40 (μ= 30.86, de=±25.92), en el caso de la altura la mayor parte de árboles se encontró en un rango de entre 2 y 7 metros (5.17±2.00), mientras para el DAP la mayor parte de árboles se encontró en un rango entre 10 y 30 cm (21.93±10.09). Al igual que en los pinos, se puede apreciar que la altura es la variable con menor desviación y la cobertura es la variable con mayor desviación (fig. 3).

De acuerdo a la transformación de BoxCox, para la variable de respuesta "Altura" exponencial que mejor se ajusto es un $\lambda = -0.27$.

Para el modelo de regresión lineal simple, cuando x=cobertura y y=altura, se obtuvo un valor de significancia (p) de 4.71e-06. El modelo de densidad mostró un mejor ajuste del modelo de la ecuación 1 en relación al modelo de la ecuación 2 (fig. 4) y el





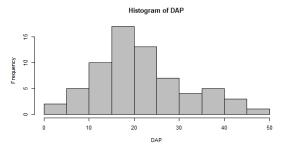


Figura 3. Histogramas para las variables de los arboles latifoliados de la unidad de estudio de Guadalupe, Zacapa.

análisis de residuales también mostró una mejor distribución del modelo lineal simple sin transformación (fig. 5).

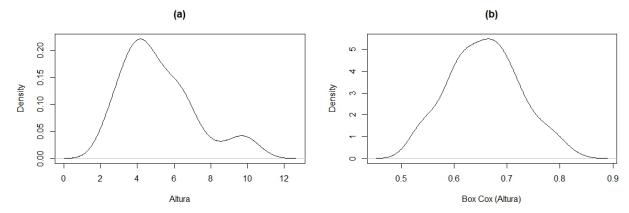


Figura 4. Diagrama de densidad de residuos para la variable de altura. A) distribución de los residuales sin transformación y B) distribución de los residuales con transformación de BoxCox.

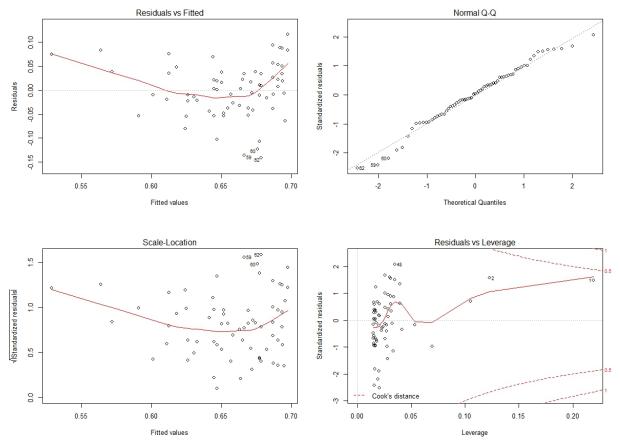


Figura 5. Análisis de residuales para el modelo lineal simple con transformación de Box-Cox (x=cobertura y y=altura).

Modelación espacial de la densidad y volumen de los pinos

De acuerdo a las fotografías capturadas con dron y ortorectificadas, dentro de la unidad de estudio se detectaron y digitalizaron 1688 árboles en un área de 34.3635 hectáreas, para una densidad de 49 árboles por hectárea (fig. 6a).

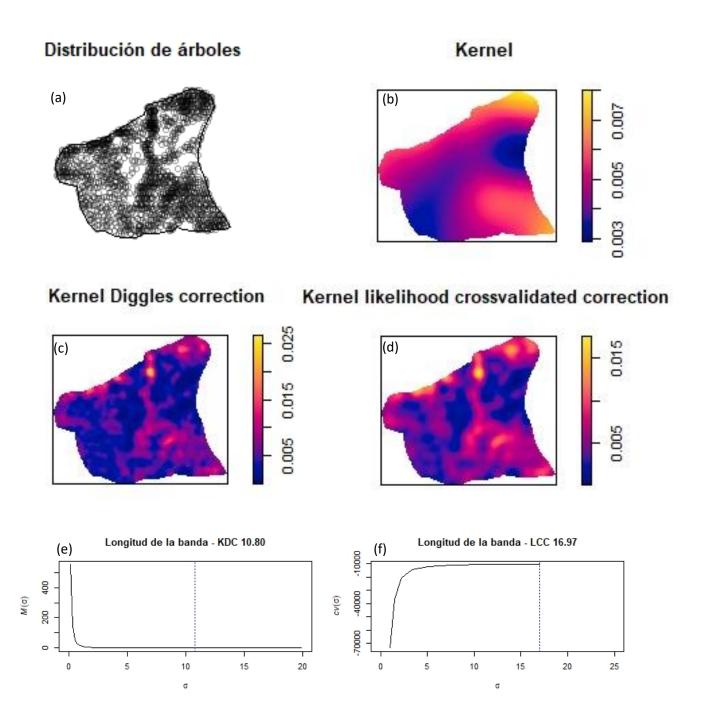


Figura 6. a) Diagrama de distribución espacial de los árboles en la unidad de estudio de Guadalupe, b) Suavización de Kernel, c) Suavización de Kernel con corrección de Diggles, d) Suavización de Kernel con corrección de máxima verosimilitud, e) estimación de la longitud de banda con corrección de Diggles y f) estimación de la longitud de banda con corrección de Máxima Verosimilitud.

Las suavizaciones de Kernel sin corrección (fig. 6b) y con corrección (fig. 6c y 6d) indican en color azul las zonas con menos densidad de árboles y en color amarillo las zonas con mayor densidad de árboles. De acuerdo a las estimaciones de longitud de banda, la corrección de Diggles estima una dependencia espacial de 10.80 metros y la corrección de Máxima Verosimilitud estima una dependencia espacial de 16.97 metros.

Asociaciones ecológicas de los gorgojos de la madera con extractos de acículas de pino

De acuerdo al diagrama de la figura 7, en el ensayo en el bosque de *Pinus maximinoi* de la Sierra de Las Minas, se puede apreciar que en el tratamiento con etanol al 95% fue en el que hubo una mayor tasa de captura de gorgojos de la madera, luego en el tratamiento con etanol al 95% con aceites esenciales de pino también se capturó una cantidad considerable de gorgojos de la madera y por último se encuentra el control de agua jabonosa en donde se capturaron muy pocos especímenes.

De acuerdo al análisis de residuales, los datos no poseen una distribución normal (fig. 8) por lo que se procedió a realizar la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. De acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis si hay diferencia significativa (p=2.76e-09) en cuanto a la cantidad de gorgojos de la madera capturados. Y de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de Dunn hay diferencia significativa entre todos los tratamientos (tabla 3).

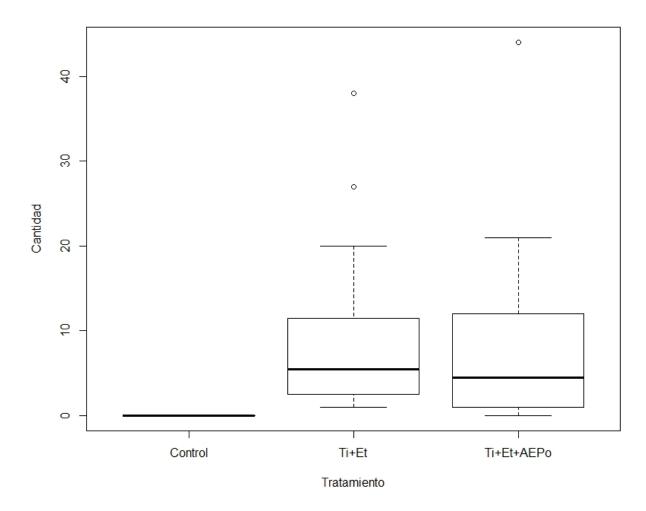


Figura 7. Diagrama de cajas de Tuckey de las abundancias de gorgojos de la madera con los diferentes tratamientos de captura. A) Etanol al 95%, B) Etanol al 95% con aceite esencial, C) Control, agua con jabón.

Tabla 3. Resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Dunn.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Control – Ti+Et	-5.6417	1.68E-08	5.05E-08
2	Control – Ti+Et+AEPo	-5.2059	1.93E-07	2.89E-07
3	Ti+Et - Ti+Et+AEPo	0.4358	6.63E-01	6.63E-01

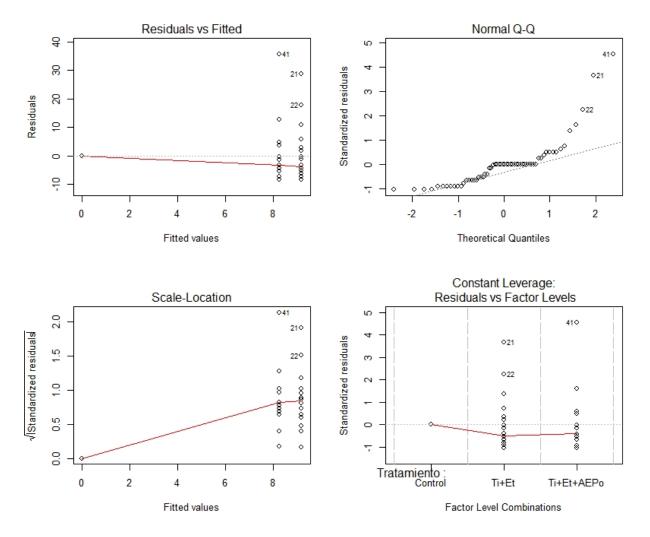


Figura 8. Análisis de residuales del análisis de varianza de las abundancias de gorgojos de la madera con los diferentes tratamientos de captura.

Discusión

Tradicionalmente en los estudios de ecología espacial la forma más común de relacionar la distribución de las especies con los elementos del paisaje es a través de la digitalización de elementos del paisaje tales como bosques, zonas agrícolas y zonas urbanos como elementos discretos; sin embargo, muchas especies pueden no responder a unidades discretas como estas sino más bien a gradientes de perturbación. Nosotros proponemos que la biomasa arbórea puede ser un factor determinante para algunas especies (ej. felinos, anfibios y aves; entre otros). Sin embargo, la estimación de la biomasa arbórea puede ser una tarea muy difícil de medir a escalas de paisaje

por lo que la utilización de modelos estadísticos facilita la estimación de la biomasa arbórea relativa.

En el presente estudio realizamos inicialmente una estimación de la biomasa arbórea relativa para especies de pinos y de encinos. La idea de generar el índice de biomasa arbórea relativa a partir de tan solo estas tres variables es la de diseñar un método fácil, rápido y de bajo costo que permita tomar en cuenta más parámetros de valor biológico que tan solo la distribución espacial de los elementos de paisaje. Consideramos que el uso de la tecnología de drones en estudios de ecología y biodiversidad contribuyen a realización de análisis más robustos y a considerar variables que anteriormente eran difíciles y caras de medir a escalas de paisaje (ej. microcuenca o una zona boscosa).

Tal como se puede apreciar en las figuras 2 y 5 el ajuste de modelos varía de una especie a otra en un mismo espacio, lo que nos hace suponer que también las relaciones entre estas variables podrían variar de una región a otra; consecuentemente los modelos que mejor se ajustaron dentro una unidad de estudio son únicos para esta área en un tiempo limitado. Por lo tanto, los modelos ajustes de predicción de la biomasa arbórea relativa deben de utilizarse solamente para la unidad de estudio en donde se generaron y durante un período de tiempo limitado y no recomendamos extrapolar dichos modelos a otras áreas.

Otro aspecto importante del uso de la tecnología de drones es que nos permite geolocalizar con mucha precisión la distribución de los árboles dentro de una unidad de estudio. Esto es de mucho valor ya que envés de clasificar el paisaje en escalas discretas de unidades de bosque y no bosque, podemos analizarlo como un espacio variegado en donde en algunos lugares los árboles tienden a agruparse más y en otros su densidad puede ser muy baja. Las suavizaciones de Kernel son útiles para este fin, nosotros presentamos una suavización de Kernel sin corrección y otras dos suavizaciones con corrección; es importante considerar que estos modelos espaciales de procesos puntuales predicen la dependencia espacial de los árboles como una variable estática a lo largo de la unidad de estudio y esto puede ser una debilidad en bosques naturales en donde la dependencia espacial puede estar variando constantemente a lo largo de los ejes del plano cartesiano.

En cuanto a las asociaciones ecológicas de los gorgojos de la madera con los tres tratamientos, se puede apreciar que el tratamiento que más captura produjo fue el etanol al 95% sin ningún aceite esencial. Está demostrado que moléculas como el alfa-Pineno atraen a los gorgojos de la madera, sin embargo, se puede apreciar que no hay diferencias entre el tratamiento con etanol y el tratamiento con etanol y aceite esencial, por lo que se recomienda en próximos monitoreos utilizar los componentes del aceite que se sabe funcionan como kairomonas.

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigación por el financiamiento de la presente investigación a través de a la partida presupuestaria 4.8.58. Al MSc. Carlos Augusto Vargas Gálvez por su apoyo al desarrollo de la presente investigación.

Referencias

Atauri, J.A. & Lucio, J.V. (2001). The role of landscape structure in species richness distribution of birds, amphibians, reptiles and lepidopterans in Mediterranean landscapes. *Lanscape Ecology*, 16: 147-159. https://doi.org/10.1023/A:1011115921050

Diffendorfer, J.E., Gaines, M.S. & Holt, R.D. (1995). Habitat fragmentation and movements of three small mammals (*Sigmodon, Microtus*, and *Peromyscus*). *Ecology*, 76(3):827-839.

Flather, C.H. & Sauer, J.R. 1996. Using Landscape Ecology to Test Hypotheses About Large-Scale Abundance Patterns in Migratory Birds. *Ecology*, 17(1): 28-35. DOI: 10.2307/2265651

McIntyre, S. & Barrett, G.W. (1992). Habitat Variegation, An Alternative to Fragmentation. *Conservation Biology*, 146-147. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610146.x

McIntyre, S. & Hobbs, R. (1999). A Framework for Conceptualizing Human Effects on Landscapes and Its Relevance to Management and Research Models. *Conservation Biology*, 13(6): 1282-1292. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97509.x

Watson, J., Freudenberger, D. & Paull, D. (2001). An Assessment of the Focal-Species Approach for Conserving Birds in Variegated Landscapes in Southeastern Australia. *Conservation Biology*, 15(5): 1364-1373. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2001.00166.x

CAPÍTULO 2. Caracterización de los aceites esenciales presentes en acículas de Pino (*Pinus*

oocarpa Schiede ex Schltdl. y Pinus maximinoi H.E. Moore) de Zacapa, Guatemala

Characterization of the essential oils of Pine needles of (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. y

Pinus maximinoi H.E. Moore) from Zacapa, Guatemala

Manuel A. Barrios-Izás, José María Figueroa-Acevedo, Jorge M. Sosa-Mejía y Carlos A.

Vargas-Gálvez

Instituto de Investigaciones de Zacapa, Centro Universitario de Zacapa, Universidad de San

Carlos de Guatemala. 12 calle "A", 14-03, Zona 1, Barrio La Laguna, Zacapa, Guatemala.

19001.

*Autor al que se dirige la correspondencia: manuelbarriosgt@gmail.com

Resumen

Las plantaciones forestales han incrementado en Guatemala con los programas de incentivos

forestales que se vienen implementando finales de la década de los noventas, sin embargo, la

producción forestas se ha enfocado fuertemente en la producción de madera. Los metabolitos

secundarios que se encuentran en los diferentes órganos de las plantas tienen un fuerte potencial

de transformación y comercialización. En el presente estudio extrajimos aceites esenciales por

arrastre de vapor de las acículas de Pinus oocarpa y P. maximinoi en la Sierra de Las Minas y

Sierra de El Merendón en los departamentos de El Progreso y Zacapa. Los compuestos más

frecuentes en los extractos fueron α-Pineno, β-Pineno, D-Limoneno, Germacreno D, β-

Cariofileno, δ -Cadineno y α -Copaeno; entre otros.

Palabras clave: extractos de pino, productos silvícolas, transformación, aromaterapias.

25

Abstract

Tree plantations have increased in Guatemala in the late 1990s with the implementation of the forest incentive programs; however, forestry production has focused heavily on wood production. Secondary metabolites found in different plant organs have a high potential of being transformed and marketed. In this study, we extracted the essential oils of pine needle by steam distillation of *Pinus oocarpa* and *P. maximinoi* in Sierra de Las Minas and Sierra de El Merendón in El Progreso and Zacapa. The most frequent compounds in the extracts were α -Pinene, β -Pinene, D-Limonene, Germacrene D, β -Caryophyllene, δ -Cadinose and α -Copane; among others.

Introducción

Guatemala es un país con una alta vocación forestal debido a la diversidad de tierras altas con fuertes pendientes. El Instituto Nacional de Bosques a través del Programa de Incentivos Forestales ha apoyado la reforestación con fines de producción de más de 360,000 ha; entre las cuales una alta proporción corresponde a plantaciones de pino. La producción forestal de pino se ha enfocado fuertemente en la producción de madera y otros subproductos como los aceites esenciales que son usados ampliamente en la industria de desinfectantes, terapias aromáticas y bioprospección de productos a base de estas moléculas.

Los pinos producen una amplia variedad de metabolitos secundarios, entre los cuales los terpenos juegan un rol importante en la defensa de los árboles frente a patógenos y depredadores (Mimoune et al. 2013, Xu et al. 2016). Los terpenos son un componente importante de la oleoresina que exudan los pinos cuando los canales resiníferos son dañados; esta oleoresina está compuesta por turpentina y rosina. Ambos complejos de metabolitos secundarios pueden ser separados por destilación de vapor, las moléculas de la turpentina por su volatilidad son arrastrados por el vapor del agua mientras los componentes de la rosina permanecen en el sustrato como componentes no volátiles (Mirov 1961).

Los terpenos son un conjunto de compuestos químicos, metabolitos secundarios, ampliamente distribuidos en las plantas y que poseen funciones importantes en la defensa, comunicación y en procesos metabólicos. La unidad básica estructural de los terpenos es el isopreno (fig. 1), una

molécula de cinco carbonos que puede dar lugar a una amplia gama de estructuras moleculares con diversas funciones biológicas. Los terpenos poseen una estructura en función de múltiplos de cinco carbonos, sin embargo, la degradación bioquímica puede dar lugar a estructuras con menos carbonos, aunque la estructura básica indicará su origen (Sell 2003).

Figura 1. Estructura de la molécula de Isopreno, base estructural de los terpenos.

Los terpenos conforman la mayor parte de los aceites esenciales de los pinos (Mirov 1961, Mimoune et al. 2013, Iníguez et al. 2015, Xie et al. 2015) y son una kairomona importante en la atracción primaria de los escarabajos descortezadores de los pinos (Miller & Rabaglia 2009). Su composición y abundancia puede variar de una a otra especie de pino (Mirov 1961), también con la edad de los pinos (Sporek 2014) y probablemente existan diferencias entre poblaciones de pinos separadas geográficamente.

En el presente estudio realizamos la caracterización de los compuestos volátiles de las poblaciones de *Pinus oocarpa* y *Pinus maximinoi* del departamento de Zacapa. Mediante la caracterización se identificaron los principales compuestos terpenoides y se cuantificó su proporción en el aceite esencial; así mismo se comparó su composición y concentración con otras poblaciones de pino.

Metodología

El estudio se llevó a cabo en el oriente de Guatemala en el departamento de Zacapa y El Progreso. Los bosques de los que se obtuvo el material vegetal se ubican en la aldea Guadalupe, municipio de Zacapa, Sierra de El Merendón (fig. 2a) y en la finca San José El Olvido, municipios de Usumatlán y San Cristobal Acasaguastlán, Sierra de Las Minas (fig. 2b).

La extracción de los volátiles de la oleorresina se llevó a realizó de las acículas de pino (*Pinus oocarpa y Pinus maximinoi*). Las acículas se colectaron de diferentes árboles en transectos *ad libitum* y se trasladaron al laboratorio de Ecología del Instituto de Investigaciones del Centro Universitario de Zacapa. En el laboratorio las acículas se cortaron con tijeras en pedazos de aproximadamente 1 pulgada y se introdujeron dentro de un sistema de destilación de vapor con capacidad de 20 litros de sustrato. La destilación se realizó durante períodos de 9 a 10 horas hasta que ya no se observó que incrementará el volumen de aceites extraído.

La caracterización se realizó mediante cromatografía de gases acoplada a un equipo de espectrometría de masas en el laboratorio de APAESA (http://apaesa.com.gt) en un equipo Agilent Technologies, modelo 7820A y modelo 5975 en Helio como medio de transporte y un tiempo de incubación de 118 minutos. La cuantificación de los compuestos se realizó mediante la cuantificación electrónica del área en el cromatograma resultante.

Resultados

De acuerdo al cromatograma del extracto (AE005) de *Pinus oocarpa* (fig. 3) se encontraron cerca de 26 compuestos, en su mayoría terpenoides. Los que se encontraron en mayor cantidad fueron Germacreno D, α-Pineno, β-Cariofileno, Cadineno, β-Cariofileno y α-Cariofileno (tabla 1).

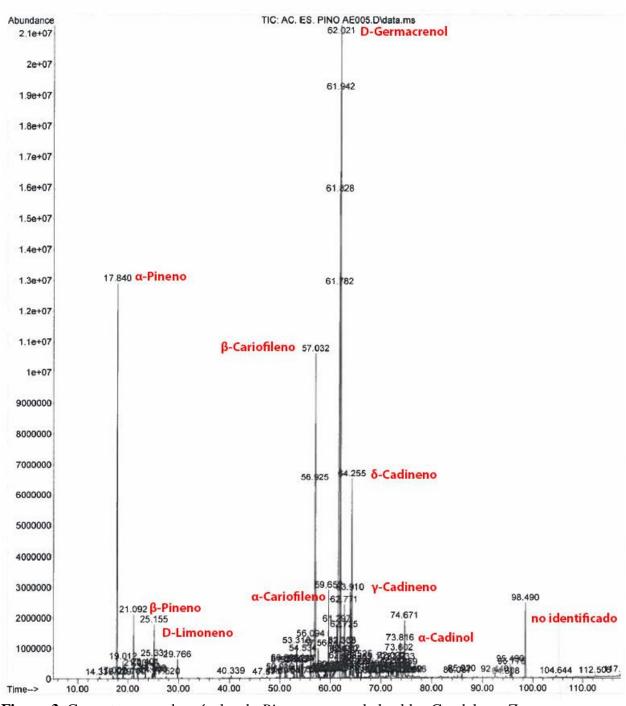


Figura 3. Cromatograma de acículas de *Pinus oocarpa* de la aldea Guadalupe, Zacapa.

Los componentes que fueron arrastrados por el vapor desde las acículas de pino fueron los sesquiterpenos con un aproximado del 77.88% del aceite esencial (tabla 1). El sesquiterpeno más abundante fue el Germacreno D que representó cerca del 45% del total de extractos que se encontraban en el aceite esencial. Los monoterpenos constituyeron cerca del 13% del aceite esencial y el α -Pineno representó un 9% del aceite esencial.

Tabla 1. Compuestos volátiles encontrados en acículas de *Pinus oocarpa* de la aldea Guadalupe, Zacapa.

Pico	Molecula	Area %	Clase
2	Tricicleno	0.05	Monoterpeno
3	α-Pineno	9.05	Monoterpeno
4	α-Pineno	0.03	Monoterpeno
5	Canfeno	0.26	Monoterpeno
6	Sabineno	0.04	Monoterpeno
7	β-Pineno	0.99	Monoterpeno
8	β-Pineno	0.15	Monoterpeno
9	D-Limoneno	0.16	Monoterpeno
10	D-Limoneno	0.06	Monoterpeno
12	Para-Cimeno	0.06	Monoterpeno
13	D-Limoneno	0.94	Monoterpeno
14	Sabineno	0.32	Monoterpeno
15	γ- Terpineno	0.04	Monoterpeno
16	α-Terpinoleno	0.31	Monoterpeno
17	α-Terpineol	0.06	Monoterpeno
18	Anetol	0.04	Eter Instaturado
19	Sativeno	0.04	Sesquiterpeno
20	Longifoleno	0.12	Sesquiterpeno
21	α-cubeneno	0.17	Sesquiterpeno
22	α-cubeneno	0.13	Sesquiterpeno
23	α-Copaeno	0.08	Sesquiterpeno
24	α-Copaeno	0.28	Sesquiterpeno
25	α-Copaeno	0.65	Sesquiterpeno
26	β-Bourboneno	0.34	Sesquiterpeno
28	β-Elemeno	0.53	Sesquiterpeno
29	α-cubeneno	0.05	Sesquiterpeno
30	Longifoleno	0.85	Sesquiterpeno
31	β-Cariofileno	3.98	Sesquiterpeno
32	β-Cariofileno	6.7	Sesquiterpeno

33 β-Cubeneno		0.67	Sesquiterpeno
34	γ-cadineno	0.07	Sesquiterpeno
35	Germacreno D	0.07	Sesquiterpeno
38	γ-cadineno	0.11	Sesquiterpeno
39	γ-cadineno	0.06	Sesquiterpeno
40	α-Cariofileno	2.15	Sesquiterpeno
45	γ-cadineno	2.97	Sesquiterpeno
46	Germacreno D	15.44	Sesquiterpeno
47	Germacreno D	5.34	Sesquiterpeno
48	Germacreno D	12.68	Sesquiterpeno
49	Germacreno D	11.13	Sesquiterpeno
50	α-Copaeno	0.49	Sesquiterpeno
51	γ-Cadineno	0.51	Sesquiterpeno
52	γ-Cadineno	0.32	Sesquiterpeno
53	Germacreno B	0.44	Sesquiterpeno
54	α-Muuroleno	0.53	Sesquiterpeno
55	55 α-Muuroleno		Sesquiterpeno
56	γ-Cadineno	0.09	Sesquiterpeno
57	γ-Cadineno	0.04	Sesquiterpeno
58	δ-Cadineno	0.51	Sesquiterpeno
59	δ-Cadineno	1.9	Sesquiterpeno
60	Cadineno	5.08	Sesquiterpeno
63	δ-Cadineno	0.14	Sesquiterpeno
64	α-Muuroleno	0.26	Sesquiterpeno
67	Nerolidol (2-1)	0.26	Sesquiterpeno
81	Cadinol (PK-1,	0.66	Sesquiterpeno
	12.49)		
82	α-Cadinol	0.93	Sesquiterpeno
83	Tert-Amorfol	0.33	Isoflavonoide
87	Valenceno	0.07	Sesquiterpeno
	Monoterpenos	12.52	
	Sesquiterpenos	77.88	
	Otros	0.33	
	Total	90.73	

Con respecto al cromatograma del extracto (AE007) de *Pinus oocarpa* (fig. 4) se encontraron cerca de 34 compuestos, en su mayoría terpenoides. Los que se encontraron en mayor cantidad fueron α -Pineno, D-Limoneno, Germacreno D, β -Cariofileno, delta-Cadineno, gamma-Cadineno, α -Humeleno y β -Pineno (tabla 2).

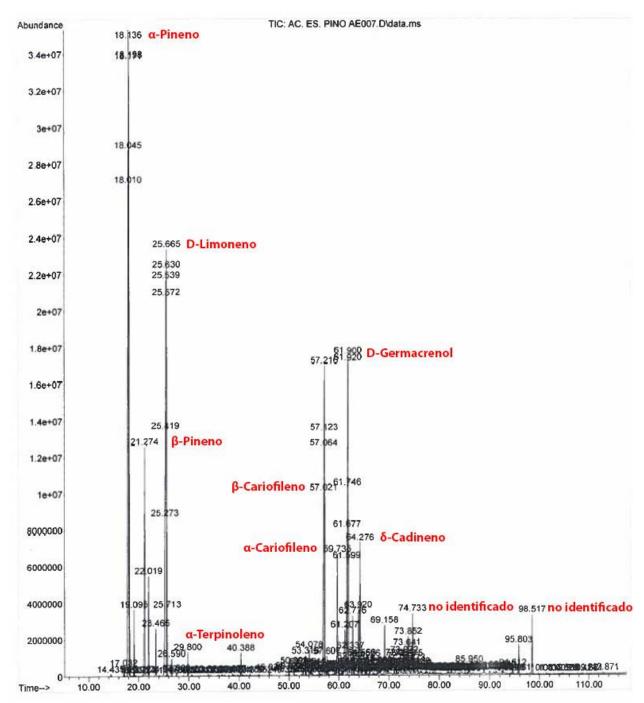


Figura 4. Cromatograma de acículas de *Pinus maximinoi* de la finca San José El Olvido, El Progreso.

Tabla 2. Compuestos volátiles encontrados en acículas de *Pinus maximinoi* de la finca San José El Olvido, El Progreso.

Area					
Pico	Molecula	%	# Carbonos		
2	Tricicleno	0.14	Monoterpeno		
3	α-Pineno	12.45	Monoterpeno		
4	α-Pineno	2.65	Monoterpeno		
5	α-Pineno	8.11	Monoterpeno		
6	α-Pineno	2.24	Monoterpeno		
7	α-Pineno	2.47	Monoterpeno		
9	Canfeno	0.67	Monoterpeno		
11	Sabineno	0.02	Monoterpeno		
12	β-Pineno	4.51	Monoterpeno		
13	β-Pineno	1.39	Monoterpeno		
14	D-Limoneno	0.64	Monoterpeno		
17	D-Limoneno	2.25	Monoterpeno		
18	D-Limoneno	4.14	Monoterpeno		
19	D-Limoneno	5.93	Monoterpeno		
20	D-Limoneno	1.73	Monoterpeno		
21	D-Limoneno	2.99	Monoterpeno		
22	D-Limoneno	2.26	Monoterpeno		
23	Sabineno	0.34	Monoterpeno		
24	0-cimeno-Trans	0.19	Monoterpeno		
25	Terpineno-Gamma	0.04	Monoterpeno		
27	α-Terpinoleno	0.28	Monoterpeno		
29	Dihidro-para-Cimeno	0.02	Monoterpeno		
30	Linalool	0.02	Monoterpeno		
38	Mirtenal	0.01	Monoterpeno		
39	α-Terpineol	0.36	Monoterpeno		
44	Sativeno	0.02	Sesquiterpeno		
45	Allo-Aromadendreno	0.07	Sesquiterpeno		
46	α-Cubeneno	0.13	Sesquiterpeno		
48	α-Ylangeno	0.13	Sesquiterpeno		
49	α-Copaeno	0.28	Sesquiterpeno		
50	Geranil acetato	0.44	Sesquiterpeno		
52	β-Elemeno	0.17	Sesquiterpeno		
53	α-Cubeneno	0.02	Sesquiterpeno		
55	Longifoleno	0.08	Sesquiterpeno		
57	β-Cariofileno	3.75	Sesquiterpeno		
58	β-Cariofileno	1.49	Sesquiterpeno		
61	β-Cubeneno	0.25	Sesquiterpeno		
62	D-Germacreno	0.03	Sesquiterpeno		
65	β-trans-Farneseno	0.09	Sesquiterpeno		

66	α-Humeleno	2.25	Sesquiterpeno	
69	Valenceno	0.08	Sesquiterpeno	
70	δ-Cadineno	0.07	Sesquiterpeno	
71	δ-Cadineno	0.03	Sesquiterpeno	
72	γ-Cadineno	1.5	Sesquiterpeno	
73	D-Germacreno	1.39	Sesquiterpeno	
74	D-Germacreno	1.48	Sesquiterpeno	
75	D-Germacreno	1.57	Sesquiterpeno	
76	D-Germacreno	5.87	Sesquiterpeno	
77	D-Germacreno	1.2	Sesquiterpeno	
78	γ-Cadineno	0.46	Sesquiterpeno	
79	D-Germacreno	0.15	Sesquiterpeno	
80	δ-Cadineno	0.07	Sesquiterpeno	
81	δ-Cadineno	0.04	Sesquiterpeno	
82	δ-Cadineno	0.9	Sesquiterpeno	
83	tert-Amorfol	0.05	Isoflavonoide	
84	δ-Cadineno	0.14	Sesquiterpeno	
85	γ-Cadineno	0.95	Sesquiterpeno	
86	δ-Cadineno	2.53	Sesquiterpeno	
87	cis-Calameno	0.33	Sesquiterpeno	
90	δ-Cadineno	0.23	Sesquiterpeno	
91	cis-Calameno	0.01	Sesquiterpeno	
96	Nerolidol	0.08	Sesquiterpeno	
108	Alo-Aromadendreno	0.01	Flavonoide	
115	α-Cadinol	0.61	Sesquiterpeno	
116	α-Copaeno	0.26	Sesquiterpeno	
153	Farnesil acetato IV	0.03	Isoflavonoide	
	Monoterpenos	55.85		
	Sesquiterpenos	29.15		
	Otros	0.09		
	Total	85.09		

En el extracto (AE008) de *Pinus maximinoi* (fig. 4) se encontraron cerca de 30 compuestos, en su mayoría terpenoides. Los que se encontraron en mayor cantidad fueron Germacreno D, α -Pineno, beta-trans-Farneseno, δ -Cadineno, α -Cariofileno, D-Limoneno, β -Pineno, α -Cadinol, α -Terpinoleno y Canfeno; respectivamente (tabla 2).

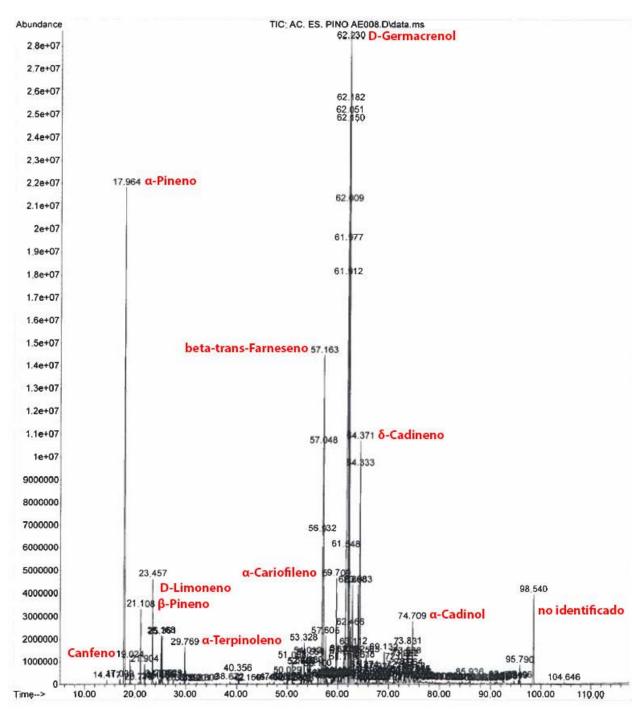


Figura 5. Cromatograma de acículas de *Pinus oocarpa* de la finca San José El Olvido, El Progreso.

Los sesquiterpenos fueron las moléculas en mayor abundancia con un aproximado del 67.7% del total del aceite esencial. El sesquiterpeno en mayor abundancia fue el Germacreno D con un aproximado del 43% del extracto de las acículas de pino. Los monoterpenos representaron 16.83% de los compuestos del extracto y el que se encontró en mayor cantidad fue el α-Pineno en un 12%

Tabla 3. Compuestos volátiles encontrados en acículas de *Pinus oocarpa* de la finca San José El Olvido, El Progreso.

Area					
Pico	Molecula	%	# Carbonos		
2	Tricicleno	0.07	Monoterpeno		
3	α-Pineno	12.00	Monoterpeno		
4	Canfeno	0.26	Monoterpeno		
5	Sabineno	0.04	Monoterpeno		
6	β-Pineno	0.86	Monoterpeno		
7	β-Pineno	0.21	Monoterpeno		
8	D-Limoneno	1.32	Monoterpeno		
9	α-Terpinoleno	0.04	Monoterpeno		
11	para-Cimeno	0.05	Monoterpeno		
12	D-Limoneno	0.60	Monoterpeno		
13	Sabineno	0.54	Monoterpeno		
14	trans-Ocimeno	0.07	Monoterpeno		
15	γ-Terpineno	0.06	Monoterpeno		
17	α-Terpinoleno	0.46	Monoterpeno		
	Dihidroxi-para-				
18	Cimeno	0.02	Monoterpeno		
19	Linalool	0.02	Monoterpeno		
21	Terpinen-4-ol	0.04	Monoterpeno		
22	22 α-Terpineol		Monoterpeno		
25	Anetol	0.04	Eter insaturado		
29	α-Cubeneno	0.31	Sesquiterpeno		
32	α-Ylangeno	0.15	Sesquiterpeno		
33	α-Ylangeno	0.12	Sesquiterpeno		
34	α-Copaeno	0.62	Sesquiterpeno		
36	Germacreno D	0.32	Sesquiterpeno		
37	β-Elemeno	0.44	Sesquiterpeno		
38	α-Cubeneno	0.05	Sesquiterpeno		
39	Longifoleno	0.28	Sesquiterpeno		
41	β-Cariofileno	2.17	Sesquiterpeno		
42	β-Cariofileno	3.31	Sesquiterpeno		
44	β-Cubeneno	0.69	Sesquiterpeno		
45	Germacreno D	0.08	Sesquiterpeno		
46	Germacreno D	0.09	Sesquiterpeno		
47	α-Cubeneno	0.03	Sesquiterpeno		
48	δ-Cadineno	0.04	Sesquiterpeno		
49	α-Cubeneno	0.11	Sesquiterpeno		
50	Germacreno D	0.19	Sesquiterpeno		
51	α-Cariofileno	2.12	Sesquiterpeno		
53	Germacreno D	0.11	Sesquiterpeno		
54	Germacreno D	0.12	Sesquiterpeno		

55	Germacreno D	0.01	Sesquiterpeno	
56	Germacreno D	0.06	Sesquiterpeno	
58	Germacreno D	0.02	Sesquiterpeno	
59	δ-Cadineno	0.05	Sesquiterpeno	
60	γ-Cadineno	0.49	Sesquiterpeno	
61	γ-Cadineno	0.38	Sesquiterpeno	
62	γ-Cadineno	0.12	Sesquiterpeno	
63	γ-Cadineno	0.14	Sesquiterpeno	
64	Germacreno D	2.46	Sesquiterpeno	
65	Germacreno D	13.3	Sesquiterpeno	
66	Germacreno D	4.24	Sesquiterpeno	
67	Germacreno D	2.18	Sesquiterpeno	
68	Germacreno D	5.51	Sesquiterpeno	
69	Germacreno D	6.14	Sesquiterpeno	
70	Germacreno D	2.78	Sesquiterpeno	
71	Germacreno D	5.78	Sesquiterpeno	
73	γ-Cadineno	0.34	Sesquiterpeno	
74	δ-Cadineno	1.92	Sesquiterpeno	
75	δ-Cadineno	0.65	Sesquiterpeno	
76	γ-Cadineno	1.77	Sesquiterpeno	
77	δ-Cadineno	3.69	Sesquiterpeno	
78	δ-Cadineno	1.66	Sesquiterpeno	
79	cis-Calameno	0.41	Sesquiterpeno	
81	δ-Cadineno	0.42	Sesquiterpeno	
82	cis-Calameno	0.03	Sesquiterpeno	
87	Nerolidol (2-1)	0.17	Sesquiterpeno	
	Cadinol (PK-1,			
101	12.49)	0.48	Sesquiterpeno	
102	α-Cadinol	0.62	Sesquiterpeno	
103	α-Copaeno	0.25	Sesquiterpeno	
105	α-Cadinol	0.28	Sesquiterpeno	
	Monoterpenos	16.83		
	Sesquiterpenos	67.7		
	Otros	0.04		
	Total	84.57		

Discusión

Las moléculas más abundantes y comunes que se encontraron en los aceites de los pinos, P. oocarpa y P. maximinoi, del departamento de Zacapa fueron el Germacreno D, α -Pineno, β -Pineno, D-Limoneno, β -Cariofileno y δ -Cadineno. Los monoterpenos y sesquiterpenos

identificados en las acículas de los pinos del departamento de Zacapa son moléculas que son comúnmente producidas en otros órganos (ej. tallos, raíces, estróbilos y semillas), otras especies de pinos, en diferentes latitudes latitudes y en otros continentes (Mirov 1961, Judžentienė et al. 2006), sin embargo, la composición y proporción de los aceites puede variar.

Los aceites esenciales de *Pinus oocarpa* y *Pinus maximinoi* tienen un aroma diferente según lo que detectamos en laboratorio. De acuerdo al análisis químico de los extractos de las acículas de pino, el aceite esencial de *P. oocarpa* tiene un alto contenido de Germacreno D, mientras el aceite esencial de *P. maximinoi* tiene un alto contenido de α-Pineno y D-Limoneno. De acuerdo a los compuestos encontrados en aceite esencial de corteza de pino por Iñíguez-Guillen et al. (2014) en *P. oocarpa* del estado de Jalisco, México, se aprecia una fuerte similitud de los aceites, sin embargo, algunas moléculas son diferentes.

Las moléculas encontradas en las acículas de pino pueden tener un alto potencial para la producción de subproductos derivados del aceite de pino. Estas moléculas son utilizadas en la industria farmacéutica, en la elaboración de fragancias, atrayentes de insectos, pesticidas y atrayentes de insectos y en la manufactura de mentol y alcanfor; entre otros (Kelkar et al., 2006).

Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala por haber financiado el presente proyecto de Investigación. También agradecemos a la Licenciada Gloria María Sanabria Cabrera por su apoyo con la interpretación de los cromatogramas.

Referencias

Iñíguez-Guillén, R.M., Esqueda-Reyes, H.C., Escoto-García, T., Guillermo-Ochoa, H., Rodríguez-Rivas, A. & Contreras-Quiñones, H.J. (2015). 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.

Kelkar, V.M., B.W. Geils, D.R. Becker, S.T. Overby, and D.G. Neary. (2006). How to recover more value from small pine trees: Essential oils and resins. *Biomass Bioenergy*, 30:316–320.

Miller DR, Rabaglia RJ (2009) Ethanol and ()-α-pinene: attractant kairomones for bark and ambrosia beetles in southeastern United States. *Journal of Chemical Ecology* 35: 435–448.

Mimoune NA, Mimoune DA, Yataghene A. (2013) Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of *Pinus pinaster*. *J Coastal Life Med*. 1(1): 54-8.

Mirov N.T. (1961) Composition of gum turpentines of pines. Tech. Bull. U.S. Dept. Agric. 1239. 1-158.

Sell CS A (2003) Fragrant Introduction to Terpenoid Chemistry. The Royal Society of Chemestry. Cambridge. 410 pp.

Xie Q., Liu Z., Li Z. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil of six pinus taxa native to China. Molecules. 2015;20:9380–9392. doi: 10.3390/molecules20059380.

Xu L., Shi Z., Wang B., Lu M., Sun J. (2016). Pine defensive monoterpene α-pinene influences the feeding behavior of *Dendroctonus valens* and its gut bacterial community structure. Int. J. Mol. Sci. 17:E1734.

Judžentienė A, Šližytė J, Stiklienė A, Kupčinskienė E. 2006. Characteristics of essential oil composition in the needles of young stand of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing along aerial ammonia gradient. Chemija; 17(2):67-73. http://www.lmaleidykla.lt/publ/0235-7216/2006/4/Che_067_073.pdf.

CAPITULO 3. Clave para la identificación de escarabajos descortezadores y ambrosiales

(Coleoptera: Curculionidae) de los bosques de pino del departamento de Zacapa

Key to the identification of Bark and Ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae) from

the pine forests of Zacapa

Manuel A. Barrios-Izás

Instituto de Investigaciones de Zacapa, Centro Universitario de Zacapa, Universidad de San

Carlos de Guatemala. 12 calle "A", 14-03, Zona 1, Barrio La Laguna, Zacapa, Guatemala.

19001.

*Autor al que se dirige la correspondencia: manuelbarriosgt@gmail.com

Resumen

Se presenta un listado de especies de los gorgojos descortezadores y ambrosiales colectados

durante el 2018 en los bosques de pino del departamento de Zacapa, se encontraron 49 especies.

También se elaboró una clave dicotómica para la identificación de los géneros.

Palabras clave: Sierra de Las Minas, Sierra de El Merendón, Biodiversidad.

Abstract

A list of species of weevils, bark beetles and collective groups is presented during 2018 in the pine

forests of Zacapa department, there are 49 species. A dichotomous key was also developed for the

identification of genera.

Introducción

Los escarabajos descortezadores y ambrosiales son dos grupos de coleópteros que se distribuyen

en dos subfamilias monofiléticas de curculiónidos, Scolytinae y Platypodinae (Jordal 2014). Las

especies de ambas subfamilias se diferencian fácilmente del resto de curculiónidos por no presentar

40

un rostro elongado, se considera que este tipo de rostro es una reversión evolutiva probablemente causada por sus hábitos de alimentación dentro de los tejidos vegetales, específicamente el xilema y floema de las plantas leñosas (Reeve *et al.* 2003).

La subfamilia Scolytinae poseen cerca de 6,000 especies en 250 géneros y los Platypodinae poseen cerca de 1400 especies en 34 géneros (Wood & Bright 1992, 1993). Anteriormente se les consideraba dos familias de Curculionoidea, sin embargo, análisis filogenéticos morfológicos (Marvaldi 2005) y moleculares (Shin *et al.* 2017) indican que ambos grupos son subfamilias de Curculionidae.

Metodología

Área de estudio

Los sitios de colecta de escarabajos descortezadores y ambrosiales se llevó a cabo en el año 2018 en la Sierra de Las Minas, municipio de San Cristobal Acasaguastlán, El Progreso y en la Sierra del El Merendón, municipio de Zacapa, Zacapa.

Captura y curación de los especímenes

Para la captura de los especímenes se utilizaron trampas de intersección con etanol o etanol y un atrayente de extracto de acículas de pino. Las trampas de intersección se elaboraron con envases plásticos de 3 litros de bebidas carbonatadas, las cuales se invirtieron y se les abrieron dos ventanas al medio para que pudieran traspasar y chocar los insectos contra una pantalla en el interior fabricada del mismo material. En el fondo de la trampa se colocó etanol al 95%.

Las trampas se revisaron uno o dos días después, todos los insectos que fueron atrapados en la trampa se colocaron dentro de viales con etanol al 95% y se trasladaron al laboratorio de entomología del Centro Universitario de Zacapa. Los especímenes se colocaron en dobles montajes y se etiquetaron con los datos de colecta.

La identificación taxonómica se realizó en un estereoscopio Wild M7A utilizando las claves de Wood (1982, 1993), los especímenes identificados fueron comparados con las imágenes del catálogo electrónicos de (Atkinson, 2019). En algunos casos fue necesario extraer la genitalia para lo cual los especímenes se ablandaron en agua hirviendo durante 15 minutos, posteriormente se extrajo el abdomen y se introdujo en una solución de KOH al 10% durante 15 minutos. Posteriormente se lavó el espécimen, los esternitos y tergitos abdominales y la genitalia en etanol al 95%. Los especímenes se colocaron en doble montaje, el abdomen se pegó a una tarjeta de papel y la genitalia se montó en una laminilla de acetato dentro de una solución de Dimetil Hidantoina Formaldehído.

En algunos casos no fue posible identificar los especímenes a nivel de género o especie debido a que por su pequeño tamaño se requería de una mayor magnificación del esteroscopio por lo que solamente se identificaron como morfoespecies. Los especímenes que no se identificaron no se incluyeron dentro de la clave de géneros.

Resultados

En total se encontraron 56 especies de Scolytinae y 3 especies de Platypodinae. La mayor parte de gorgojos que se encontraron fueron ambrosiales.

Lista de especies

Subfamilia Scolytinae

- 1. Amphicranus brevipennis Blandford 1905
- 2. Chaetophloeus mexicanus (Blackman) 1940
- 3. Corthylini sp1
- 4. Corthylocurus sp1
- 5. Corthylus flagellifer Blandford 1904
- 6. Corthylus fuscus Blandford 1904
- 7. Corthylus papulans Eichhoff 1869

- 8. Corthylus sp3
- 9. Cryptocarenus heveae (Hagedorn 1912)
- 10. Dendroctonus parallelocollis Chapuis 1869
- 11. Dendroterus sp1
- 12. *Hypothenemus* sp1
- 13. Monarthrum sp1
- 14. Premnobius cavipennis Eichhoff 1878
- 15. Tricolus sp1
- 16. Xileborinus sp1
- 17. Xyleborus sp3
- 18. Xyleborus squamulatus Eichhoff 1869
- 19. Xylosandrus curtulus (Eichhoff 1869)
- 20. Scolytinae sp10
- 21. Scolytinae sp18
- 22. Scolytinae sp20
- 23. Scolytinae sp21
- 24. Scolytinae sp22
- 25. Scolytinae sp23
- 26. Scolytinae sp24
- 27. Scolytinae sp25
- 28. Scolytinae sp27
- 29. Scolytinae sp29
- 30. Scolytinae sp37
- 31. Scolytinae sp38
- 32. Scolytinae sp41
- 33. Scolytinae sp43
- 34. Scolytinae sp44
- 35. Scolytinae sp45
- 36. Scolytinae sp46
- 37. Scolytinae sp47
- 38. Scolytinae sp48

- 39. Scolytinae sp49
- 40. Scolytinae sp50
- 41. Scolytinae sp51
- 42. Scolytinae sp52
- 43. Scolytinae sp54
- 44. Scolytinae sp55
- 45. Scolytinae sp56
- 46. Scolytinae sp57
- 47. Scolytinae sp7
- 48. Scolytinae sp8
- 49. Xyleborini sp1

Subfamilia Platypodinae

- 50. Euplatypus sp1
- 51. Euplatypus sp2
- 52. Euplatypus sp3

Clave para los géneros de escarabajos descortezadores y ambrosiales de los bosques de pino de Zacapa

1.	Masa antenal sin suturas; metanepisterno largo, 3X el ancho de la mesocoxa; pronoto con
	cavidades laterales para la recepción de los fémures anteriores; primer tarsomero tan largo
	como los tarsomeros 2-5
	juntos(Platypodinae
	Masa antenal con suturas; metanepisterno corto, 3X el ancho de la mesocoxa; pronoto sin
	cavidades laterales para la recepción de los fémures anteriores; primer tarsomero corto,
	similar a los otros
	tarsomeros 3 (Scolytinae)

2.	Funículo 1-segmentado, borde lateral del pronoto agudamente elevado, coxas contiguas,
	cutícula lisa y brillante; masa antenal de las hembras a veces con cirros
	Funículo 2-5-segmentado o más, borde lateral del pronoto varios, coxas contiguas o
	separadas, cutícula varias; masa antenal de las hembras sin cirros4
3.	Frente de la hembra levemente excavado con una carina longitudinal al centro y un sulco a
	cada lado, setas escasas
	Frente de la hembra fuertemente excavado con abundantes setas largas
4.	Borde anterior de los élitros crenulado, conspicuamente elevado
	Borde anterior de los élitros entero, no está elevado
5.	Cutícula fuertemente puntuada; setas dispersas, más largas en el declive elitral, escamas ausentes
	Cutícula fuertemente puntuada o no; setas varias, escamas abundantes6
6.	Frente de la hembra levemente convexa, la excavación no toca los bordes de las
	hojas
	Frente de la hembra ampliamente escavada, la excavación toca ambos bordes de los
	ojos
7.	Declive elitral excavado
	Declive elitral normal, convexo, plano pero no excavado (<i>Xyleborus squamulatus</i>)10
8.	Declive elitral desciende fuertemente al ápice, aplanado, con los bordes elevados de forma
	circular9
	Declive elitral nunca con un borde elevado de forma circular
9.	Declive elitral con una espina al centro del declive sobre la interestría 1 y otra espina sobre el
	borde del declive, funículo 2-3-segmentado

	Combinación de armadura en el declive elitral diferente, funículo 2- segmentado
10.	Procoxas separadas por una pieza precoxal, declive elitral más redondeado, tres espinas sobre el borde
11.	Machos sin alas posteriores
12.	Especies muy pequeñas <1mm, cubiertos uniformemente de escamas erectas, funículo 3-5- segmentadas
13.	Ambos extremos del metanepisterno visibles, los élitros pueden estar cubriendo la mitad superior
14.	Coxas anteriores ampliamente separada
15.	Escutelo amplio y plano, cubriendo todo el espacio escutelar
16.	Funículo antenal 3-4-segmentado

Agradecimientos

Agradezco a la Dirección General de Investigación por el financiamiento de la investigación "Diseño de un método de monitoreo de gorgojos de la madera", partida presupuestaria 4.8.58. Por permitirnos trabajar en sus fincas al señor Estuardo Zamora y a la familia Salguero. Y al director del Centro Universitario de Zacapa, M.Sc. Carlos Augusto Vargas Gálvez, por su apoyo al desarrollo del presente proyecto.

Referencias

Jordal, B.H. (2014). Scolytinae. En: Leschen, R.A.B., Beutel, R. (Eds.), *Handbook of Zoology*, Band IV Arthropoda: Insecta, Parte 38: Coleoptera, Beetles, Volumen 3. Ed. de Gruyter. Berlín. pp. 349-358.

Marvaldi, A.E. (2005). Higher Level Phylogeny of Curculionidae (Coleoptera: Curculionoidea) based mainly on Larval Characters, with Special Reference to Broad-Nosed Weevils. *Cladistics*, 13(4): 285-312.

Reeve, J.D., Anderson, F.E. y Scott, T.K. (2012). Ancestral State Reconstruction for Dendroctonus Bark Beetles: Evolution of a Tree Killer. *Entomological Society of America*, 41(3): 723-730.

Shin, S., Clarke, D. J., Lemmon, A. R., Moriarty Lemmon, E., Aitken, A. L., Haddad, S., Farrell, B.D., Marvaldi, A.E., Oberprieler, R.G. y McKenna, D.D. (2017). 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

Wood, S.L. (1982). The Bark and Ambrosia Beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae) a Taxonomic Monograph. *Great Basin Naturalist Memoirs*, 5:1-1359.

Wood, S.L. (1993). Revision of the Genera of Platypodidae (Coleoptera). *Great Basin Naturalist Memoirs*, 53(3): 259-281.

7. MATRIZ DE RESULTADOS

Objetivo específico	Resultado esperado	Resultado obtenido	
Identificar las especies de	Inventario de gorgojos de la	Capítulo 3	
gorgojos de la madera	madera.		
asociados a las especies de	Clave taxonómica.	La guía ilustrada se está	
coníferas.		creando en el portal	
	Guía Ilustrada	electrónico del Instituto de	
		Investigaciones de CUNZAC.	
Determinar la relación de las	Artículo científico.	Capítulo 1	
abundancias y ensambles de			
gorgojos con variables			
geoespaciales y ecológicas.			
Caracterizar mediante	Nota científica.	Capítulo 2	
cromatografía de placa los			
aceites esenciales presentes			
en las coníferas.			
Determinar la eficiencia de	Artículo científico.	Capítulo 1.	
captura de las diferentes	Manual de monitoreo de gorgojos de la madera.	Se realizó un taller de	
concentraciones y mezclas de		capacitación con personal de	
aceites esenciales.	Personal de las instituciones	INAB y MAGA.	
	de gobierno capacitadas.	También se realizó un taller	
		en conjunto con el CHM del	
		CONAP sobre procesos	
		curatoriales.	

8. IMPACTO ESPERADO

A través del presente proyecto se elaboró un listado de especies de escarabajos de la región, se obtuvieron nuevos registros para los bosques de pino de Zacapa y se creó una clave de identificación de géneros de escarabajos descortezadores y ambrosiales.

Además, se creó una colección entomológica de referencia con especímenes montados y disecados, la genitalia de los machos y hembras se montaron en DMHF para su observación. Así mismo se está creando una herramienta digital para consultas en línea y se vinculará con el portal de biodiversidad del Consejo Nacional de Áreas Protegidas con el que se firmó un memorándum de entendimiento.

9. ACTIVIDADES DE GESTION, VINCULACION Y DIVULGACION

Dentro del taller de identificación y monitoreo de escarabajos descortezadores y ambrosiales que se impartió por parte del Instituto de Investigaciones de Zacapa, se propuso la creación de una red nacional de investigación la cual estará conformada por la Universidad de San Carlos a través del Centro Universitario de Zacapa y el Centro Universitario de Nororiente, la Universidad Rafael Landívar a través del Campus San Luis Gonzaga, S.J. de Zacapa, el Instituto Nacional de Bosques y sus regionales a nivel nacional y el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. También se incorporarán a la red como profesionales invitados al Dr. Jorge Macías Sambrano de Forest Health / Chemical Ecology / Forest Entomology CONSULTING con sede en Vancouver, Canadá y el Dr. Ronald Billings, quien es un forestal jubilado del Servicio Forestal de Texas.

La divulgación se realizará a través de revistas científicas indexadas, cada capítulo del presente informe se presentará como un manuscrito. Así mismo, se creará una página web en el portal electrónico del Instituto de Investigaciones sobre los escarabajos descortezadores y ambrosiales de Guatemala.

10. REFERENCIAS

- Anderson, R. S. (1995). An Evolutionary Perspective on Diversity in Curculionoidea. *Memoirs of the Entomological Society of Washington*(14), 103-114.
- Beaver, R. A. (2012). Insect-Fungus Relationships in the Bark and Ambrosia Beetles. En G. Merant, *Insect-Fungus Interactions* (págs. 121-143). London: Academic Press.
- Biedermann, P. H., 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). *Microbiology Ecology*(83), 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 devasting combination for Central America's pine forests. *Unasylva*, 55(217), 15-21.
- D., M. D., Sequeira, A. S., Marvaldi, A. E., & Farrell, B. D. (2008). 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
- Iñiquez, R. M., Esqueda, H. C., Escoto, T., Ochoa, H., & Rodriguez, A. (2015). 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.
- 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), 708-724. doi:10.1016/j.ympev.2011.03.016

- Kirkendall, L. R. (1983). The evolution of mating systems in bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Scolytidae and Platypodidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*(77), 293–352.
- Moeck, H. A., Wood, D. L., & Lindahl Jr., K. Q. (1981). Host selection behavior of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) attackingPinus ponderosa, with special emphasis on the western pine beetle,Dendroctonus brevicomis. *Journal of Chemical Ecology*, 7(1), 49-50.
- Oberprieler, R. G., Marvialdi, A. E., & Anderson, R. S. (2007). Weevils, weevils everywhere. *Zootaxa*(1668), 491-520.
- Ploetz, R. C., Hulcr, J., Wingfield, M. J., & de Beer, Z. W. (2013). Destructive Tree Diseases Associated with Ambrosia and Bark Beetles: Black Swan Events in Tree Pathology? *Plant Disease*, *95*(7), 856-872. doi:http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-01-13-0056-FE
- Sweeney, J. D., Silk, P., Grevennikob, 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), 84-97. doi:10.14411/eje.2016.010
- Vité, J. (1980). Planificación del control de la plaga del Dendroctonus (in Guatemala). In Planificación del control de la plaga del Dendroctonus y del aprovechamiento de la madera dañada. Roma: FAO.
- Vite, J. P., Luhl, R., Hughes, P. R., & Renwick, J. A. (1975). Pine beetles of the genus Dendroctonus: pest populations in Central America. *Plant Protection Bulletion*, 23(6), 178-184.
- Waring, R., & Pitman, G. B. (1985). Modifying Lodgepole Pine Stands to Change Susceptibility to Mountain Pine Beetle Attacks. *Ecology*, 66(3), 889-897.

- Wood, D. L. (1982). The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph. *Great Basin Nat. Mem*(6), 1-1356.
- Wood, L. D. (1982). The Role of Pheromones, Kairomones, and Allomones in the Host Selection and Colonization Behavior of Bark Beetles. *Annual Reviews of Entomology*(27), 411-446.

11. ORDEN DE PAGO

Lista de todos los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores			
Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás	Coordinador		
Licda. Gloria María Sanabria Cabrera	Investigadora		
Ing. Agr. José María Figueroa Acevedo	Investigador		
Br. Jorge Mario Sosa Mejía	Auxiliar de Investigación		

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de	Pago DIGI		Firma
		Personal	Si	No	
José María	Investigador I	20150866	X		
Acevedo Figueroa					
Jorge Mario Sosa	Auxiliar de	20180727	X		
Mejía	Investigación I				

Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás Coordinador proyecto de investigación

Ing. Liuba María Cabrera Programa Universitario de Investigación.

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