

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**  
**CARRERA: INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN**  
**AGRICULTURA SOSTENIBLE**



**TEMA PARA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ATRAYENTES SOBRE LAS ESPECIES DE GORGOJOS DESCORTEZADORES DEL PINO (*Dendroctonus* spp), EN EL BOSQUE DE CONÍFERAS DE LA ALDEA BOXONCAN, TAJUMULCO; SAN MARCOS.**

**ESTUDIANTE:**

**BRAYAN RUFINO LÓPEZ PÉREZ.**

**CARNÉ: 201540669**

**ASESOR PRINCIPAL**

**DR. BIÓLOGO. MANUEL ALEJANDRO BARRIOS IZÁS.**

**ASESOR ADJUNTO**

**ING. AGR. JUAN CARLOS ROSALES LONGO.**

**SAN MARCOS, 30 DE ENERO DE 2025.**

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO**

MsC. Juan Carlos López Navarro	DIRECTOR
Licda. Astrid Fabiola Fuentes Mazariegos	SECRETARIA CONSEJO DIRECTIVO
Ing. Agr. Roy Walter Villacinda Maldonado	REPRESENTANTES DOCENTES
Lic. Oscar Alberto Ramírez Monzon	REPRESENTANTE ESTUDIANTIL
Br. Luis David Corzo Rodriguez	REPRESENTANTE ESTUDIANTIL

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS.**  
**MIEMBROS DE LA COORDINACIÓN ACADÉMICA.**

PhD. Roberto Enrique Orozco Sánchez	COORDINADOR ACADÉMICO
Ing. Agr. Carlos Antulio Barrios Morales	COORDINADOR DE LAS CARRERAS DE TÉCNICO EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA E INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE
Lic. Heliuv Edilzar Vásquez Navarro	COORDINADOR CARRERA DE PEDAGOGÍA Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
Licda. Aminta Esmeralda Guillén Ruiz	COORDINADORA DE LA CARRERA DE TRABAJO SOCIAL, TÉCNICO Y LICENCIATURA
Ing. Víctor Manuel Fuentes López	COORDINADOR CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, TÉCNICO Y LICENCIATURA
Lic. Mauro Rodríguez	COORDINADOR CARRERA DE ABOGADO Y NOTARIO Y LICENCIATURA EN CIENCIAS JURÍDICAS Y SOCIALES
Dr. Byron Geovany García Orozco	COORDINADOR CARRERA MEDICO Y CIRUJANO
Lic. Nelson de Jesús Bautista López	COORDINADOR PEDAGOGÍA EXTENSIÓN DE SAN MARCOS
Licda. Julia Maritza Gándara González	COORDINADORA EXTENSIÓN DE MALACATAN
Licda. Mirna Lisbet de León Rodríguez	COORDINADORA EXTENSIÓN TEJUTLA
Lic. Marvin Evelio Navarro Bautista	COORDINADOR EXTENSIÓN TACANÁ
Lic. Roberto Enrique Orozco Sánchez	COORDINADOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
Lic. Mario René Requena	COORDINADOR DE ÁREA DE EXTENSIÓN
Ing. Oscar Ernesto Chávez Ángel	COORDINADOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
Lic. Carlos Edelmar Velásquez González	COORDINADOR CARRERA CONTADURÍA PÚBLICA AUDITORIA
Lic. Danilo Alberto Fuentes Bravo	COORDINADOR CARRERA PROFESORADO BILINGÜE INTERCULTURAL
Lic. Yovani Alberto Cux Chan	COORDINADOR CARRERAS SOCIOLOGÍA, CIENCIAS POLÍTICAS Y RELACIONES INTERNACIONALES

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**

**COMITÉ TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Ing. Agr. Jorge Robelio Juárez González	COORDINADOR
Ing. Agr. Fredy Roberto Pérez Monzón	SECRETARIO
Licda. María de Lourdes Carrera Munguía	VOCAL

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS**

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

DIRECTOR

MsC. Juan Carlos López Navarro

Coordinador académico

Lic. Robert Enrique Orozco Sánchez

Coordinador de carrera

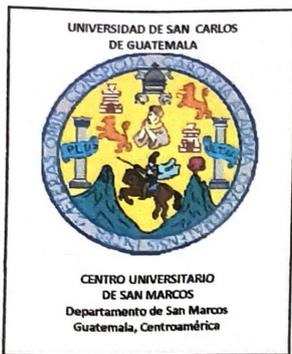
Ing. Agr. Carlos Antulio Barrios Morales

Asesor Principal

Dr. Biol: Manuel Alejandro Barrios Izás

Asesor Adjunto

Ing. Agr: Juan Carlos Rosales Longo.



EL INFRASCRITO SECRETARIO DEL COMITÉ DE TRABAJO DE GRADUACIÓN, DE LA CARRERA DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE, DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE SAN MARCOS, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, CERTIFICA: LOS PUNTOS: PRIMERO, SEGUNDO, CUARTO Y DÉCIMO OCTAVO DEL ACTA No. 008-2024, LOS QUE LITERALMENTE DICEN:

### ACTA No. 008-2024

En la ciudad de San Marcos, siendo las dieciséis horas en punto, del día lunes veinticinco de noviembre del año dos mil veinticuatro, reunidos los integrantes del Comité de Trabajo de Graduación de la Carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible, en su orden: Ing. Agr. Jorge Robelio Juárez González Coordinador, Lcda. Lourdes Carrera Munguía Vocal y quién suscribe Ing. Agr. Fredy Roberto Pérez Monzón Secretario, con el objeto de dejar constancia de lo siguiente: **PRIMERO:** Establecido el quórum se conoció la agenda la que fue aprobada de la siguiente manera: 1) Bienvenida, 2) aprobación de informes finales, 3) aprobación temas de investigación, 4) Solicitudes varias **SEGUNDO:** El Coordinador del Comité da la bienvenida a los presentes y somete en consideración la aprobación de la agenda, la cual queda aprobada... **CUARTO:** El secretario del Comité de Trabajo de Graduación dio a conocer solicitud de Informe Final de Trabajo de Graduación del estudiante Brayan Rufino López Pérez con número de carné 201540669 estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Agricultura Sostenible para la aprobación del Informe Final de Trabajo de Graduación titulado "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ATRAYENTES SOBRE LAS ESPECIES DE GORGOJO DESCORTEZADOR DEL PINO (*Dendroctonus* spp), EN EL BOSQUE DE CONÍFERAS EN ALDEA BOXONCAN, TAJUMULCO; SAN MARCOS". Cumpliendo con los requisitos establecidos en los artículos 56 y 57 del normativo de Trabajo de Graduación. El Comité Trabajo de Graduación con base en el artículo 58 acuerda **APROBAR** el Informe Final del estudiante Brayan Rufino López Pérez con número de carné 201540669 adjuntando los dictámenes favorables del asesor principal PhD. Manuel Alejandro Barrios Izás y asesor adjunto Ing. Agr. Juan Carlos Rosales Longo. ...**DÉCIMO OCTAVO:** Dando por finalizada la reunión en el mismo lugar y fecha a una hora y media después de su inicio, previa lectura que se hizo a lo escrito y enterados de su contenido y efectos legales, aceptamos, ratificamos y firmamos.

**Y A SOLICITUD DEL INTERESADO SE EXTIENDE, FIRMA Y SELLA LA PRESENTE CERTIFICACIÓN DE ACTA, EN UNA HOJA DE PAPEL MEMBRETADO DEL CENTRO UNIVERSITARIO, EN LA CIUDAD DE SAN MARCOS A LOS DIECISIETE DÍAS DEL MES DE ENERO DEL AÑO DOS MIL VEINTICINCO.**

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Fredy Roberto Pérez Monzón  
Secretario Comité Trabajo de Graduación





**CUSAMUSAC**  
Centro Universitario de San Marcos  
Universidad de San Carlos de Guatemala

San Marcos, 14 de octubre de 2024

Señores Miembros.  
Comité de Trabajo de Graduación  
Carrera de Ingeniero Agrónomo con OAS  
Centro universitario de San Marcos  
Ciudad.

### DICTAMEN

Por este medio les saludo afectuosamente, deseándoles éxitos en sus labores diarias en beneficio de la educación superior de la carrera de Agronomía del Centro Universitario de San Marcos.

A través de la presente me permito indicar que asesore al Estudiante: **Brayan Rufino López Pérez**, con carnet: **201540669**, desde el protocolo de la investigación del tema denominado: **“EVALUACION DEL EFECTO DE LOS ATRAYENTES SOBRE LAS ESPECIES DE GORGOJOS DESCORTEZADORES DEL PINO (*Dendroctonus* spp.), EN EL BOSQUE DE CONIFERAS DE ALDEA BOXONCAN, TAJUMULCO; SAN MARCOS”**, hasta la presentación de resultados en el seminario II, así como las correcciones finales.

Por lo qué, considero que el documento reúne las características técnicas y científicas para que el trabajo de tesis sea aprobado. Por lo que emito el **Dictamen Favorable**.

Sin más que hacer referencia, me despido de ustedes deseándoles un provechoso día.

Deferentemente:

**Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás.**  
Asesor principal.  
Colegiado activo: 3,380.

**Ing. Agr. Juan Carlos Rosales Longo.**  
Asesor adjunto, No. Colegiado: 3,516.

**Juan Carlos Rosales Longo**  
INGENIERO AGRONOMO  
3 5 1 6

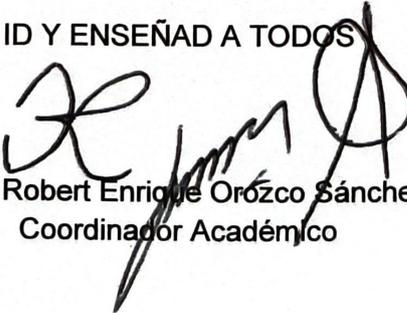
**ESTUDIANTE:** BRAYAN RUFINO LÓPEZ PÉREZ  
**CARRERA:** INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE.  
CUSAM, Edificio.

Atentamente transcribo a usted el Punto **QUINTO: ASUNTOS ACADÉMICOS, inciso a) subinciso a.11) del Acta No. 003-2025**, de sesión ordinaria celebrada por la Coordinación Académica, el 12 de febrero de 2025, que dice:

**“QUINTO: ASUNTOS ACADÉMICOS: a) ORDENES DE IMPRESIÓN. CARRERA: INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE. a.11)** La Coordinación Académica conoció Providencia No. CACUSAM-8-2025, de fecha 4 febrero de 2024, suscrita por el Ing. Agr. Carlos Antulio Barrios Morales, Coordinador Carrera Agronomía, a la que adjunta solicitud del estudiante: BRAYAN RUFINO LÓPEZ PÉREZ, Carné No. 201540669, en el sentido se le **AUTORICE IMPRESIÓN DE LA TESIS EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ATRAYENTES SOBRE LAS ESPECIES DE GORGOJOS DESCORTEZADORES DEL PINO (Dendroctonus spp), EN EL BOSQUE DE CONÍFERAS DE LA ALDEA BOXONCAN, TAJUMULCO; SAN MARCOS**, previo a conferírsele el Título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE. La Coordinación Académica en base a la opinión favorable del Asesor, Comisión de Revisión y Coordinador de Carrera, **ACORDÓ: AUTORIZAR IMPRESIÓN DE LA TESIS EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ATRAYENTES SOBRE LAS ESPECIES DE GORGOJOS DESCORTEZADORES DEL PINO (Dendroctonus spp), EN EL BOSQUE DE CONÍFERAS DE LA ALDEA BOXONCAN, TAJUMULCO; SAN MARCOS**, al estudiante: BRAYAN RUFINO LÓPEZ PÉREZ, Carné No. 201540669, previo a conferírsele el Título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE.”

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
PhD. Robert Enrique Orozco Sánchez  
Coordinador Académico



## **Dedicatoria**

**A:**

**Dios:** Por darme el don de la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación académica, al guiar mis esfuerzos en cumplir mis metas.

**A mis padres:** Rufino López López y Rosalba Fabiana Pérez Chávez, quienes con su amor, consejos y esfuerzo me han permitido cumplir hoy una meta más, gracias por inculcar en mí los valores, perseverancia y dedicación, porque Dios está conmigo siempre.

**A mi esposa e hijo:** Edilma Sánchez y Mateo López, quienes con su apoyo, amor y alegría me motivan para seguir proponiendo nuevas metas y alcanzarlos.

**A mis hermanos:** Wagner López y Juan López, por el apoyo que nos brindamos como hermanos y la confianza que depositaron en mí para lograr esta meta sin dudar un solo momento en mi capacidad.

**Mis abuelos:** Mis abuelos paternos Juan Cornelio López (Q.E.P.D) y Virginia López (Q.E.P.D), por compartir conmigo la alegría y orgullo de haber iniciado una carrera universitaria. Mis abuelos maternos Jacinto Pérez (Q.E.P.D) y Simona Chávez (Q.E.P.D) a quienes no tuve la dicha de conocer, pero sé que me bendicen desde el cielo.

**A mis amigos:** Amigos de la infancia con quienes conviví por muchos años y amigos que conocí durante mi formación académica hasta la universidad, por apoyarnos mutuamente en nuestra formación profesional y personal.

## **Agradecimiento**

**A:**

Dr. Biólogo. Manuel Alejandro Barrios Izás docente e investigador del Centro Universitario de Zacapa -CUNZAC-, por la asesoría para el desarrollo de la investigación, ya que cuenta con una amplia formación académica y experiencia en el campo de la biología.

Ing Agr. Juan Carlos Rosales Longo, docente de Agronomía del Centro Universitario de San Marcos -CUSAM- por la asesoría técnica para el desarrollo de la investigación.

A los Profesionales de la Terna Evaluadora del presente trabajo de investigación, Ing. Agr. Jorge Juárez, Ing. Agr. Cristóbal Navarro e Ing. Pedro Orozco, por el gran aporte al mejoramiento del documento de tesis.

A los docentes de agronomía del CUSAM quienes compartieron sus conocimientos y experiencias durante toda la carrera.

A la Unidad Técnica Agropecuaria Municipal -UTAM – de Tajumulco, coordinado por Mynor Hernández y el personal, por el apoyo en la ejecución de la investigación.

A las autoridades y vecinos de la Aldea Boxoncan, por el acompañamiento y permisos para realizar la investigación en el bosque de coníferas de la comunidad.

**1. Título**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS ATRAYENTES SOBRE LAS ESPECIES DE GORGOJOS DESCORTEZADORES DEL PINO (*Dendroctonus* spp), EN EL BOSQUE DE CONÍFERAS DE LA ALDEA BOXONCAN, TAJUMULCO; SAN MARCOS.**

**EVALUATION OF THE EFFECT OF ATTRACTANTS ON THE SPECIES OF PINE BARK WEEELS (*Dendroctonus* spp), IN THE CONIFEROUS FOREST OF THE BOXONCAN VILLAGE, TAJUMULCO; SAN MARCOS.**

## INDICE

1. Título .....	1
2. Glosario .....	6
3. Resumen ejecutivo.....	10
4. Abstract.....	11
5. Introducción.....	12
6. Planteamiento del Problema .....	14
7. Justificación .....	15
8. Marco Teórico .....	16
8.1. Marco Conceptual .....	16
8.1.1. Método Experimental.....	16
8.1.2. Aspectos Biológicos y ecológicos de descortezador .....	16
8.1.3. Gorgojo Descortezador del Pino (Dendroctonus spp) .....	17
8.1.4. Daños en los Árboles de Coníferas.....	21
8.1.5. Captura de insectos con atrayentes en trampas.....	25
8.1.6. Atrayentes y medio de captura.....	26
8.1.7. Investigaciones sobre Descortezadores del pino en Guatemala .....	30
8.1.8. Legislación forestal:.....	31
8.1.9. Reconocimiento de niveles de infestación por descortezadores: .....	32
8.1.10. Software R y R studio .....	33
8.1.11. Software QGIS .....	35
8.2. Marco Referencial .....	37
8.2.1. El municipio de Tajumulco, San Marcos.....	37
8.2.2. La aldea Boxoncan, Tajumulco .....	39
8.2.3. Descripción del área de estudio .....	40
9. Objetivos.....	41
9.1. General .....	41
9.2. Específicos .....	41
10. Hipótesis .....	42
10.1. Hipótesis biológica .....	42
10.2. Predicciones Biológicas.....	42

11.	Variables de respuesta.....	43
12.	Materiales.....	44
12.1.	Descripción de Tratamientos:.....	44
12.2.	Recursos.....	44
13.	Metodología.....	45
13.1.	Diseño experimental.....	45
13.1.1.	“Completamente Al Azar”.....	45
13.2.	Metodología para la recolección de datos en campo.....	47
13.3.	Método para la Estimación de la biomasa relativa del bosque.....	54
13.4.	Método para la identificación taxonómica de especímenes capturados.....	58
13.5.	Metodología para el Análisis estadístico de datos en R y Rstudio.....	61
13.6.	Elaboración de informe final.....	66
14.	Resultados y Discusión.....	67
14.1.	ANOVA de Descortezadores vrs Tratamientos.....	67
14.1.1.	Análisis ANOVA.....	67
14.1.2.	Prueba de Tukey.....	67
14.1.3.	Análisis Residual.....	68
14.2.	ANOVA de insectos en general vrs Tratamientos.....	69
14.2.1.	Prueba de Tukey.....	70
14.2.2.	Análisis Residual.....	70
14.3.	Biomasa relativa.....	72
14.3.1.	Estimación de la biomasa relativa.....	72
14.4.	Análisis de Biodiversidad.....	76
14.5.	Análisis de correlación multivariado.....	79
14.6.	Análisis de modelo de regresión lineal múltiple:.....	85
14.6.1.	Modelo de regresión lineal múltiple.....	85
14.7.	Áreas y zonas marcadas con signos por presencia de descortezadores.....	91
15.	Conclusiones.....	92
16.	Recomendaciones.....	95
17.	Referencias Bibliográficas.....	96
18.	Anexos.....	99

18.1.	Catálogo de Scolytidae presentes en el bosque de Aldea Boxoncan.....	103
18.2.	Sugerencia de plan de manejo para prevenir infestación por ( <i>Dendroctonus</i> spp), en bosques de coníferas en Guatemala .....	108
18.3.	Fotografías del desarrollo de la investigación .....	109

## Índice de Figuras

<b>FIGURA 1.</b>	ESTRUCTURA QUÍMICA DEL A-PINENO. ....	28
<b>FIGURA 2.</b>	ESTRUCTURA QUÍMICA DEL D-LIMONENO. ....	29
<b>FIGURA 3.</b>	MAPA GEORREFERENCIAL DEL MUNICIPIO DE TAJUMULCO. ....	37
<b>FIGURA 4.</b>	MICRORREGIONES DEL MUNICIPIO DE TAJUMULCO. ....	38
<b>FIGURA 5:</b>	MAPA DE UBICACIÓN DE LA ALDEA BOXONCAN, TAJUMULCO.....	39
<b>FIGURA 6.</b>	MAPA DE UBICACIÓN DEL BOSQUE EN ALDEA BOXONCAN.....	40
<b>FIGURA 7.</b>	MAPA DE DISTRIBUCIÓN ALEATORIA DE TRAMPAS. ....	47
<b>FIGURA 8.</b>	SOBRE VUELO CON DRON. ....	48
<b>FIGURA 9.</b>	ELABORACIÓN DE MAPAS EN EL SOFTWARE QGIS. ....	49
<b>FIGURA 10.</b>	LEVANTAMIENTO DE DATOS DASOMÉTRICOS DEL BOSQUE. ....	50
<b>FIGURA 11.</b>	CONTEO DE ÁRBOLES DIGITALMENTE. ....	51
<b>FIGURA 12.</b>	COLOCACIÓN DE TRAMPAS.....	52
<b>FIGURA 13.</b>	MONITOREO Y RECOLECCIÓN DE INSECTOS. ....	53
<b>FIGURA 14.</b>	IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS POR DESCORTEZADORES. ....	54
<b>FIGURA 15.</b>	MONTAJE DE ESPÉCIMEN CON ETIQUETA DE IDENTIFICACIÓN. ....	59
<b>FIGURA 16.</b>	AGRUPACIÓN DE INSECTOS POR ESPECIE. ....	59
<b>FIGURA 17.</b>	CLASIFICACIÓN PRECISA DE INSECTOS. ....	60
<b>FIGURA 18.</b>	FOTOGRAFÍA DE ( <i>DENDROCTONUS ADJUNTUS</i> ).....	61
<b>FIGURA 19.</b>	MAPA DEL BOSQUE EN ESTUDIO.....	99
<b>FIGURA 20.</b>	EXTRACTOS DE PINO, D-LIMONENO Y A-PINENO. ....	109
<b>FIGURA 21.</b>	FOTOGRAFÍA DEL EQUIPO, EN EL BOSQUE DE LA ALDEA BOXONCAN.....	109
<b>FIGURA 22.</b>	INVESTIGADOR EN EL LABORATORIO DE ECOLOGÍA DE CUNZAC. ....	110
<b>FIGURA 23.</b>	EQUIPO DE TRABAJO EN LABORATORIO DEL CUNZAC.....	110
<b>FIGURA 24.</b>	INSECTARIO DE SCOLYTIDAE OBTENIDO. ....	111

## Índice de Tablas

<b>TABLA 1.</b> CLASIFICACIÓN DE NIVELES DE INFESTACIÓN POR DESCORTEZADOR. ....	33
<b>TABLA 2.</b> VARIABLES DE RESPUESTA QUE INFLUYEN EN LA ABUNDANCIA DE DESCORTEZADORES. ....	43
<b>TABLA 3.</b> RECURSOS. ....	44
<b>TABLA 4.</b> COORDENADAS PARA LA COLOCACIÓN DE TRAMPAS. ....	100
<b>TABLA 5:</b> TABLA DE DATOS DE LA INVESTIGACIÓN. ....	101

## Índice de Gráficas

<b>GRÁFICA 1.</b> EFECTO DE ATRACCIÓN DE DESCORTEZADORES ENTRE TRATAMIENTOS. ....	68
<b>GRÁFICA 2.</b> RESULTADO DE ATRACCIÓN DE INSECTOS EN GENERAL ENTRE TRATAMIENTOS. ....	71
<b>GRÁFICA 3.</b> ABUNDANCIA DE ESPECIES FORESTALES. ....	72
<b>GRÁFICA 4.</b> FRECUENCIA DE ESPECIES FORESTALES. ....	73
<b>GRÁFICA 5.</b> DOMINANCIA RELATIVA ....	74
<b>GRÁFICA 6.</b> ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA. ....	75
<b>GRÁFICA 7.</b> CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES POR SITIO. ....	78
<b>GRÁFICA 8.</b> ATRACCIÓN DE TRATAMIENTO VRS NÚMERO DE DESCORTEZADORES. ....	79
<b>GRÁFICA 9.</b> RELACIÓN DE NÚMERO DE DESCORTEZADORES VRS DAP. ....	80
<b>GRÁFICA 10.</b> RELACIÓN DE NÚMERO DE DESCORTEZADORES VRS ÁREA DE COPA. ....	81
<b>GRÁFICA 11.</b> RELACIÓN DE NUMERO DE DESCORTEZADORES VRS ALTURA DE LOS ÁRBOLES. ....	82
<b>GRÁFICA 12.</b> RELACIÓN DE NUMERO DE DESCORTEZADORES VRS DENSIDAD DE ÁRBOLES. ....	83
<b>GRÁFICA 13.</b> RELACIÓN DE NÚMERO DE DESCORTEZADORES VRS DENSIDAD DE PINOS. ....	84
<b>GRÁFICA 14.</b> CORRELACIÓN, DESCORTEZADORES VRS DENSIDAD DE PINOS Y ÁREA DE COPA. ....	86
<b>GRÁFICA 15.</b> CORRELACIÓN, DESCORTEZADORES VRS DAP Y DENSIDAD DE PINOS. ....	87
<b>GRÁFICA 16.</b> CORRELACIÓN, DESCORTEZADORES VRS DENSIDAD DE ÁRBOLES Y ÁREA DE COPA. ....	88
<b>GRÁFICA 17.</b> CORRELACIÓN, DESCORTEZADORES VRS DAP Y ALTURA DE ÁRBOLES. ....	89
<b>GRÁFICA 18.</b> MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DE VARIABLES. ....	90

## 2. Glosario

**Aceites esenciales:** Los aceites esenciales contienen sustancias químicas naturales que le dan su "esencia" (olor y sabor específicos) a las plantas. Los aceites esenciales se emplean en los perfumes, los saborizantes de alimentos, los medicamentos y la aromaterapia.

**Acículas:** Dícese de las hojas u órganos vegetales en general que tienen forma de aguja, más conocidas en pinos.

**Aleatorización:** es el proceso mediante el que los participantes de ensayos clínicos se asignan al azar a grupos separados que reciben distintos tratamientos u otras intervenciones. Ni el investigador ni el participante eligen el tratamiento o la intervención que recibe el participante.

**Ambrosiales:** Los escarabajos ambrosía perforan túneles en el tronco y en las ramas del árbol. Regularmente los árboles atacados presentan estrés.

**Atrayente:** Ganar la voluntad, afecto, gusto o atención de otra. Que atrae. atractivo, llamativo, seductor, cautivador, sugestivo, tentador

**Biodiversidad:** La biodiversidad es la diversidad de vida, la variedad de seres vivos que existen en el planeta y las relaciones que establecen entre sí y con el medio que los rodea.

**Coleóptera:** orden de insecto, dicho de un insecto: Que tiene boca dispuesta para masticar, caparazón consistente y dos élitros córneos que cubren dos alas membranosas, plegadas al través cuando el animal no vuela

**Coníferas:** Dicho de un árbol o de un arbusto: Del grupo de las gimnospermas de hojas persistentes, aciculares o en forma de escamas, fruto en cono, y ramas que presentan un contorno cónico; por ejemplo, el ciprés, el pino o la sabina.

**Correlación:** Correspondencia o relación recíproca entre dos o más cosas o series de cosas.

**DAP:** Se conoce como diámetro altura pecho (DAP) a la altura en que se debe tomar la medida del diámetro del tronco. Dentro de la biometría forestal se ha convenido que sea a 1.30m del suelo, debido a que esta es la altura promedio en la que se encuentra el pecho de una persona.

**Biometría Forestal:** Los sistemas biométricos forestales constituyen las herramientas analíticas más utilizadas para el análisis de la producción y el crecimiento de los bosques.

**Dasometría:** Medición Forestal o Dasometría es una técnica para medir y cuantificar las variables dendroepidométricas de los árboles, rodales y masas forestales.

**Descortezadores:** Los descortezadores son pequeños escarabajos que viven debajo de la corteza del árbol y se alimentan del tejido que conduce los nutrientes del mismo, provocando frecuentemente la muerte del arbolado.

**Diagrama:** Representación gráfica, generalmente esquemática, de algo.

**Dron:** Aeronave que vuela sin tripulación humana a bordo, también conocida en español como vehículo aéreo no tripulado (VANT), o sistema aéreo no tripulado (UAS, por siglas en inglés de Unmanned Aerial System).

**Ecosistema:** Sistema ecológico constituido por un medio y los seres vivos que habitan en él, así como por sus relaciones mutuas.

**Especímen:** Muestra, modelo, ejemplar, normalmente con las características de su especie muy bien definidas

**Estadio:** Se llama estadio (o instar) a cada etapa en el desarrollo de los artrópodos, como insectos, crustáceos, etc., hasta llegar a la madurez sexual

**Etanol:** El etanol, también conocido como alcohol etílico, es un líquido incoloro, volátil e inflamable con la fórmula química  $C_2H_5O$ .

**Etilenglicol:** El etilenglicol es un líquido incoloro, transparente y espeso. Se utiliza como agente anticongelante y en sustancias refrigerantes, detergentes, pinturas, lacas, productos farmacéuticos, adhesivos y cosméticos.

**Fisionomía:** La fisionomía de la vegetación se define por la proporción en que cada forma de vida contribuye a la comunidad vegetal. Esta definición de la estructura, de menor detalle conceptual que la florística es, en muchas ocasiones, suficiente para describir a nivel regional la heterogeneidad de la vegetación.

**Geografía:** La Geografía es la ciencia que estudia y describe el entorno que nos rodea y nos proporciona información que nos ayuda a conocerlo y entenderlo.

**Georreferenciación:** La georreferenciación o rectificación es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espacial diferente al que se encuentra.

**Grumos:** Parte de una sustancia que se coagula

**GTM:** (GUATEMALA TRANSVERSA DE MERCATOR) Sistema de Proyección de coordenadas: Transversa de Mercator Sistema de Referencia: WGS 84.

**Clinómetro:** El clinómetro (Del Gr, Klincin, 'inclinarse' y métron, 'medida') es un instrumento metrológico que se utiliza para determinar el ángulo en grados sexagesimales, con respecto a la vertical, de distintos objetos (torres, postes, árboles, estratos, etc.).

**Infestación:** Dicho de gran cantidad de individuos de una misma especie, 'invadir [algo o a alguien] en forma de plaga

**Kairomona:** Son sustancias que denuncian a los insectos herbívoros para atraer a sus depredadores. Generalmente los depredadores colocan sus huevos sobre los insectos que dañan a las plantas para que luego las larvas se alimenten de ellos. Se cree que la planta produce estas sustancias las que una vez acumuladas dentro del insecto que la ataca, atrae de forma indirecta a los que la protegen de la plaga que la ataca.

**Semioquímicos:** Son sustancias implicadas en la comunicación entre seres vivos. En el caso de los insectos, pueden ser herramientas de gran utilidad en la lucha contra plagas, como alternativas a la aplicación de insecticidas convencionales. Son sustancias de gran selectividad y muy activas a baja dosis.

**Latifoliados:** árboles o arbustos considerados frondosos por sus hojas anchas y planas, son plantas que poseen flores y frutos donde cubren la semilla, denominados plantas angiospermas.

**Montaje de insectos:** El insecto una vez muerto, es pinchado con un alfiler entomológico del N° 1 o 2, en el centro del tórax, y luego se estiran sus alas en un dispositivo llamado extensor.

**Ortofoto:** La ortofotografía (del griego orthós 'correcto, exacto') es la presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos están en la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico.

**Polígono:** Son figuras planas formadas por una línea poligonal cerrada y su interior.

**Ráster:** Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados. Los datos almacenados en formato ráster representan fenómenos del mundo real: Los datos temáticos (también conocidos como discretos) representan entidades como datos de la tierra o de uso de la tierra.

**Resina:** Sustancia sólida o de consistencia pastosa, insoluble en el agua, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales, y capaz de arder en contacto con el aire, obtenida naturalmente como producto que fluye de varias plantas.

**Scolytinae:** Los escolitinos (Scolytinae) son una subfamilia de coleópteros polífagos de la familia Curculionidae. Durante muchos años fue considerada una familia independiente y, por tanto, denominada Scolytidae (escolítidos).

**Shape:** es un formato de almacenamiento de datos vectorial que guarda la localización, la forma y los atributos de entidades geográficas.

**Signos:** define 'signo' como la 'manifestación objetiva de una enfermedad o estado que el médico percibe o provoca, daños visibles.

**Tukey:** La prueba de Tukey es un método que tiene como fin comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos.

**Variables:** Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse.

### 3. Resumen ejecutivo

El cambio climático y alteraciones ecológicas humanas provocan la brotación de plagas y enfermedades, en bosques de coníferas tienen la posibilidad de ocurrir estos daños por el gorgojo descortezador del pino (*Pinus* spp) principalmente del género (*Dendroctonus* spp) ya que son las especies que inician una colonización. En la comunidad Aldea Boxoncan, del municipio de Tajumulco, San Marcos. Se encuentra un área forestal de 24.6 hectáreas donde predomina el (*Pinus spp*) cuya área superficial es poseída por varios dueños siendo así un bosque privado. Sobre esta área superficial por medio del uso de dron se generó una ortofoto georreferenciada para la elaboración de mapas, estos mapas permitieron una distribución al azar de trampas para capturar insectos descortezadores del pino. Así mismo se realizó el cálculo de biomasa relativa del bosque, tomando en cuenta las características de los árboles; altura de árboles, densidad forestal, Diámetro a la Altura del Pecho, Área de copa, especies de árboles y número de árboles de cada especie.

Los especímenes de insectos capturados fueron observados en laboratorio para la determinación de la especie a las que pertenecían, así como su abundancia. Esta información estadística de descortezadores se relacionó con las variables ecológicas para obtener un modelo de regresión lineal que permitió conocer la interacción entre la parte forestal e insectos, así como para generar la proyección de factores del bosque que puedan alterar el número de población de los insectos descortezadores. Dentro del bosque fue encontrada una especie de descortezador del género (*Dendroctonus spp*): (*Dendroctonus adjunctus*) identificada como una especie colonizadora de árboles vivos, y clase secundaria según su nivel de agresividad. Así como especies no agresivas cuyo hábito alimenticio es de restos forestales muertos: (*Hylurgus ligniperda*), (*Gnathothrichus materarius*), (*Corthylus flagellifer*), (*Hylurgops incomptus*), (*Pseudips mexicanus*), (*Gnathothrichus perniciosus*), (*Gnathothrichus retusus*), (*Gnathothrichus alniphagus*), (*Tricolus coloreus Madera*) y (*Xyleborus anthracinus*).

De acuerdo con la efectividad de los cebos atrayentes evaluados (A-Pineno, D-Limoneno y Etanol) Se determinó que no hay infestación del bosque por (*Dendroctonus adjunctus*) debido a que su población es relativamente pequeña y los focos con signos por presencia, no es significativo.

#### 4. Abstract

Climate change and human ecological alterations cause the outbreak of pests and diseases. In coniferous forests, this damage may occur due to the pine bark beetle (*Pinus* spp), mainly of the genus (*Dendroctonus* spp), since they are the species that initiate a colonization. In the Aldea Boxoncan community, in the municipality of Tajumulco, San Marcos. There is a forest area of 24.6 hectares where the (*Pinus* spp) predominates, whose surface area is owned by several owners, thus making it a private forest. Using a drone, a georeferenced orthophoto was generated over this surface area for the preparation of maps. These maps allowed a random distribution of traps to capture pine bark insects. Likewise, the relative biomass calculation of the forest was carried out, taking into account the characteristics of the trees, tree height, forest density, diameter at breast height, crown area, tree species and number of trees of each species.

The captured insect specimens were observed in the laboratory to determine the species to which they belonged, as well as their abundance. This statistical information on bark beetles was related to the ecological variables to obtain a linear regression model that allowed us to know the interaction between the forest part and insects, as well as to generate the projection of forest factors that may alter the population number of insects. bark removers. Within the forest, a species of bark beetle of the genus (*Dendroctonus* spp) was found: (*Dendroctonus adjunctus*) identified as a colonizing species of live trees, and a secondary class according to its level of aggressiveness. As well as non-aggressive species whose feeding habit is dead forest remains: (*Hylurgus ligniperda*), (*Gnathotrachus materarius*), (*Corthylus flagellifer*), (*Hylurgops incomptus*), (*Pseudips mexicanus*), (*Gnathotrachus perniciosus*), (*Gnathotrachus retusus*), (*Gnathotrachus alniphagus*), (*Tricolus coloreus* Wood) and (*Xyleborus anthracinus*).

According to the effectiveness of the attractant tallows evaluated (A-Pinene, D-Limonene and Ethanol), it was determined that there is no infestation of the forest by (*Dendroctonus adjunctus*) because its population is relatively small and the foci show signs of presence, it is not significant.

## 5. Introducción

Los bosques de coníferas en Guatemala se desarrollan en suelos volcánicos. Es uno de los principales recursos naturales y fuente de desarrollo del país, proporcionando múltiples beneficios al hombre principalmente en la obtención de bienes y servicios. Sin embargo, a través del tiempo estos bosques han perdido su extensión. Según (SIFGUA, 2016), entre el año 2010 al 2016 hubo una disminución de la cobertura forestal nacional del 0.9% con una pérdida bruta de 680,566 hectáreas y para San Marcos hubo una pérdida de 18,442 ha. Esto es causado por el avance de la frontera agrícola, un manejo forestal inadecuado o nulo, que a mediano y largo plazo provoca alteraciones ecológicas como la brotación de plagas y enfermedades, tal es el caso del gorgojo descortezador del pino (*Pinus spp*) del género (*Dendroctonus spp*).

Entre las especies de descortezadores “Algunas especies son consideradas más agresivas que otras, por la cantidad de individuos y generaciones que pueden tener en un corto tiempo”. (INAB, 2019) “Durante y después de su ataque, reduce considerablemente el valor de la madera en pie, en especial donde el monitoreo y control son difíciles de aplicar tomando en cuenta el alto valor que representa”. (Sosa Chávez, 2005) Sin un manejo el ataque de gorgojo puede causar la muerte de árboles, expandiéndose hasta provocar la pérdida de cobertura forestal en grandes áreas de especies nativas.

Se realizó una investigación científica, que dio a conocer las especies de Descortezadores del (*Pinus spp*) de la subfamilia Scolytinae, y con un enfoque sobre el género (*Dendroctonus spp*), que están presentes en el área de estudio, y describe la relación de cada característica del bosque con la presencia de descortezadores. A través de la evaluación del efecto de cebos atrayentes de insectos con el uso de trampas pet de intersección, los cuales permitieron tomar muestras de diferentes ensambles de escarabajos; en laboratorio se realizó la caracterización de las especies, cuyos datos fueron analizados estadísticamente de acuerdo con el diseño experimental “Diseño completamente al azar”.

Se aplicó el uso de tecnologías digitales como sobrevuelos del bosque con dron para tomar imágenes aéreas que se procesaron en el software Pix4D para crear una imagen de alta resolución, el cual fue la base ráster para el análisis en el software QGIS y poder evaluar la relación de las variables ecológicas vrs la abundancia de descortezadores.

En la evaluación de los sebos atrayentes evaluados (A-Pineno, D-Limoneno y Etanol) Se determinó que el atrayente D-limoneno es el más efectivo significativamente para capturar insectos descortezadores del pino pertenecientes a la subfamilia Scolytinae. Así mismo se encontró la presencia de una sola especie del género (*Dendroctonus* spp) siendo el (*Dendroctonus adjunctus*), y según los análisis se afirma que no hay infestación del bosque por ninguna especie de descortezador, debido a que las poblaciones son relativamente pequeñas y las áreas de focos con signos por presencia, no son significativos.

## 6. Planteamiento del Problema

Las plagas forestales más importantes en Guatemala se desarrollan en los bosques de coníferas, por el gorgojo descortezador del pino, el cual se conocen en el país desde el año 1,900 “en la década de los 70s, las poblaciones de gorgojo aumentaron dañando significativamente los bosques de coníferas del occidente del país”. (Molina , 2013) “En Guatemala se han registrado 7 especies de gorgojos, estos se encuentran en los bosques y plantaciones de pino del país; ubicados en Poptún, Petén, en el Oriente, Las Verapaces, y todo el Occidente del país”. (INAB, 2019)

El gorgojo descortezador es una plaga forestal en bosques del altiplano de San Marcos, según (SIFGUA, 2016) “en el año 2012 el (*Dendroctonus* sp) daño irreversiblemente 41.8 Ha, de los cuales 30.44 Ha fue dañado por (*Dendroctonus adjunctus*) en bosque natural de *Pinus Rudis*. La especie (*Pinus hartwegii*) es la que predomina en la parte alta de la microrregión Río Cutzulchima, en donde se encuentra ubicada la aldea Boxoncan, Tajumulco. Según (SIFGUA, 2016) “los bosques más afectados son los bosques naturales de coníferas nativos”, tal como existe en Boxoncan, lo cual indica que no está exento de sufrir una infestación severa por (*Dendroctonus* sp).

“el gorgojo tiene la posibilidad de rebrotar y colonizar los bosques, gracias al cambio climático y la presencia de árboles debilitados por factores como; condiciones ambientales desfavorables, bosques densamente poblados, incendios forestales y extracción de resina” (Nunes & Dávila, 2004). “En el periodo entre el 2010 al 2016 en Tajumulco se perdió 561 hectáreas de bosque y en la región VII el área afectada es de 31.69 hectáreas” (SIFGUA, 2016).

En la aldea Boxoncan existen bosques de coníferas, principalmente con las especies de pino blanco (*Pinus ayacahuite*) y mayormente pino de las cumbres (*Pinus hartwegii*), en donde se encuentran árboles con síntomas de daño, como el color rojizo de la copa, segregación de resina en el fuste y galerías entre la corteza y la madera, según (entrevista y observación en la comunidad). “La especie *P. hartwegii* es atacado por el (*Dendroctonus adjunctus*)” (INAB, 2019). Se desconoce cuáles son las especies de gorgojo descortezador que puedan estar presentes y las condiciones ecológicas y ambientales que influyen en la aparición del gorgojo descortezador del pino hasta poderse constituir en plaga forestal, específicamente en la localidad de la parte alta del municipio de Tajumulco.

## 7. Justificación

Los bosques cumplen importantes funciones: aseguran la provisión de bienes (agua, oxígeno, alimento, medicina, leña y madera) y servicios que generan medios de vida y fuente de trabajo para la población guatemalteca; conservan la biodiversidad y constituyen herramientas importantes para enfrentar el cambio climático. INAB 2018 Mantiene importantes procesos ecológicos la capacidad de absorber dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera e incorporarlo a su estructura como biomasa y liberación de O<sub>2</sub>. (INAB, 2018)

El 70% del bosque de la microrregión Cutzulchima alta, en la aldea Boxoncán, Tajumulco, son de coníferas (SEGEPLAN, 2010) de las especies, pino blanco (*Pinus ayacahuite*), ciprés (*Cupressus lusitanica*) y mayormente pino de las cumbres (*Pinus hartwegii*). La microrregión presenta una orografía montañosa con suelos de origen volcánico de vocación forestal. (SEGEPLAN, 2010) según observaciones y entrevistas a vecinos de la localidad en el año 2021, el bosque privado de la aldea Boxoncán es fuente de recursos energéticos (leña) y recursos económicos (extracción de madera), así mismo señalaron la presencia de descortezadores principalmente en (*Pinus hartwegii*).

Las relaciones entre el gorgojo descortezador y las condiciones medioambientales en un modelo lineal, se encontró que aumentos en la temperatura promedio, anomalías climáticas de meses calurosos y afectación por incendios forestales, influyen sobre la ocurrencia y extensión de plagas de *Dendroctonus* spp. Ante la poca información disponible sobre las causas del *D. frontalis*, *D. adjunctus* en Centroamérica, queda de manifiesto la importancia de este tipo de estudios para la toma de decisiones sobre el manejo de los bosques. (Rivera, Locatelli, & Billings, 2010)

A través de la investigación se generó productos como la estimación de la biomasa relativa del bosque, la caracterización de las especies de descortezadores que tienen presencia en el área, graficas de infestación, mapas de ubicación, y la obtención de un insectario. Con todo ello se podrá tener información para elaborar y proponer un protocolo de saneamiento forestal para la localidad y la región.

## 8. Marco Teórico

### 8.1. Marco Conceptual

#### 8.1.1. Método Experimental

En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales. (Murillo, 2008)

#### 8.1.2. Aspectos Biológicos y ecológicos de descortezador

El término descortezador, se deriva del hecho de que estos insectos se desarrollan debajo de la corteza, alimentándose del cambium, lo que promueve la muerte, degradación y subsecuente colonización de estos tejidos por un sinnúmero de organismos, acciones que al final hacen que se desprenda la corteza. Los principales descortezadores de pino en Guatemala pertenecen a los géneros *Dendroctonus* e *Ips* los más destructivos.

Las especies *D. frontalis*, *D. adjunctus* y *D. mesoamericanus* se consideran primarias porque en general los individuos de estas especies colonizan arbolado vivo y vigoroso, mientras que las otras especies de *Dendroctonus* en general colonizan árboles previamente atacados por las especies primarias. Resalta algunas veces el comportamiento de *D. valens* pues sus individuos llegan a colonizar parcialmente la parte baja de algunos árboles (no colonizados por otros descortezadores), sobre todo si han sido quemados, sin llegar a causarles la muerte. Las especies de *Ips* y *Pseudips mexicanus*, en general, colonizan árboles previamente atacados por las especies primarias (Wood 1982, Furniss y Carolin 2002, Billings y Espino 2018) o en ocasiones, cuando sus poblaciones son muy altas o los árboles muy estresados son capaces de entrar y colonizarlos exitosamente (Billings y Espino 2018).

Las especies de *Dendroctonus* son monógamas y el sexo que inicia la colonización es la hembra (Wood 1982). Las hembras de varias especies *D. frontalis*, *D. adjunctus* y *D. mesoamericanus*

liberan feromonas de agregación (Wood 1982, Macías-Sámano y Niño 2016, Niño et al. 2018). En cambio, las especies de *Ips* son polígamas, los machos son quienes inician los ataques (Wood 1982) y los que producen feromonas de agregación (Macías-Sámano et al. 2014, Macías Sámano y Niño 2016). Derivado del uso de feromonas de agregación, las especies mencionadas de ambos géneros.

Forman ataques concéntricos abarcando grupos de árboles y estos a su vez crean nuevos centros de contagio. Basado en esta forma de apareamiento (monogamia o poligamia), se derivan las formas que las galerías son construidas y grabadas (Figura 3) debajo de la corteza al irse desarrollando los distintos estadios de los insectos. De tal manera que las especies monógamas, *Dendroctonus* spp, forman galerías parentales generalmente en forma de “S” alargadas (con excepción de *D. valens*, *D. ponderosae* y *D. pseudotsugae*) y llenas de aserrín (Fig. 3C), extendiéndose de arriba hacia abajo del árbol y con las galerías larvales irradiando hacia los lados de las parentales. Las especies polígamas como las de *Ips*, desarrollan galerías en forma de “Y” (indicando tres hembras apareadas) (Fig. 3A), o de “H” (cuatro o más hembras) (Fig. 3B), limpias de aserrín y con galerías larvales irradiando de cada “brazo” de las parentales (Billings y Espino 2018). Frecuentemente, las especies de *Ips* colonizan pinos tirados o trozas con corteza fresca, un comportamiento que raramente se encuentra en las especies de *Dendroctonus* (R. Billings, com. pers., Texas A&M Forest Service).

### **8.1.3. Gorgojo Descortezador del Pino (*Dendroctonus* spp)**

Se trata de un grupo de insectos, conocidos también como escarabajos descortezadores, que comprende varios géneros y especies de la subfamilia Scolytidae / Orden Coleóptera. Son considerados la plaga más prominente y drástica de los bosques de pino, siendo *Dendroctonus* e *Ips*, los géneros catalogados de mayor relevancia. (Espino, Córdón, & Melendéz, 2004)

a) Taxonomía del Genero *Dendroctonus*:

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Suborden: Polyphaga

Superfamilia: Curculionoidae

Familia: Scolytidae

Género: *Dendroctonus*

Etimología:

*Dendroctonus* spp, significa Asesino de árboles o matador de árboles “Tree Killer”, que proviene del griego, Dendro = árbol asociado a la palabra Dendrología, especies de árboles. Cton = asesino (Sosa Chávez, 2005)

b) Morfología general del gorgojo descortezador:

Estos gorgojos son pequeños animales con una longitud corporal que puede oscilar entre los 2 - 4 mm (3.0 mm de promedio aproximado en el caso de la especie (*Dendroctonus frontalis* Z), existiendo otras especies del mismo género que superan esta longitud); su cuerpo es robusto y cilíndrico, con una coloración con tonalidades que va de café oscuro/ rojizo a negro. Muy ligados al (*D. frontalis*), están los gorgojos del género *Ips* que, a pesar del parecido con el *Dendroctonus*, posee características estructurales, biológicas, alimenticias, de comportamiento, etc., diferentes del grupo anterior. Por lo general el ataque de los *Ips*, es de carácter secundario, estableciéndose en árboles ya colonizados por *Dendroctonus*, o debilitados por la actividad de éstos o por la calidad del sitio en que se desarrollan. (Espino, Cordón, & Melendéz, 2004)

c) El ciclo biológico:

Estos insectos comprenden 4 estados de vida (Huevo, larva, pupa y adulto), y se completa en un rango que va de 43 a 70 días en función de las condiciones atmosféricas que predominen en el lugar, pudiendo llegar a tener 6 o 7 generaciones por año. (Espino, Cordón, & Melendéz, 2004)

d) Distribución geográfica del gorgojo:

Estos insectos se encuentran ampliamente distribuidos en los bosques de pino desde el sureste de USA pasando por México, Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. (Espino, Cordón, & Melendéz, 2004)

e) (*Dendroctonus adjunctus Blandford*):

Este gorgojo descortezador es una plaga que ataca los bosques de pinos que se encuentran por encima de los 2800 msnm. Los huevos son ovalados y de un color blanco perla y miden aproximadamente 0.15 cm de largo y ancho. La larva es corrugada en forma de C, apoda y muy a menudo transparente observándose la materia que contiene su abdomen en una coloración café rojiza. Dependiendo del instar en que se encuentre la larva varia en sus dimensiones de 1.5mm a 4.3mm. Las pupas son de una coloración cremosa, en la cual se observan las características de los adultos como los élitros, patas y antenas midiendo 0.6mm de largo y 0.4 de ancho. (Sosa Chávez, 2005)

El insecto adulto tiene una longitud de 2.9 a 6.6 mm con un promedio de 5.4mm. el color del cuerpo cuando el insecto este maduro es negro o café oscuro. Los élitros tienen sus lados rectos y subparalelos en los dos tercios basales y son relativamente redondeados en la parte posterior. El declive es moderadamente pronunciado, convexo y con el interespacio dos débilmente marcado. Las setas de dicho declive salen de gránulos bien definidos y son grandes y escasas. (Sosa Chávez, 2005)

Esta especie se caracteriza por su sistema de galerías, constituido por la galería matriz en dirección horizontal subiendo a lo largo del tronco y un poco más o menos rectangular y formando un arco uniforme. Las galerías son construidas en el cambium y en las capas internas de la corteza. Mide de 4 a 5 mm de largo y de 1.5 a 2 mm de ancho. Sus ataques se encuentran entre los 2400 a los 3200 msnm. Entre las especies de pino atacadas se encuentran las siguientes: *P. rudis*, *P. hartwegii*, *P. maximinoii*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite*, *P. pseudostrubus* y *P. oocarpa* (Sosa Chávez, 2005)

Como consecuencia de la construcción de galerías y de la inoculación de los hongos manchadores, sobreviene la muerte de los árboles. Dado que el insecto requiere de todo un año para completar su ciclo de vida y el período de ataque es largo, la muerte de los árboles requiere de tiempo y solo después de varias semanas se inician los cambios de color del follaje de verde a verde amarillento. Para pasar de verde amarillento a rojizo se necesitan varios meses. Los insectos causan la muerte de grupos de árboles y con frecuencia los árboles infestados no pasan de 20 individuos, pero si las infestaciones no se controlan durante varios años, entonces el número de árboles muertos por manchón puede crecer hasta incluir varios cientos. Los árboles infestados pueden ser de cualquier clase de dominancia, pero aquellos ubicados en las categorías de suprimido, dominado o codominante son más susceptibles que los ubicados en la categoría de dominante. Son susceptibles también aquellos árboles que han sido lesionados por rayos, por incendios forestales y por la extracción de madera y por infección del muérdago enano o enfermedades de la raíz. (Sosa Chávez, 2005)

f) (*Dendroctonus frontalis* Zimm)

El gorgojo descortezador del pino o escarabajo sureño del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimm), pertenece al orden Coleóptera, familia Scolytidae. Es una de las especies más destructivas y perjudiciales del bosque de pino, atacando y matando árboles de forma individual, en pequeños grupos (brotes) o en infestaciones de grandes hectáreas, los ataques epidémicos ocasionados por esta especie se originan generalmente en áreas mal manejadas o bien en rodales demasiado densos, una vez inicia el ataque puede permanecer por dos a tres años. Este insecto presenta lo siguiente: huevo es ovalado en forma elíptica, es de coloración blanco perla y miden aproximadamente 0.15mm. El estado de huevo tarda aproximadamente de 10 a 15 días. Y La larva tiene forma de C, es de color blanquecino cremoso con 10 segmentos abdominales. Su cabeza está bien desarrollada y sobresalen las mandíbulas de color negro. Tiene una longitud aproximada de 2 mm. Presenta la misma coloración cremosa de la larva, tiene la forma del adulto con el abdomen y extremidades expuestas, mide de 3 a 4 mm de largo y la duración de este estado es de 13 a 17 días (Billings 2002). Mide de 2.2 a 3.2mm con un promedio de 2.8. Es de color café a negro. (Sosa Chávez, 2005)

#### **8.1.4. Daños en los Árboles de Coníferas**

Estos animales se establecen y se desarrollan dentro del árbol en la región conocida como el floema (la corteza). Entre el floema y xilema (la madera), se encuentra el cambium; responsable por el fluido y distribución de líquidos y nutrientes por toda la planta. Con la construcción de cámaras y galerías en esta zona, se destruye el cambium y se obstruye el fluido de alimentos y agua vital para la planta y muere. (Ortiz, Albanes, & Garcia, 2019)

Es una de las plagas más perjudiciales que afectan los árboles de pino son los llamados comúnmente “gorgojos” (del género *Dendroctonus*), estos insectos miden alrededor de 2 a 7 mm., varía de tamaño según la especie, son de color café o negro y se encuentran afectando bosques y plantaciones de pino desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Nicaragua. (Ortiz, Albanes, & Garcia, 2019)

El o los árboles tienden a debilitarse, estresarse y son más susceptibles al daño de esta plaga son afectados por condiciones ambientales como:

- a) Sequías
- b) Incendios forestales
- c) Exceso de agua
- d) Descargas eléctricas
- e) La edad de los árboles (sobremaduros).

Es aquí donde este insecto aprovecha, porque tiene la capacidad de colonizar hasta causarle la muerte a los árboles en un corto tiempo. (Ortiz, Albanes, & Garcia, 2019)

En Guatemala se han registrado 7 especies de gorgojos, estos se encuentran en los bosques y plantaciones de pino del país; ubicados en Poptún, Petén, en el Oriente, Las Verapaces, y todo el Occidente del país. Algunas especies son consideradas más agresivas que otras, por la cantidad de individuos y generaciones que pueden tener en un corto tiempo. (Ortiz, Albanes, & Garcia, 2019)

Los insectos ingresan a los árboles penetrando por las grietas de la corteza, donde pasan la mayor parte de su vida, alimentándose y procreándose; la corteza les provee de refugio y protección contra sus enemigos naturales, plaguicidas y condiciones adversas, por esta razón el método más eficiente y rápido para detener el avance de plaga es derribar inmediatamente el árbol

afectado, descortezándolo y quemando o enterrando la corteza, esto disminuye la proliferación de la plaga. (Ortiz, Albanes, & Garcia, 2019)

Los gorgojos colonizan en grandes grupos, tratando de vencer las defensas del árbol, por su parte el árbol libera resina o trementina como mecanismo de defensa, que puede “ahogar y/o atrapar” a los insectos Si los árboles. se encuentran fuertes y resistentes ganan la batalla, pero si están débiles y estresados, la pierden. (Ortiz, Albanes, & Garcia, 2019)

a) Características generales de los pinos:

El género *Pinus*, conocido comúnmente como pinos, comprende a un conjunto de plantas vasculares que es incluido dentro de las coníferas y, a su vez, dentro de la familia Pinaceae de las Gimnospermas. Es un género con gran diversidad y es muy importante económicamente por sus usos forestales ya que, muchas de las especies de pinos producen madera que se emplea en construcción, elaboración de muebles y otros utensilios y papel. (Zambriano, 2017)

b) Descripción del género *Pinus*:

Árboles perennifolios, con ramificación abundante que otorgan un contorno cilíndrico-piramidal a la copa. *P. pinus* tiene copa aparasolada. Las hojas, el tronco y las ramas poseen células que se organizan en canales para la síntesis y acumulación de resina. Hojas aciculares reunidas en grupos de 2 a 5 a través de braquiblastos. (Zambriano, 2017)

Flores unisexuales en estróbilos o conos. Los conos masculinos se disponen en los extremos terminales de las ramas de los pinos y son ovoides compuestos por un eje central con escamas insertadas helicoidalmente, cada una con dos sacos polínicos que contienen polen en su interior. El grano de polen tiene dos vesículas o sacos aeríferos en vista microscópica. Los conos femeninos son ovoides y se forman por un eje central con escamas generalmente bastante engrosadas y leñosas en la madurez, que portan los óvulos. Estas escamas se insertan de manera helicoidal en el eje. Los conos femeninos se disponen en los extremos de las ramas superiores y, luego de la maduración de las semillas, caen al suelo. Las semillas (piñones) tienen una testa más o menos lignificada y se prolongan en un ala papirácea para la dispersión. (Zambriano, 2017)

c) (*Pinus hartwegii*):

La especie de *Pinus hartwegii* Lindl o mejor conocido como pino de las alturas, pino de las cumbres, pino rudis se encuentra en el límite de la vegetación arbórea a una altura de alrededor de los 2,800 a 4,200 msnm. El crecimiento de esta especie está limitado principalmente por las condiciones ambientales predominantes en dichas zonas (bajas temperaturas y escasa precipitación. (Hernández, 2004)

Árbol de tronco recto y copa estrecha con las ramas más viejas péndulas, de hasta 25- 30 m de alto y 80-100 cm de d.a.p, aunque sea aprecia enano cuando se lo encuentra en el límite de la vegetación arbórea, La corteza es gruesa en el tronco, muy rugosa y escamosa, dividida en pequeñas o grandes placas, profundamente fisurada, de color café oscuro a gris. Las ramillas son robustas, rígidas, dirigidas hacia arriba, rugosas con la base de las hojas (de los fascículos) persistente, de color glauco, algunas veces de color café-purpúreo; las acículas muy densas, extendidas, persistiendo por 2 (-3) años. Las acículas tienen un color verde grisáceo, en fascículos de (3-) 4-5(-6), más comúnmente de 5, de (6-)10-17(-22) cm de longitud, de (1-)1,2- 1,5 mm de ancho, rectas o curvadas, rígidas. Los conos solitarios o en verticilos de 2-3(-6), aparentemente sésiles, deciduos, oblicuamente ovoides, de 8-12(-14) x 5-8 cm cuando abren. Las escamas del cono son 150-200, abriendo pronto, delgadas y flexibles o más rígidas, frecuentemente recurvadas hacia la base, ampliamente extendidas; apófisis más o menos lisas, y débil transversalmente aquilladas, de color café o con más frecuencia café-purpúreo, con umbo negruzco, liso o deprimido (ocasionalmente un poco levantado). Las semillas de 5-6 mm de longitud, con frecuencia muestran puntos negros, ala articulada de 12-20 x 7-12 mm (17). La madera es dura pesada, resinosa, la albura es de color blanco amarillento y el duramen café claro. Es utilizada en construcción general. (Hernández, 2004)

Se distribuye naturalmente desde los 13°N a los 25°03'N. Se encuentra en México, Guatemala, El Salvador y Honduras. Su distribución altitudinal varía de los 2750 a 4000 msnm, con precipitaciones anuales de 800 a 1500 mm y una temperatura promedio de 11° C, con temperaturas extremas de 20 a 38°C. En las altitudes de 3000 a 3700 se encuentra formando rodales puros (11). La especie según el estudio de FAO Guatemala se encuentran en los departamentos de, Huehuetenango: Cuchumatanes, Santa Eulalia, San Mateo Ixtatán, Camino de Huehuetenango a

El Mitán, Tejuguaquez, Ocanté. San Marcos: San Marcos-Palestina Los Altos, San Sebastián, Volcán Tajumulco, Sinibal, San Cristóbal Cucho. Quetzaltenango: Quetzaltenango, camino a Salcajá, San Carlos Sijá, Sibilia, San Andrés Xecul, Cantel Cumbres, Volcán Santa María, Siete Orejas, San Martín Sacatepéquez, Laguna Chicabal, Cerro Quemado, Almolonga, Zunil. Entre otros departamentos. (Hernández, 2004)

d) (*Pinus ayacahuite*):

El pino ayacahuite, pino blanco mexicano, pinabete o acalorote, pertenece al género *Pinus*, subgénero *Haploxylon* (pinos de madera suave), Ordinariamente presenta una altura de 20 a 35 metros, llegando a veces hasta los 45 metros o más (Aguilar 1961). Su tronco es monopodial, recto y cilíndrico cuando crece en bosques poco densos. La corteza es de color gris, relativamente lisa en árboles jóvenes mientras que en los adultos es rugosa y está dividida en escamas pequeñas y rectangulares, color café grisáceo (Farjon y Styles 1997); observándose verdosoblanquecina en los retoños y cogollos. La corteza joven se puede desprender fácilmente en grandes tiras (Aguilar 1961). La madera es suave de haces rectos, flexible, de color blanco amarillenta, no muy resinosa y muy fácil de trabajar (Aguilar 1961; Perry 1991). Su ramaje es verticilado, ascendente, horizontal, con la cualidad de emitir retoños por corte en las ramas o en el tronco joven (Aguilar 1961). La copa es piramidal o cónica, con ramas que bajan hasta  $\frac{2}{3}$  ó  $\frac{3}{4}$  de la altura del árbol. Presenta hojas en fascículos de 5, raramente de 6, en ramilletes densos y laxos que llegan hasta el final de las últimas ramas, persistiendo durante 2 ó 3 años, Las agujas son color verde azulado, de sección triangular, aserradas, de 10 a 20 cm de largo por 0.8 a 0.9 mm de espesor. En fascículos jóvenes se pueden encontrar vainas deciduas de 1.8 a 2 cm de longitud. Los conos masculinos coronan la terminación proximal de los retoños, siendo ovoides o cilíndricos, de 7 a 10 mm de largo, de color que va desde amarillo hasta anaranjado (Farjon y Styles 1997). Los conos femeninos se encuentran repartidos en el ramaje, solitarios, en pares o tríos, deciduos, colgantes, pueden ser rectos o curvados de forma oblongo-elongada, de 10 a 45 cm de longitud por 7 a 11 cm de diámetro, su color va desde amarillo pálido hasta castaño rojizo, muy resinosos; con escamas de 4.2 a 5.3 cm de longitud por 1.9 a 2.2 cm de ancho (Aguilar 1961), con pedúnculos leñosos que usualmente caen con el cono. Los conos inmaduros son elípticos o cilíndricos, rectos o curvos, morados y se encuentran en la punta de las ramas nuevas. Las semillas se encuentran en pares en la base de las escamas. (Barrios S. , 2004)

Esta especie se encuentra en el sur de México, Guatemala, El Salvador y Honduras (figura 2), a elevaciones de 1,800 a 3,200 m SNM, pero se encuentra con mayor frecuencia entre los 2,100 y 3,000 m SNM. El rango geográfico para este taxón va desde los 14° hasta los 21° latitud norte y 86° a 101° latitud oeste. (Barrios S. , 2004)

e) Resistencia fisiológica de los árboles:

Los árboles poseen medios especiales de defensa para contrarrestar el ataque de insectos de tal manera que ofrecen resistencia a estos. Cuando los pinos son atacados por descortezadores secretan abundantes cantidades de resina, si contienen suficientes reservas de humedad exudan grandes cantidades de TREMENTINA, que inundan las recién formadas galerías del insecto, matándolo o arrastrándolo fuera del floema antes de que se establezca firmemente. Si el árbol de pino es vigoroso y contiene mayores reservas alimenticias le permitirá equilibrar y soportar mejor los daños que le produzcan los descortezadores, de lo contrario se verá afectado por la invasión de descortezadores en gran número de individuos debilitándolo, de manera que la resina disponible sea tan poca que la que fluye ya no es suficiente para repeler los insectos invasores. (Lopez Celedon & Toledo Marin, 2005)

#### ***8.1.5. Captura de insectos con atrayentes en trampas***

Para evitar inducir infestaciones de árboles sanos con estos atrayentes, se utilizó una dosis baja de liberación. Las trampas cebadas con atrayentes alimenticios son valiosas herramientas para ayudar al monitoreo de poblaciones de insectos. Pueden usarse datos de captura de trampas para determinar su dinámica poblacional, comparar la actividad de la plaga de un año a otro o entre diferentes localidades geográficas. Los datos también pueden ayudar a determinar el éxito de esfuerzos de manejo, comparando las capturas antes y después. El monitoreo puede extenderse más allá de la plaga y de los estudios de la cuarentena; éstos pueden ser dirigidos a biodiversidad y otros problemas de ecología. (Inifap, 2004)

El uso de trampas cebadas con Kairomonas puede ayudar a determinar cuándo y dónde enfocar los esfuerzos para el control de adultos u otros estadios de desarrollo, mediante la conducción de los insectos a lugares predeterminados. Otro uso es la implementación de árboles trampa, los cuales pueden ser tratados mediante métodos mecánicos químicos o con inyección de insecticidas sistémicos en el fuste. (Inifap, 2004)

Trampas de intersección artesanal:

“Para la captura de los especímenes se puede utilizar trampas de intersección. 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 coloca el medio de captura”. (Barrios Izás, 2019) “Se diseñaron trampas artesanales de botellas plásticas de gaseosas de 2.5 y 3 L de capacidad, este modelo de trampa ha sido desarrollado siguiendo las metodologías de Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de Venezuela (INIA) y Asociación Nacional de Café (ANACAFE) en Guatemala”. (Quispe, Loza, & Riquelme, 2015)

La utilización de trampas artesanales resulta ser muy eficientes, económicas y es una buena opción para que las comunidades las repliquen en posibles monitoreos.

#### **8.1.6. Atrayentes y medio de captura**

##### a) Aceites esenciales

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

Se ha detectado que las trampas con extractos de aceites esenciales de las coníferas son de alta utilidad para el monitoreo de las poblaciones de los gorgojos de la madera (Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás, 2019).

b) Etilenglicol:

Nombre común: Etilenglicol, nombre químico: 1,2 Etanodiol. Es un líquido compuesto orgánico más simple de la familia de los glicoles. Su fórmula química es  $C_2H_6O_2$ , mientras su fórmula estructural es  $HOCH_2-CH_2OH$ . Un glicol es un alcohol caracterizado por tener dos grupos hidroxilos (OH) unidos a dos átomos de carbonos vecinos en una cadena alifática. Contiene alcohol el cual es importante porque atrae insectos de diferentes especies. Además, cuenta con un color verde claro que aumenta su capacidad de atracción. (Barrios Izás, 2019)

c) Alfa pineno y D-Limoneno:

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, Los terpenos conforman la mayor parte de los aceites esenciales de los pinos, y son una kairomona importante en la atracción primaria de los escarabajos descortezadores de los pinos. Su composición y abundancia puede variar de una a otra especie de pino también con la edad de los pinos. El alfa pineno y D-Limoneno son monoterpenos que se pueden extraer de las acículas de los pinos. (Barrios, Figueroa, Sosa, & Vargas, 2019)

Kairomonas: del griego Kairos = oportunista. Volátil liberado por una especie de un nivel trófico, que tiene un efecto de comunicación en otra especie de otro nivel trófico y que resulta de beneficio para la especie receptora. Finalidad de las kairomonas; engañar a los insectos atrayéndolos hacia trampas (feromonas de agregación y kairomonas).

El Alfa pineno es uno de los principales componentes terpenos de la resina, cuando el árbol libera resina por medio de los tubos resiníferos, y la resina entra en contacto con el aire el alfa pineno se volatiliza lo cual transforma a la resina como resina acida.

Fórmula molecular:  $C_{10}H_{16}$

Peso molecular: 136.23 g/mol

Aspecto: Líquido claro desconocido

Densidad: 0.858 g/mL, líquido a 20 °C

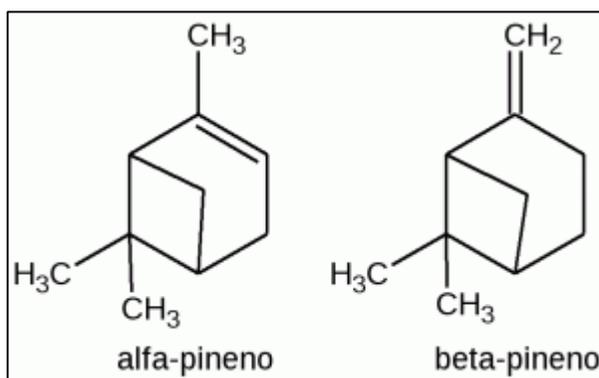
Solubilidad: Poco soluble en agua, Soluble en ácido acético, etanol y acetona.

Punto de fusión: -64 °C

Punto de ebullición: 155 °C

El  $\alpha$ -pineno es un compuesto orgánico de la clase del terpeno, uno de dos isómeros de pineno; es un alqueno y contiene una composición de cuatro enlaces al anillo, se encuentra en los aceites de muchas especies de árboles coníferos, principalmente en el pino. Posee dos enantiómeros; 1S, 5S- o (-) -  $\alpha$ -pineno que es más común en pinos europeos, mientras que el 1R, 5R- o (+) - el  $\alpha$ -isómero es más común en Norteamérica; la mezcla racémica está presente en algunos aceites como el de eucalipto. (Rodrigo Ricardo, 2017).

**Figura 1.** Estructura química del  $\alpha$ -pineno.



Nota: Reproducida de comaco.mx

El D-Limoneno (también llamado R o alfa) de Limoneno posee un intenso aroma a cítricos mientras que el del isómero-L (llamado a su vez S o beta) es más parecido al pino. Se estima que el D-Limoneno es el segundo terpeno más encontrado en la Naturaleza, (siendo el Pineno el número uno) (A Miller, 1998) Los árboles secretan esta sustancia cuando es atacado por descortezadores a manera de defensa, pero a su vez atrae a más insectos indicándoles que es un árbol susceptible para realizar el proceso de colonización.

Fórmula: C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>

Nombre IUPAC: 1-Metil-4-(1-metiletetil)-ciclohexeno

Densidad: 841.1 kg/m<sup>3</sup>

Masa molar: 136,23 g/mol

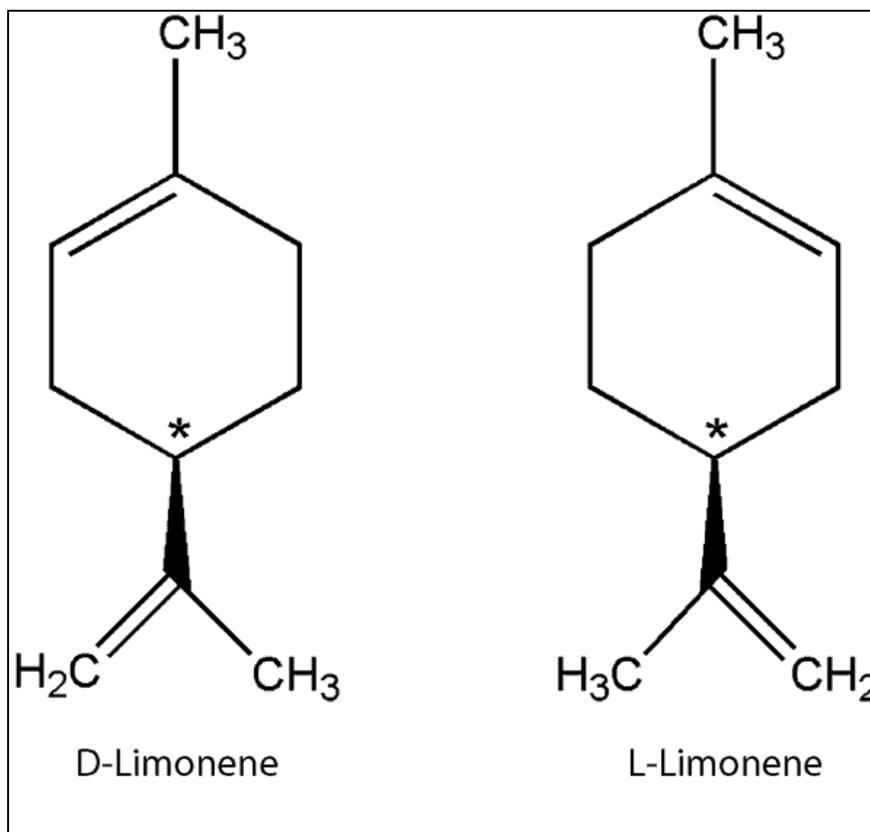
Punto de ebullición: 176°C

Presencia a temperatura ambiente: Líquido incoloro, solubilidad muy baja en agua.

El D-Limoneno es uno de los monoterpenos o sustancias aromáticas producidas por un gran número de especies vegetales, Suele catalogarse dentro de los Limonoides junto a otros terpenos como el Pineno o el Eucaliptol, que a menudo se encuentran en los mismos frutos. El D-Limoneno (también llamado R o alfa) de Limoneno posee un intenso aroma a cítricos mientras que el del isómero-L (llamado a su vez S o beta) es más parecido al pino.

Se cree que las plantas sintetizan D-Limoneno como insecticida natural debido a su intenso olor, que repele a posibles parásitos o depredadores. No en vano, se estima que el D-Limoneno es el segundo terpeno más encontrado en la Naturaleza, (siendo el Pineno el número uno) lo que sugiere que se trata de un compuesto con enorme potencial (A Miller, 1998).

**Figura 2.** Estructura química del D-limoneno.



*Nota.* Fuente reproducida de A. Miller 1998.

d) Etanol:

El etanol resulta sorprendentemente poderoso para atraer diferentes grupos de insectos. Es una sustancia que se produce en fábricas de productos químicos; en la naturaleza es común en procesos de fermentación o pudrición de materia orgánica, como madera y frutas. El alto grado de atracción, junto con el bajo costo y la fácil disponibilidad, hicieron que al paso de los años la propiedad de la mezcla fuera aprovechada para desarrollar este sistema de trapeo (Barrera, Herrera y Rojas, 2006).

El etanol es un compuesto químico del grupo de los alcoholes, conocido también como alcohol etílico, que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro, volátil y fácilmente inflamable con un punto de ebullición de 78°C, índice de evaporación (DIN53170) de 8.3 (FAO, 2014).

Los alcoholes son compuestos orgánicos muy comunes en la naturaleza, que juegan roles importantes en los organismos vivos, especialmente en la síntesis orgánica.

Para la captura de los especímenes se utilizan trampas de intersección con etanol. (Izás, 2019) También se ha usado el etanol en la captura de coleópteros (broca del café) donde se evaluó el alcohol comercial como testigo, Metanol y Etanol siendo estos dos últimos los que más atrajeron y capturaron. (Quispe, Loza, & Riquelme, 2015)

El etanol es un alcohol que se genera en la naturaleza, principalmente en el proceso de degradación de la materia orgánica, se libera cuando el árbol empieza a morir o es atacado por descortezadores primarios, lo cual atrae a más especies de curculiónidos. El etanol se obtiene del aguarrás extraído de los pinos.

#### **8.1.7. Investigaciones sobre Descortezadores del pino en Guatemala**

- a) Caracterización de la plaga gorgojo del pino (*Dendroctonus sp*) en los bosques de Guatemala y respuesta de manejo integrado: Indican que el (*Pinus hartwegii*) es muy susceptible al (*Dendroctonus adjunctus*), el (*Pinus pseudostrabus*) es medianamente susceptible y el (*Pinus ayacahuite*) es poco susceptible. (Castañeda Salguero, 2001)

- b) Susceptibilidad de los bosques de coníferas al ataque de gorgojo del pino (*Dendroctonus* sp) Coleoptera Scolytidae en función de la composición edad y densidad de estos: Según resultados se concluyó que los bosques mixtos de coníferas y latifoliados resiste más al ataque de gorgojos que los bosques de solo coníferas. En el análisis de especie de árbol vrs grado de ataque, la especie de (*Pinus hartwegii*) obtuvo un 90.6% de ataque en diferentes fases y un 9.4% de árboles sanos, la especie (*Pinus ayacahuite*) presento un 23.1% de árboles con ataque en diferentes fases y 76.9% de árboles sanos demostrando ser más resistente que la especie anterior. (Medina Guerra, 1980)
- c) Determinación de las especies del gorgojo descortezador *Dendroctonus* spp (Coleoptera: Scolytidae) y la relación con sus hospederos de pino en la finca Saquichaj, en Cobán, Alta Vera Paz: El clima representa un factor importante en el ataque del gorgojo descortezador del pino, los meses de septiembre a enero, se observa un incremento en la precipitación pluvial y al mismo tiempo una disminución en la temperatura. En los meses de febrero a julio, y parte de agosto, la precipitación pluvial decrece y se observa un aumento en la temperatura cuando el árbol está en un estrés por falta de agua y un aumento en la temperatura, es inminente la colonización del árbol. (Sosa Chávez, 2005)
- d) Clave para la identificación de escarabajos descortezadores y ambrosiales (Coleoptera: Curculionidae) de los bosques de pino del departamento de Zacapa: En total se encontraron 56 especies de Scolytinae y 3 especies de Platypodinae. La mayor parte de gorgojos que se encontraron fueron ambrosiales. (Barrios Izás, 2019)

#### **8.1.8. Legislación forestal:**

Guatemala ha reconocido la importancia de los bosques para la sociedad y para su desarrollo económico, por lo cual ha declarado de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques (Constitución, 1985). Esta declaración ha sido fortalecida con la promulgación de una serie de leyes ordinarias orientadas a este fin, entre las que destacan la Ley Forestal (Decreto 101-97), la Ley de Áreas Protegidas (Decreto 4-89 y sus reformas) y la Ley Marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero (Decreto 7-2013). En estas leyes, los ecosistemas vegetales y los bosques gozan de atención especial y se promueve su protección, conservación y restauración. (ENDDBG)

Para la presente investigación no se requiere de la aprobación de las siguientes leyes y reglamentos, debido a que no se realizara actividades de extracción de madera, leña o resina. Pero si es necesario conocer las leyes que rigen en el país sobre el tema forestal.

- La Ley Forestal, Decreto Ley 101-96
- Reglamento de la Ley Forestal.
- Ley de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal -PINPEP-. Decreto 51-2010
- Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, La Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero, el cual propone la creación del Fondo Nacional de Cambio Climático, Decreto 7-2013
- Reglamento para Técnicos y Profesionales que se dedican a la actividad forestal.

Dos funciones del DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL Código: B-02.2: son “Coordinar proyectos de investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación” y “Diseñar protocolos de investigación para otorgamiento de licencias con fines científicos”. Según (Leonora Martin, 2011)

#### **8.1.9. Reconocimiento de niveles de infestación por descortezadores:**

La forma de reconocer que un árbol ha sido atacado por alguna especie de (*Dendroctonus spp.*) es la coloración de la copa y la presencia de grumos de resina de color blanco y consistencia suave en la corteza, los cuales indican que el insecto ha iniciado la colonización. Conforme avanzan las semanas, los grumos toman una coloración cremosa de consistencia dura (Castellano et al. 2013).

Los niveles de infestación en los árboles se determinaron mediante la metodología propuesta por Billings y Espino (2005), en donde clasifican la sanidad del árbol en tres fases o niveles (Tabla 1). Los grumos indican ataques de los gorgojos adultos en el fuste de un pino. Las galerías bajo la corteza en forma de “S” llenas de aserrín, caracterizan ataques por el gorgojo del pino. Es común encontrar las larvas blancas del gorgojo dentro de la corteza de pinos infestados con copas amarillentas (Billings y Espino 2005).

**Tabla 1.** Clasificación de niveles de infestación por descortezador.

<b>Fase infestación</b>	<b>Características del árbol</b>
Árbol sano	El árbol presenta copa verde y sin grumos de resina.
Fase 1	El árbol presenta copa verde y grumos de resina fresca.
Fase 2	El árbol se encuentra infestado de larvas dentro de la corteza, presenta la copa amarillenta, con grumos secos y duros a lo largo del fuste.
Fase 3	Se caracteriza porque el árbol presenta la copa rojiza o de color marrón, con muchos orificios por la salida de los escarabajos en la corteza sueltan, así como de árboles muertos y sin hojas.

*Nota.* Fuente reproducido de (Billings y Espino 2005).

#### **8.1.10. Software R y R studio**

R es un software creado en 1993 por Robert Gentleman y Ross Ihaka, que **respeto la libertad de los usuarios** y es similar al lenguaje y entorno S, creado en Bell Laboratories (antes AT&T, ahora Lucent Technologies) por John Chambers y algunos colegas, a finales de los 70. Si bien R guarda algunas diferencias importantes respecto a S, gran parte del código escrito para S se ejecuta sin cambios en R. Es por eso que se afirma naturalmente que R viene de S. Con el software libre **R** se puede hacer modelos de regresión lineal y logísticos, análisis de series de tiempo, pruebas estadísticas clásicas, agrupamientos, clustering, clasificaciones y aplicar muchas otras técnicas estadísticas. (Datademia, s.f.)

R es la elección perfecta de código abierto para participar en la investigación estadística. R permite producir gráficos de alta calidad con mucha facilidad, incluyendo símbolos matemáticos y fórmulas, siempre que sea necesario. (Datademia, s.f.) Este software libre proporciona un amplio abanico de herramientas estadísticas y gráficas que permiten a los usuarios definir sus propias funciones. En ese sentido, R es uno de los lenguajes de programación más utilizados en áreas como:

- a) Investigación científica.
- b) Manipulación de datos.
- c) Análisis estadístico.
- d) Inteligencia artificial.
- e) Aprendizaje automático o Machine Learning.
- f) Técnicas gráficas.
- g) Modelado y predicciones.
- h) Matemáticas financieras.
- i) Bioinformática.
- j) Investigación biomédica.

También puede usarse como herramienta de cálculo numérico, y en este campo es tan eficaz como GNU Octave y su equivalente privativo, MATLAB. (Datademia, s.f.)

### **Ventajas de la programación en R**

- a) **Ahorra gastos en licencias:** Al ser un software GNU no pertenece a nadie, y por lo tanto no debes pagar ninguna licencia.
- b) **Accesible:** Funciona con paquetes fáciles de descargar que otras personas previamente han programado.
- c) **Libre:** El usuario puede distribuir, estudiar, cambiar y mejorar libremente el software bajo la GNU de la *Free Software Foundation*.
- d) **Excelente para el análisis y cálculo estadístico:** Es un lenguaje estadístico creado por estadísticos. Por eso, actualmente es el más utilizado para desarrollar herramientas estadísticas.
- e) **Sophorte multiplataforma:** Es un programa independiente de la máquina, compatible con la operación multiplataforma, así que se puede utilizar en diferentes sistemas operativos.
- f) **Admite varios tipos de datos:** Desde vectores hasta matrices y datos de diferentes tamaños.
- g) **Gráficos potentes:** Puede producir gráficos y visualizaciones de alta calidad, ya sean de naturaleza estática o dinámica.
- h) **Computación paralela y distribuida:** Puede procesar grandes conjuntos de datos utilizando bibliotecas como ddR o multiDplyr.

R es un conjunto integrado de programas para manipulación de datos, cálculo y gráficos. Entre otras características dispone de: • almacenamiento y manipulación efectiva de datos, • operadores para cálculo sobre variables indexadas (Arrays), en particular matrices, • una amplia, coherente e integrada colección de herramientas para análisis de datos, • posibilidades graficas para análisis de datos, que funcionan directamente sobre pantalla o impresora, y • un lenguaje de programación bien desarrollado, simple y efectivo, que incluye condicionales, ciclos, funciones recursivas y posibilidad de entradas y salidas. (Debe destacarse que muchas de las funciones suministradas con el sistema están escritas en el lenguaje R) El término “entorno” lo caracteriza como un sistema completamente diseñado y coherente, antes que como una agregación incremental de herramientas muy específicas e inflexibles, como ocurre frecuentemente con otros programas de análisis de datos. R es en gran parte un vehículo para el desarrollo de nuevos métodos de análisis interactivo de datos. Como tal es muy dinámico y las diferentes versiones no siempre son totalmente compatibles con las anteriores. Algunos usuarios prefieren los cambios debido a los nuevos método y tecnología que los acompañan, a otros sin embargo les molesta ya que algún código anterior deja de funcionar. Aunque R puede entenderse como un lenguaje de programación, los programas escritos en R deben considerarse esencialmente efímeros. (Cran.r, 2000)

### **8.1.11. Software QGIS**

QGIS es un Sistema de Información Geográfica profesional de fácil uso, gratis y de código abierto, que posibilita la creación, visualización, análisis, edición y publicación de información geoespacial. (CEUPE, s.f.) Al igual que los demás Sistemas de Información Geográfica existentes, QGIS permite la creación de mapas con numerosas capas que pueden ser ensambladas bajo diferentes formatos, dependiendo de la aplicación. (CEUPE, s.f.) Hay muchas razones que explican por qué una multitud de empresas, tanto públicas como privadas, utilizan QGIS. Muchas de ellas incluso están abandonando los productos de los principales editores de software comercial (ArcGIS, MapInfo, GeoConcept, etc.) para pasarse a QGIS. (CEUPE, s.f.)

QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) con licencia pública general (GNU) que permite utilizar QGIS libremente y para cualquier propósito (incluso comercial), modificar el software (acceso al código fuente) y redistribuir copias (para instalar QGIS en tantos ordenadores como se quiera). (CEUPE, s.f.)

QGIS funciona en diferentes sistemas operativos: Linux, Windows, Mac y Android. Además, se puede instalar en una llave USB, lo que permite transportar QGIS de un ordenador a otro sin tener que instalarlo. Cada vez más estructuras utilizan QGIS: Oficinas de estudios, universidades, consultorías, instituciones gubernamentales, empresas privadas, entes locales y regionales, etc. Es compatible con numerosos formatos. (CEUPE, s.f.) ¿Necesitas enviar tus datos GIS a un colaborador que utiliza ArcGIS o MapInfo? ¿Necesitas trabajar con datos AutoCad que te envía un gabinete de topógrafos? ¿Has descargado una foto aérea en un formato que no conoces? ¡No te preocupes! Uno de los puntos fuertes de QGIS es la interoperabilidad y te permite trabajar con una multitud de datos vectoriales y raster. Por citar algunos:

- a) Formato Shapefile (.shp formato nativo de QGIS) desarrollado por ESRI ArcGIS.
- b) Formatos MapInfo (.tab, mif-mid).
- c) Formato KML de Google Earth.
- d) Formatos DAO (Autocad DXF).
- e) QGIS no es simplemente una aplicación de escritorio

Además de QGIS Desktop, que es generalmente lo que utilizamos en primer lugar, QGIS puede funcionar como un servidor geográfico de aplicaciones web que permiten crear mapas interactivos. (CEUPE, s.f.) QGIS se puede instalar en una Tablet para poder trabajar sobre el terreno. QGIS, además de una herramienta de trabajo, es también una pasarela hacia las herramientas colaborativas (Open Street Map) y permite conectarse a fuentes de datos externas (servidores WFS y WMS). (CEUPE, s.f.)

## 8.2. Marco Referencial

### 8.2.1. El municipio de Tajumulco, San Marcos

El Municipio de Tajumulco se localiza en la parte nor-occidente del departamento de San Marcos, a 289 kilómetros de distancia de la ciudad capital de Guatemala y a 37 kilómetros de la cabecera departamental de San Marcos. Colinda con los siguientes municipios: al norte con Ixchiguan y Sabinal, al Sur con San Pablo y Malacatán, al este con Tejutla y San Marcos, y al oeste con el municipio de Unión Juárez del estado de Chiapas México. (SEGEPLAN, 2010)

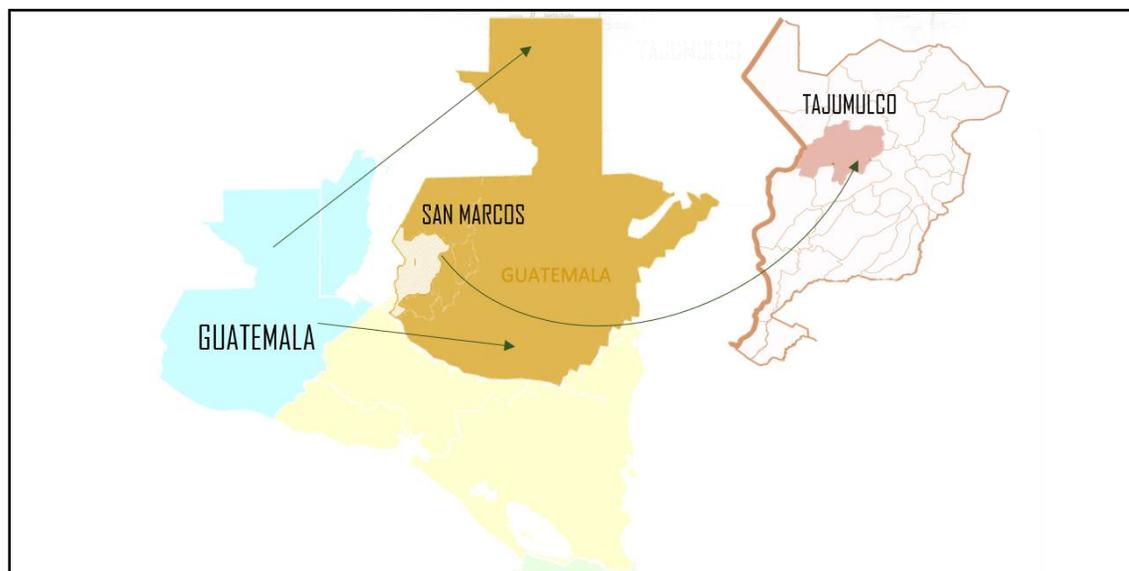
La altitud de la cabecera municipal es de 2,050 metros de altura sobre el nivel del mar.

Clima: el clima para la parte media, donde se encuentra la cabecera municipal es templado en la categoría (Bosque muy húmedo montano bajo sub- tropical BMHMBS).

Precipitación Pluvial anual: 2,000 a 4,000 milímetros.

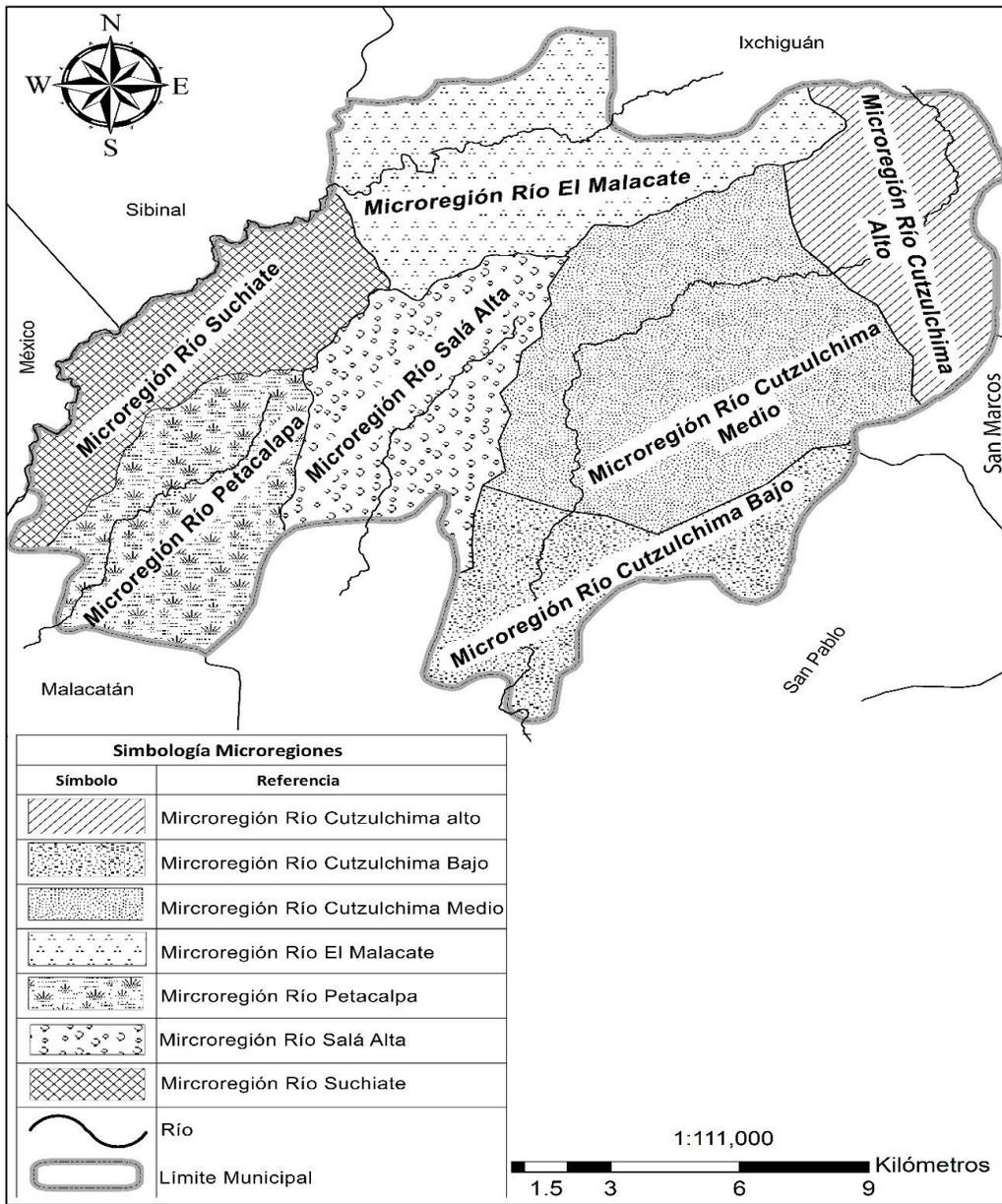
Temperatura media anual: min 12° a 18 grados centígrados. (SEGEPLAN, 2010)

**Figura 3.** Mapa Georreferencial del Municipio de Tajumulco.



*Nota.* Mapa de localización del municipio de Tajumulco. Reproducida de PDM SEGEPLAN 2010.

**Figura 4. Microrregiones del municipio de Tajumulco.**



*Nota.* Mapa de micro regionalización. Reproducida de PDM SEGEPLAN 2010.

### 8.2.2. La aldea Boxoncan, Tajumulco

La aldea Boxoncan se encuentra ubicado en la micro región Rio Cutzulchima zona alta.

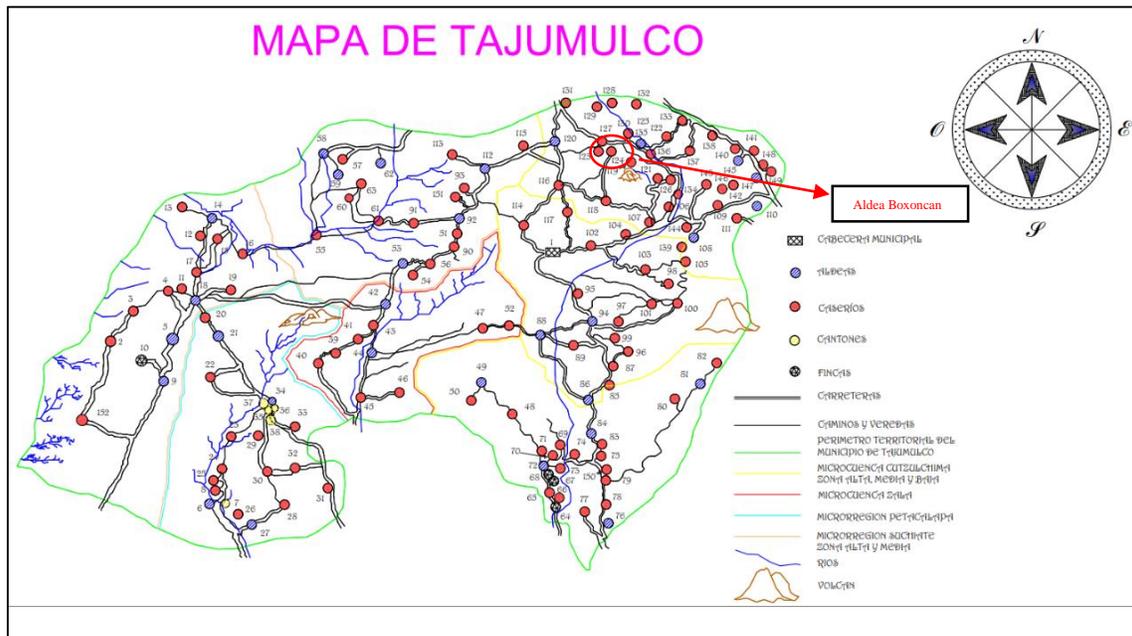
Altitud: La aldea se encuentra a una altura de 3,050 metros sobre el nivel del mar.

Clima: se encuentra en la categoría Bosque muy húmedo montano sub- tropical BMHMS. Que corresponde al rango de alturas de 2,800 a más de 3,000 msnm.

Precipitación Pluvial anual: 1,000 a 2,000 milímetros.

Temperatura media anual: es de menor 12 grados centígrados sobre todo en los meses de noviembre a marzo cuando se registran formaciones o capas de hielo ocasionadas por las temperaturas más bajas en la parte alta a la cual pertenece esta micro región. (SEGEPLAN, 2010)

**Figura 5:** Mapa de ubicación de la aldea Boxoncan, Tajumulco



Nota. Mapa de ubicación de la aldea Boxoncan, Tajumulco. Reproducida de PDM SEGEPLAN 2010.

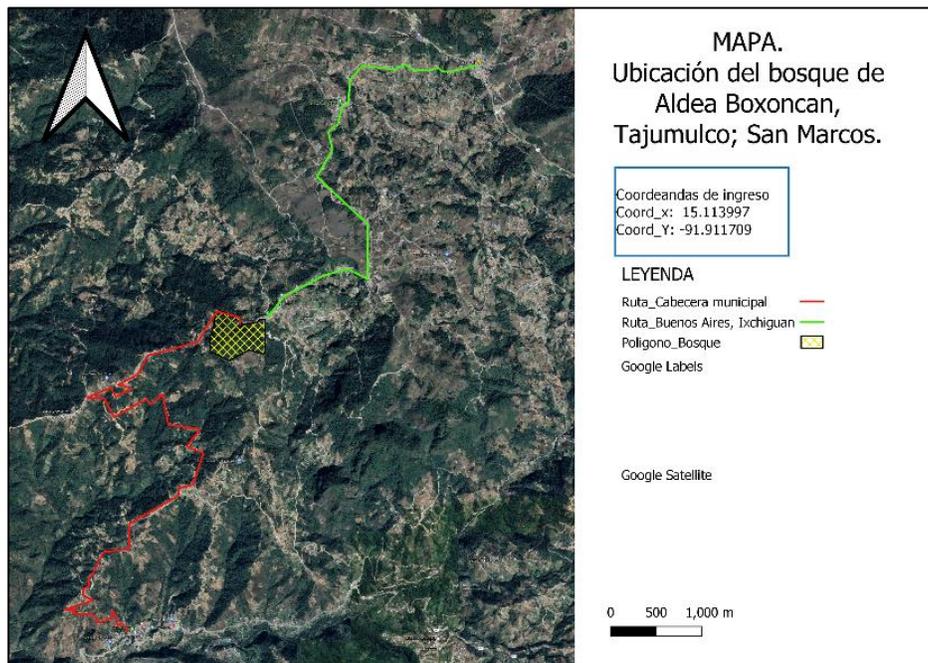
### 8.2.3. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el bosque privado de la aldea Boxoncan del municipio de Tajumulco, que tiene una extensión de 24.6 hectáreas. Que se localiza a 45° nor-este a una distancia de 8.85 km respecto a la cabecera municipal. Se encuentra entre las coordenadas Latitud 15° 6'34" norte y longitud 91°55'20" oeste. En la micro- región Cutzulchima Zona Alta, a una altura de 3,112 msnm, con un clima frío de la categoría bosque muy húmedo montano subtropical (BMHMBS). (SEGEPLAN, 2010).

Su principal vía de acceso es por la carretera que conduce hacia la cabecera municipal de Tajumulco, también tiene acceso por carretera que conecta a la carretera interamericana que pasa por la aldea Buenos Aires del municipio de Ixchiguan, ambos con tramos de empedrado. (SEGEPLAN, 2010)

En el bosque en estudio es de coníferas, donde se observa mayor presencia de la especie (*Pinus hartwegii*) seguidamente de la especie pino blanco (*Pinus ayacahuite*) y en menor proporción especies de (*Cupresuss* spp) y (*Alnus* spp) entre otras especies forestales.

**Figura 6.** Mapa de ubicación del bosque en aldea Boxoncan.



*Nota.* A la aldea y al bosque se ingresa dese la aldea Buenos Aires, Ixchiguan marcado con línea verde y desde el centro del Municipio de Tajumulco marcado en línea roja.

## 9. Objetivos

### 9.1. General

Evaluar el efecto de los atrayentes sobre las especies de gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus spp*), en el bosque de coníferas en aldea Boxoncan, Tajumulco; San Marcos.

### 9.2. Específicos

1. Identificar las especies de gorgojo descortezador del pino, que habitan en el bosque de coníferas de aldea Boxoncan.
2. Comparar el efecto de atracción y especificación de los atrayentes que constituyen cada tratamiento.
3. Calcular la biomasa relativa del bosque por medio de las variables ecológicas, para analizar su relación con las especies de gorgojos descortezadores del pino.
4. Georreferenciar árboles con síntomas por presencia de (*Dendroctonus spp*) y la fase de infestación, en el bosque de coníferas de la Aldea Boxoncan, Tajumulco.

## 10. Hipótesis

### 10.1. Hipótesis biológica

- a) Los atrayentes D-Limoneno, Alfa-Pineno y Etanol al 95%, debido a sus propiedades bioquímicas, atraen diferentes ensambles de escarabajo descortezador (*Dendroctonus* spp).
- b) Los ensambles de escarabajos descortezadores tendrán diferente composición y estructura de especies de acuerdo con las variables fisionómicas de la vegetación forestal.

### 10.2. Predicciones Biológicas

- a) El alfa pineno atraerá de forma más específica a las especies de *Dendroctonus*.
- b) Las trampas con etanol contendrán una comunidad más diversa de escarabajos descortezadores y ambrosiales (Scolytinae y Pltypodinae).
- c) A mayor madurez del bosque, mayor diversidad de especies de descortezadores.

## 11. Variables de respuesta

**Tabla 2.** Variables de respuesta que influyen en la abundancia de descortezadores.

<b>Variables de respuesta</b>	
<b>Independientes</b>	<b>Dependientes</b>
Efecto de los Atrayentes sobre los curculiónidos. Altura de árbol Área de copa Densidad de árboles (población) Densidad de pinos DAP de los árboles	Abundancia de descortezadores

*Nota.* Elaboración propia, Brayan López, estudiante agronomía CUSAM 2024.

## 12. Materiales

### 12.1. Descripción de Tratamientos:

Se evaluaron los siguientes productos: Etileno, Alfa-pineno y D-Limoneno las cuales fueron combinadas con etilenglicol para formar 3 tratamientos, más el testigo que fue con ausencia de atrayente el cual contenía únicamente etilenglicol.

- a) Tratamiento 1. Testigo (T1): Etilenglicol.
- b) Tratamiento 2. (T2): D-Limoneno (dosis 0.05ml /trampa) + etilenglicol.
- c) Tratamiento 3. (T3): Alfa Pineno (dosis 0.05ml /trampa) + etilenglicol.
- d) Tratamiento 4. (T4): Etanol al 95% (dosis 15ml/Trampa) + etilenglicol.

### 12.2. Recursos

**Tabla 3.** Recursos.

	<b>Físicos</b>	<b>Humanos</b>	<b>Financieros institucionales</b>
Computadora.	Celular, GPS.	Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás.	Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás.
Trampas de intersección pet.	Etanol, D- limomeno y Alfa Pineno.	Ing. Juan Carlos Rosales Longo.	CUNZAC
Hipsómetro.	Etilenglicol.	Autoridades comunitarias.	Investigador. Brayan Rufino López Pérez.
Laboratorio de entomología. Cinta Diamétrica.	Cinta métrica.	Personal UTAM.  Investigador. Brayan Rufino López Pérez.	
Impresora.	Dron.		

*Nota.* Elaboración propia, Brayan López, estudiante agronomía CUSAM 2024.

## 13. Metodología

### 13.1. Diseño experimental

#### 13.1.1. “Completamente Al Azar”

En este tipo de diseño están incluidos los principios de repetición y de aleatorización, o sea que, es utilizado cuando no hay necesidad del control local, debido a que el ambiente experimental es homogéneo y los tratamientos se asignan a las unidades experimentales mediante una aleatorización completa, sin ninguna restricción. (López Bautista, 2008)

Las respuestas obtenidas en función de la aplicación de cada nivel del factor A en estudio en sus respectivas repeticiones pueden ser representadas por  $y_{ij}$ , que es considerada como una variable aleatoria. (López Bautista, 2008)

Modelo Estadístico:

$$Y_{ij} = \mu_{ij} + T_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Lo cual significa que la variable de respuesta  $Y_{ij}$  depende de la media general ( $\mu$ ) del efecto del  $i$ -ésimo tratamiento ( $T_i$ ) y del efecto del error experimental asociado con la  $i$ - $j$ -ésima unidad experimental. ( $\epsilon_{ij}$ ).

a) Numero De Repeticiones:

$$\text{GLE: } (t-1)(r-1) = 48 \text{ (grados de libertad de error)}$$

$$(4-1)(r-1) = 48$$

$$3r-3 = 48$$

$$3r = 48$$

$$r = 48 / 3$$

$$r = 16//$$

La reproducción o replica de cada tratamiento para estimaciones más precisas del tratamiento en estudio. Se hizo 16 repeticiones de cada tratamiento, considerando un experimento con  $t = 4$  niveles del factor A (tratamientos) y  $r = 16$  repeticiones para cada nivel, se tuvo que el número total de parcelas incluidas en el experimento es  $t \times r = 4 \times 16 = 64$ . Las  $(t \times r)$  parcelas fueron

aleatorizadas sin restricciones a través del software QGIS. Y los datos se analizaron con un 95% de nivel de confianza y un 5% de nivel de significación.

b) Parcela Experimental:

$$t * r: 4 * 16 = 64$$

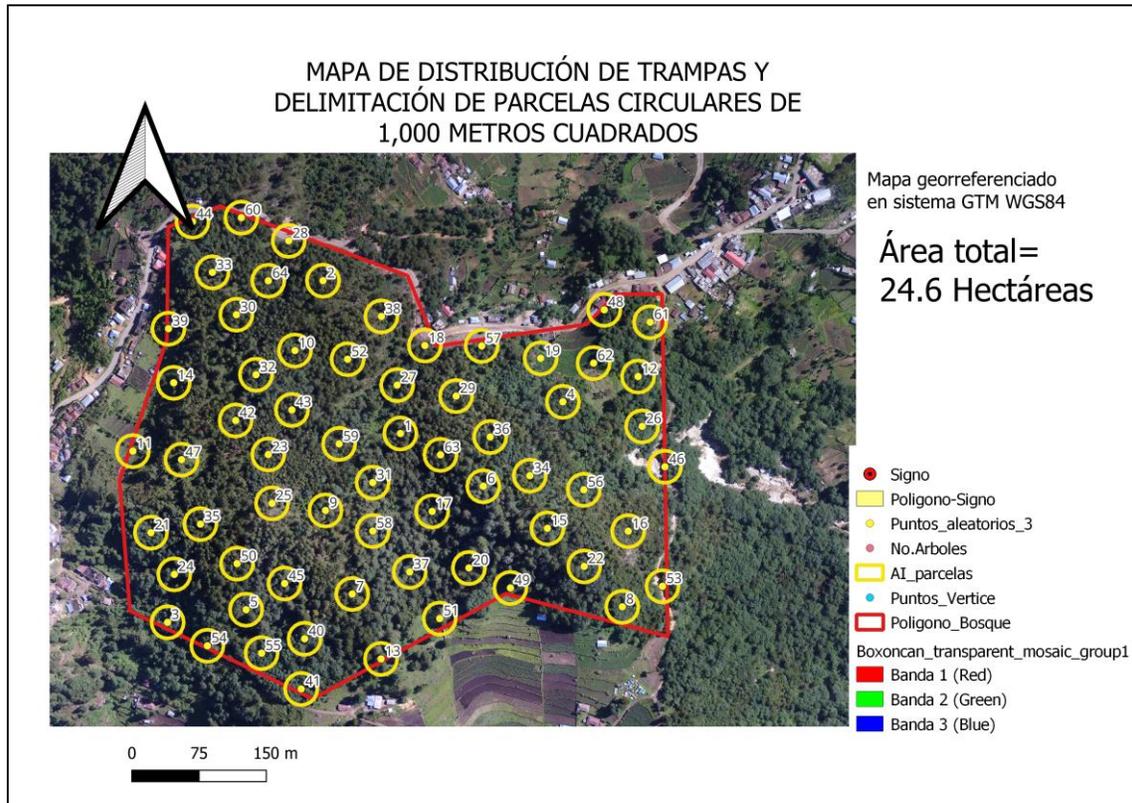
c) Unidad de muestreo:

Cada una de las parcelas se conformó de 16 repeticiones para aumentar el nivel de confianza,  $16 \times 4 = 64$  unidad de muestreo. Utilizando el polígono del área de estudio en QGIS se generaron 64 puntos distribuidos de forma aleatoria con un distanciamiento mínimo de 50 metros. Los números del 1 al 16 correspondieron al testigo, del 17 al 32 al tratamiento con D-limoneno, del 33 al 48 al tratamiento con alfa pineno y del 49 al 64 al tratamiento con etanol.

d) Aleatorización de Tratamientos:

Por medio del software Qgis, se ingresó el comando aleatorio, donde se le pidió que generara un shape de 64 puntos georreferenciados y que los distribuyera aleatoriamente dentro del polígono del bosque, además se le pidió que cada punto tuviera un mínimo de 50 metros de distancia entre ellas para evitar errores en los datos por proximidad.

**Figura 7.** Mapa de distribución aleatoria de trampas.



*Nota.* En cada punto al azar se colocó una trampa de intersección, las coordenadas se encuentran en la tabla No. 4 en los anexos.

### 13.2. Metodología para la recolección de datos en campo

- a) Taller de uso de sistemas de información geográfica SIG: Utilizar el software QGIS para manejo de información espacial, la delimitación del área de estudio, distribución de puntos al azar georreferenciados y estimación de la biomasa relativa del bosque. Impartido por el asesor: Dr Manuel Alejandro Barrios Izás.
- b) Taller sobre el uso de programación en R-Studio: para el procesamiento estadístico de datos en estadística multivariada, ANOVA, prueba Tukey, normalidad, homocedasticidad, modelo de regresión lineal y análisis multivariado. Impartido por el asesor: Dr Manuel Alejandro Barrios Izás.

**Figura.** *Equipo de investigación.*



*Nota.* Los asesores de la investigación impartieron los talleres de softwares QGIS, PIX4D R y Rstudio.

- c) Sobre vuelo con dron: a través de un dron se obtuvo fotografías aéreas las cuales se procesaron en el software Pix4D, y se obtuvo una ortofoto de alta resolución, que se trabajó como la base ráster para el análisis espacial y elaboración de diferentes mapas, así como para contabilizar el número de árboles, medición de diámetros y áreas de copa.

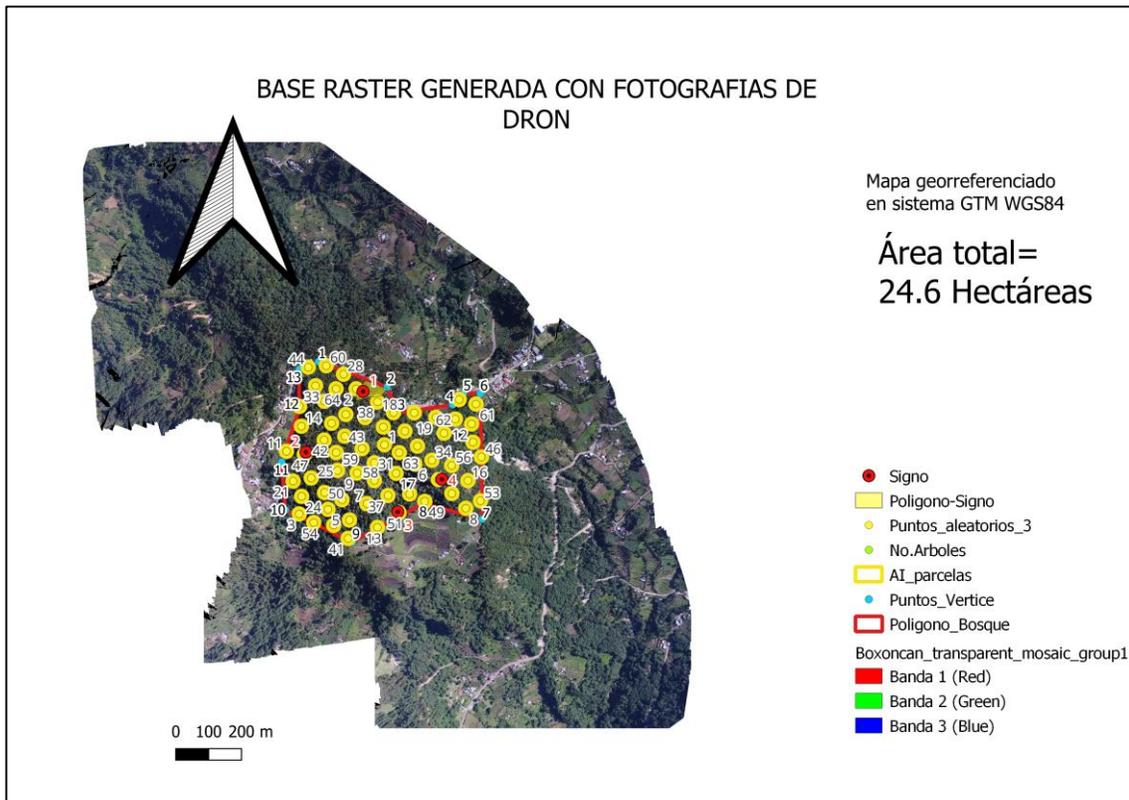
**Figura 8.** *Sobre vuelo con Dron.*



*Nota:* Se tomaron fotografías georreferenciadas con dron en todo el bosque en estudio, acompañados de autoridades de la Aldea Boxoncan, Tajumulco.

d) Elaboración de mapas: a través del software QGIS se elaboró el mapa de localización y ubicación del bosque, mapa de delimitación del bosque, mapa de distribución al azar de 64 puntos aleatorios con más de 50 metros de separación entre cada uno de ellos y mapa de georreferenciación de focos con signos por presencia de descortezadores.

**Figura 9.** *Elaboración de mapas en el software Qgis.*



*Nota:* Se realizaron mapas con la ortofoto generada en software Pix4D.

e) Recopilación de información de la cobertura forestal: Se levantaron datos dasométricos (altura, diámetro de copa, DAP, cantidades de árboles por especie) con una intensidad de muestreo aleatorio de 16 parcelas circulares de 1,000 metros<sup>2</sup>. para conocer la integración de la fisionomía del área de estudio y con la información recopilada se procedió a calcular el índice de biomasa relativa. Aclaración; no se realizó un cálculo de volumen de la masa del bosque.

Cálculo de la parcela circular de, 1,000 metros cuadrados = Radio 17.841m\*17.841m\*3.1416

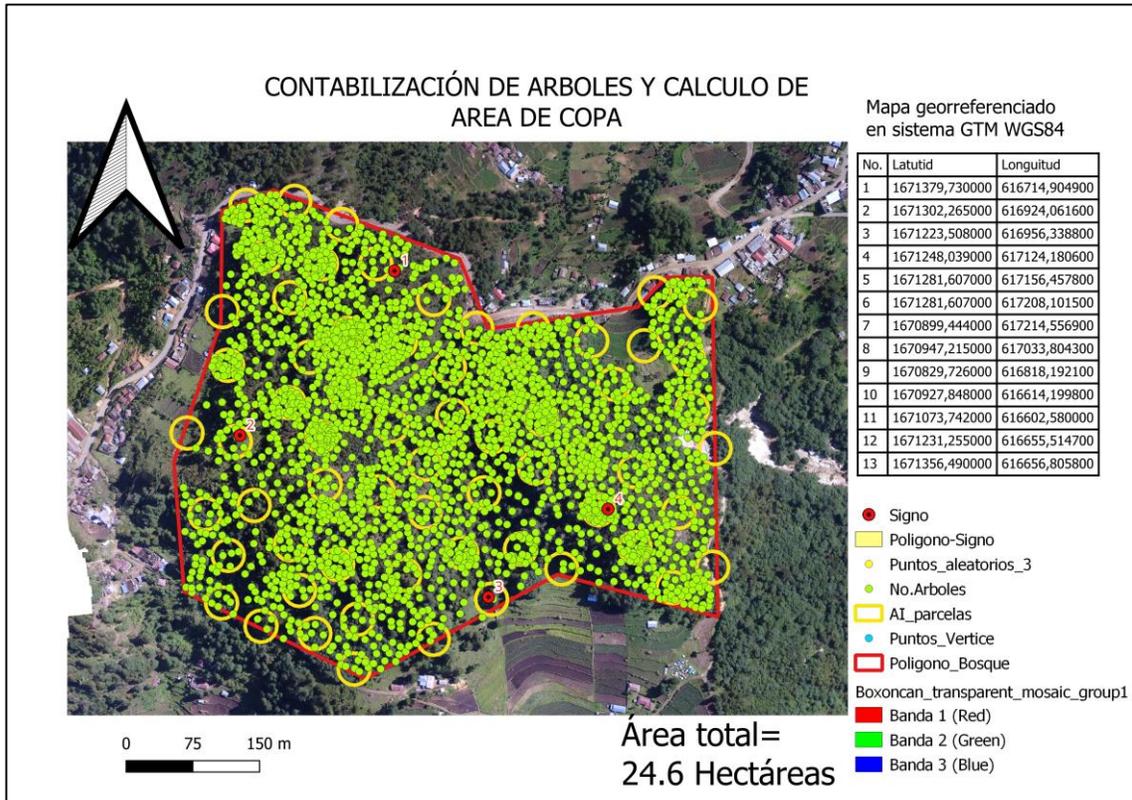
**Figura 10.** *Levantamiento de datos dasométricos del bosque.*



*Nota:* toma de datos DAP, Altura de árboles, radio de copa y especie.

f) Digitación de la cobertura forestal: utilizando la ortofoto se midió el diámetro de copa y se contaron los árboles dentro del bosque, para conocer la densidad del bosque e identificar las áreas de concentración de los árboles, los datos fueron integrados a un archivo electrónico (base de datos), el cual se utilizó para generar un modelo de biomasa relativa del bosque.

**Figura 11. Conteo de árboles digitalmente.**



*Nota:* Se contabilizaron 9156 árboles dentro del mapa delimitado, así como el cálculo de área de copa de cada árbol dentro de las parcelas circulares de 1000 metros<sup>2</sup>. Estos datos permitieron el cálculo de la biomasa relativa.

- g) Colocación de trampas: se colocaron 64 trampas de intersección artesanal, para la captura de insectos, las trampas fueron distribuidas según los 64 puntos aleatorios georreferenciados obtenidos en el mapa de distribución y según tratamiento correspondiente. La colocación se realizó en octubre cuando los árboles tienen buenas condiciones climáticas, ya que en la época seca hay más estrés lo que dañaría la representación de las estructuras poblacionales.

**Figura 12.** *Colocación de trampas.*



*Nota:* se colocaron las trampas en árboles marcados previamente.

- h) Monitoreo y colecta: se supervisaron las trampas una vez a la semana para hacer la colecta de los insectos (curculiónidos) capturados, los cuales se conservaron en tubos de ensayo con taparrosca e inmersos en alcohol al 70% para su conservación, este proceso se llevó a cabo en un periodo de 60 días.

**Figura 13.** *Monitoreo y recolección de insectos.*



*Nota.* Se bajaron las trampas para la recolección de los especímenes capturados.

- i) Determinación y georreferenciación de focos y niveles por presencia de gorgojo descortezador: En cada parcela se evaluó la presencia de descortezador en todos los árboles infestados con DAP  $\geq$  a 5 cm.

**Figura 14.** *Identificación de daños por descortezadores.*



*Nota:* georreferenciación de focos con signo por presencia de descortezadores.

### **13.3. Método para la Estimación de la biomasa relativa del bosque**

- a) Recopilación de información de la vegetación: (Determinación de la Biomasa Relativa del Bosque).

Para la determinación de la Biomasa relativa del bosque, se generó un modelo de referencia a través de ortofotos generadas con dron y el software Pix 4D, para posteriormente realizar un análisis estructural. No se trata de un inventario forestal de censo poblacional; debido a que no se calculó el volumen de la masa, sino, únicamente se definió su estructura y composición y se

determinó cómo esto influye directa o indirectamente con el tipo y grado de infestación, lo cual fue indispensable para tomar en cuenta como base para un plan de manejo forestal.

A través de la información recabada a través de las 16 parcelas de vegetación como en las ortofotos y el programa QGIS, se obtuvieron las variables: Abundancia, Dominancia, Frecuencia e Índice de Valor de Importancia, permitiendo definir la importancia ecológica y el grado de heterogeneidad del ecosistema.

Esto permitió definir las características más importantes de la estructura horizontal del bosque natural, identificar las especies que lo conforman y sus características propias.

Se evaluó, cómo la biomasa afecta o altera la abundancia de gorgojos a través de factores como: la densidad poblacional de árboles, la diversificación de especies, la distancia entre árboles, la cantidad de áreas despejadas, DAP de los árboles, la presencia o ausencia de sotobosque, entre otros factores que pueden afectar o favorecer la presencia de ensambles de descortezadores y sus respectivas variantes.

b) Digitación de la cobertura forestal (Metodología del cálculo de la biomasa).

La estructura horizontal permitió conocer las especies de los árboles en la superficie del bosque y su interacción con el ecosistema. Esta estructura puede evaluarse a través de índices que expresan la ocurrencia de las especies, lo mismo que su importancia ecológica, es el caso de las abundancias, frecuencias y dominancias, cuya suma relativa da como resultado el Índice de Valor de Importancia (I.V.I).

Se elaboraron unidades de muestreo circulares de 17.85m de radio (1000m<sup>2</sup>). En total se establecieron 16 parcelas de 0.10 hectáreas cada una y un área total inventariada de 1.6 hectáreas. Esta muestra significativa corresponde al 6.50% respecto al área total de bosque natural que es de 24.6 hectáreas.

Una vez identificado y marcado el árbol más cercano al punto georreferenciado, se procedió a medir un radio de (17.85m) para marcar la parcela circular de 1000 m<sup>2</sup>; Dentro de la parcela se contabilizó cada árbol con un DAP mayor a 10 cm, los árboles pequeños no se tomaron en cuenta

ya que no representan diferencia significativa en la biomasa relativa. En cada una de las 16 parcelas se obtuvo: el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura de los árboles, especie y diámetro de copa.

Para enriquecer los datos de la estimación de biomasa relativa del bosque, se utilizó la ortofoto para cuantificar los datos de manera digital; Número total de árboles en toda el área del bosque, se midió el diámetro de copa y número de árboles dentro de las 64 parcelas circulares. Estos datos fueron fundamentales en la determinación de: densidades, abundancias y dominancias, ya que permitieron tener una imagen clara de la distribución de las masas forestales a través de imágenes de alta resolución del bosque y la identificación de las distintas poblaciones arbóreas.

Se elaboraron histogramas de frecuencia que son una representación gráfica de la proporción en que aparecen las especies forestales, expresan la homogeneidad del bosque. Por otro lado, se presentan con datos matemáticos que expresan la forma como se distribuyen los individuos de una especie en la superficie del bosque, lo que es conocido como patrones de distribución espacial. Estos brindan información sobre la relación de un individuo en particular y sus coespecíficos, la que puede ser empleada para propósitos de manejo y planificación silvicultural.

c) Abundancia.

Hace referencia al número de individuos por hectárea y por especie en relación con el número total de individuos. Se distingue de la abundancia absoluta (número de individuos por especie) y la abundancia relativa (proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema). (Lamprecht, 1990).

Abundancia absoluta (**Aba**) = número de individuos por especie con respecto al número total de individuos encontrados en el área de estudio (**ni**)

d) Abundancia relativa (Ab%)

$$Ab\% = (ni / N) \times 100$$

Donde: ni = Número de individuos de la iésima especie

N = Número de individuos totales en la muestra.

e) Frecuencia.

Permite determinar el número de parcelas en que aparece una determinada especie, en relación con el total de parcelas inventariadas, existencia o ausencia de una determinada especie en una parcela (Frecuencia Absoluta). La frecuencia absoluta se expresa como un porcentaje (100% = existencia de la especie en todas las parcelas), la frecuencia relativa de una especie se determina como su porcentaje en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies.

Frecuencia absoluta (**FrA**) = Porcentaje de parcelas en las que aparece una especie,  
100%= existencia de la especie en todas las parcelas.

f) Frecuencia absoluta (FrA)

$$FrA = (Fi / Ft) \times 100$$

Donde: Fi = Frecuencia absoluta de la iésima especie

Ft = Total de las frecuencias en el muestreo.

g) Frecuencia relativa (Fr%)

$$Fr\% = (FrAni / FrAt) \times 100$$

Donde: Fi = Frecuencia absoluta de la iésima especie

Ft = Total de las frecuencias en el muestreo.

h) Dominancia:

Se relaciona con el grado de cobertura de las especies como manifestación del espacio ocupado por ellas y se determina como la suma de las proyecciones horizontales de las copas de los árboles en el suelo. Debido a que la estructura vertical de los bosques naturales es bastante compleja, la determinación de las proyecciones de las copas de los árboles resulta difícil de realizar; por esta razón se utilizaron las ortofotos elaboradas a partir de dron, integradas a QGIS para medir el diámetro de la copa.

Bajo este esquema la dominancia absoluta es la sumatoria de las áreas basales de los individuos de una especie sobre el área especificada y expresada en metros cuadrados y la dominancia relativa

es la relación expresada en porcentaje entre la dominancia absoluta de una especie cualquiera y el total de las dominancias absolutas de las especies consideradas en el área inventariada.

i) Dominancia absoluta (Da)

$$Da = Gi/Gt$$

Donde: Gi = Área basal en metros<sup>2</sup> para la iésima especie

Gt = Área basal en metros<sup>2</sup> de todas las especies.

j) Dominancia relativa (D%)

$$D\% = (DaS / DaT) \times 100$$

Donde: DaS = Dominancia absoluta de una especie

DaT = Dominancia absoluta de todas las especies.

k) Índice de valor de importancia (I.V.I).

Formulado por Curtis & Mc Intosh (1951), se calcula para cada especie a partir de la suma de la abundancia relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa. Permite comparar el peso ecológico de cada especie dentro del bosque. El valor del IVI similar para diferentes especies registradas, sugiere una igualdad o semejanza del bosque en su composición, estructura, calidad de sitio y dinámica.

#### **13.4. Método para la identificación taxonómica de especímenes capturados**

Para la identificación de especies de la subfamilia Scolytidae, se realizó el siguiente procedimiento:

- a) Se extrajo los insectos de cada tubo de ensayo donde se resguardo desde la colecta de la captura hasta la observación en laboratorio, contenida en alcohol para su conservación, así como la etiqueta con la información para llevar el control de la muestra.
- b) Se elaboraron etiquetas con la siguiente información: País, departamento, municipio, comunidad, fecha, tratamiento, No parcela, altitud, coordenadas, especie de pino.

- c) Se preparo el montaje de los insectos en un papel especial para evitar descomposición de este, así como la asignación de una etiqueta por insecto según la información correspondiente.

**Figura 15.** Montaje de espécimen con etiqueta de identificación.



*Nota.* Se realizó el montaje y etiquetado de todos los especímenes.

- d) Se agruparon insectos similares visibles al ojo humano en cajas entomológicas de laboratorio.

**Figura 16.** Agrupación de insectos por especie.



*Nota.* Se clasificaron por coincidencia morfológica, esto como primera agrupación para facilitar la clasificación al momento de reagrupar con mayor precisión con el estereoscopio.

- e) Con la ayuda del estereoscopio del laboratorio se procedió a reagrupar los insectos para separar por especies; observando tres ángulos; frontal, lateral y dorsal para comparar la morfología cabeza, antena, pronoto, élitros, abdomen y patas.

**Figura 17.** *Clasificación precisa de insectos.*



*Nota.* El Dr Manuel Barrios apoyo en la clasificación de insectos.

- f) Se tomo fotografías de los insectos en el estereoscopio, las cuales se subieron a la página “Frass & Noodles” en Facebook, página donde los profesionales ayudaron a identificar a través de la observación de las características morfológicas en distintos ángulos. A continuación, se presente el enlace para acceder a dicha página.  
<https://www.facebook.com/groups/FrassAndNoodles/?ref=share&mibextid=KtfwRi>.

**Figura 18.** Fotografía de (*Dendroctonus adjunctus*)



*Nota.* Fotografía a través de un estereoscopio, (*Dendroctonus adjunctus* Bladform)

- g) Con el objetivo de confirmar la identificación de las especies de descortezadores capturados se realizaron comparaciones morfológicas de cada una de las fotografías mediante el material científico denominado “ESCARABAJOS DE LA CORTEZA Y DE LA AMBROSIA DE LAS AMERICAS”, al cual se puede acceder en el siguiente link: [https://www.barkbeetles.info/amer\\_pix\\_overview.php](https://www.barkbeetles.info/amer_pix_overview.php). El cual es una recopilación de especies de descortezadores de la madera presentes en el continente americano; material elaborado por el Instituto Mexicano para la Conservación de los Ecosistemas Forestales.

### **13.5. Metodología para el Análisis estadístico de datos en R y Rstudio**

#### a) Análisis ANOVA

Utilizando la base de datos de número de trampa, número de descortezadores y tratamiento se cargó en el software R y Rstudio para el análisis o varianza tanto para la base de datos de especímenes de descortezadores y para base de datos de especímenes de varias órdenes que fueron capturados, e integrado a ello se ejecutó la prueba Tukey.

Como R y Rstudio es un software de programación y análisis estadístico, se trabajó mediante códigos de programación para indicarle el procedimiento. A continuación, se presentan los códigos de programación ejecutados y su descripción diferenciada por un #.

```
#para que r lea documentos Excel. El cual fue nombrado "datoesp".
library(readxl)
#-Importar tabla de Excel.
datoesp<- read_excel("datoesp.xlsx")
View(datoesp)
attach(datoesp)
names(datoesp)
class(Tratamiento)
class(Insectos)
factor(Tratamiento)
summary(datoesp)
#-Instalar el paquete o solo activarlo "rapportools".
#-Presentar grafica de cajas y bigotes.
boxplot(Insectos~Tratamiento)
#--Obtener el ANOVA.
aov(Insectos~Tratamiento)
#--Generar un archivo para el ANOVA, Cambiar nombre el original.
datoesp1 = aov(Insectos~Tratamiento)
#---Resultado del ANOVA P-valor, DF= grad de libertad, Mean Sq=Media del error.
summary(datoesp1)
#--Resultados entre tratamientos por tukey.
TukeyHSD(datoesp1)
#---- Analisis Residual.
prueba_normalidad=shapiro.test(resid(datoesp1))
print(prueba_normalidad)
prueba_Homocedasticidad=bartlett.test(resid(datoesp1)~Tratamiento,data = datoesp)
print(prueba_Homocedasticidad)
```

b) Análisis multivariado de correlación y modelo de regresión lineal.

El análisis de correlación permitió relacionar los efectos de las variables ecológicas sobre la variable número de descortezadores.

En análisis de modelo de regresión lineal múltiple permite generar información estadística y gráfica de la relación de las variables ecológicas con la variable número de descortezadores,

además de generar una proyección de la abundancia de descortezadores si hubiese alteraciones ecológicas en el futuro. A continuación, se presentan los códigos de programación ejecutados y su descripción diferenciada por un #.

#Para estos análisis fue necesario descargar y activar las siguientes librerías o paquetes de R studio.

```
library(tidyr)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(readxl)
library(clipr)
library(vegan)
library(kableExtra)
library(IMTest)
library(BiodiversityR)
library(tidyverse)
library(car)
library(boot)
library(Quantpsyc)
#Cargar objetos de la tabla Excel llamado "Enoe"
Enoe<-read_xlsx("mu_enoe.xlsx")
enigh<-read_xlsx("mu_enoe.xlsx")
#filtrar para dejar todos los datos que no sean igual a cero, o al contrario quitar los datos q son
cero.
enigh<-filter(enigh, Descortezadores!=0)
Enoe<-filter(enigh, Descortezadores!=0)
#Generar Gráficos de comparación (correlación) entre variables independientes vrs la variable
dependiente
ggplot(data=enigh) +
  geom_point(mapping = aes(x=Tratamiento, y=Descortezadores,))
#Generar grafica de relación entre 3 variables o más independientes y dependiente, más al
tratamiento que corresponde
ggplot(data=Enoe) +
  geom_point(mapping = aes(x=Densidad_pinos, y =Descortezadores, col = Tratamiento))
ggplot(data=Enoe) +
  geom_point(mapping = aes(x=Dap, y =Descortezadores, col = Tratamiento))
ggplot(data=Enoe) +
  geom_point(mapping = aes(x=Area_copa, y =Descortezadores, col = Tratamiento))
ggplot(data=Enoe) +
  geom_point(mapping = aes(x=Altura, y =Descortezadores, col = Tratamiento))
```

```

ggplot(data=Enoe) +
  geom_point(mapping = aes(x=Densidad_arb, y=Descortezadores, col = Tratamiento))
#Crear una nueva columna de datos a la tabla. Como crear la columna de área de copa, en base a
la columna de Radio_copa
enigh<-mutate(enigh, Area_copa=Radio_copa*Radio_copa*3.1416)
#Summarize: permite hacer resumen de la tabla general.
#promedios, media, mediana, moda, cuartiles etc.
summarise(enigh, mean(Altura), median(Dap))
#agrupar el número de insectos por tratamiento (objeto)
#cantidad de atracción de cada tratamiento
#Summarise permite conocer la media mediana y demás de estadística.
Tratam<-group_by(enigh, Tratamiento)
summarise(Tratam, mean(Descortezadores), median(Descortezadores))
# Modelo lineal de correlación y con múltiples variables
modelo<-lm(Descortezadores ~ Dap + Altura + Densidad_pinos + Densidad_arb + Area_copa,
data=enigh)
summary(modelo, digits=5)
#grafica
modelo = ggplot(enigh, aes(Dap + Altura + Densidad_pinos + Area_copa,Descortezadores))
modelo
modelo + geom_point()
modelo + geom_point() + geom_smooth(method = "lm", colour = "red")

#Modelo de regresión lineal múltiple
modelo1=lm(Descortezadores ~ Dap + Altura + Densidad_pinos + Area_copa, data=Enoe,
na.action = na.exclude)
summary(modelo1)
#pirson
sqrt(0.2896)
#este es el modelo matemático.
Descortezadores = intercepto + Dap +Altura + Densidad_pinos + Area_copa
Descortezadores = 6.5528933 + 4.1160924 + -0.3890467 + -0.0007094 + 0.0015616
#graficar el modelo
grafica1 = ggplot(enigh, aes(Dap + Altura + Densidad_pinos + Area_copa,Descortezadores))
grafica1
grafica1 + geom_point()
grafica1 + geom_point() + geom_smooth(method = "lm", colour = "red")

```

c) Análisis de biodiversidad y curva de acumulación de especies

El análisis de biodiversidad es un cálculo estadístico establecido por el programa Rstudio para conocer la biodiversidad de cada sitio y se expresa en % siendo el 100% un sitio con gran cantidad de biodiversidad. Están basados en índices desarrollados llamados “índice de Shimpson e índice de Shannon”. A continuación, se presentan los códigos de programación ejecutados y su descripción diferenciada por un #.

```
#librerias o paquetes para instalar.
library(kableExtra)
library(ggplot2)
library(vegan)
library(BiodiversityR)
library(readxl)
library(cliPr)
library(agricolae)
library(BiodiversityR)
#Cargar la tabla excel
insectos<-read_xlsx("dinsectos.xlsx")
# Creacion de objetos
H<-diversity(insectos, index = "shannon")
D<-diversity(insectos, index = "simpson")
S<-specnumber(insectos)
J<-H/log(specnumber(insectos))
indices<-data.frame(S,H,D,J)
kable(indices, format = "markdown", col.names = c("S, Riqueza", "H, Shannon", "D, Simpson",
"J, Igualdad"))
#Calculo de objetos
med <- mean(H)
var <- var(H)
max <- max(H)
min <- min(H)
indxstat <- data.frame(med,var,max,min)
kable(indxstat, format = "markdown", col.names = c("Media H", "Varianza H", "Máximo H",
"Mínimo H"))
Hp <- diversityresult(insectos, index=("Shannon"), method=("pooled"))
Dp <- diversityresult(insectos, index=("Simpson"), method=("pooled"))
Jp <- diversityresult(insectos, index=("Jevenness"), method=("pooled"))
indxpool <- data.frame(Hp[1,1],Dp[1,1],Jp[1,1])
```

```
kable(indxpool, format = "markdown", col.names = c("H conjunto", "D conjunto", "J conjunto"))
sac <- specaccum(insectos)
#CURVA DE ACUMULACION DE ESPECIES
plot(sac, ci.type="polygon", ci.col="yellow")
sac <- specaccum(insectos, method = "rarefaction")
plot(sac, xvar = "individual", ci.type="polygon", ci.col="yellow")
Srar <- rarefy(insectos, min(rowSums(insectos)))
```

### **13.6. Elaboración de informe final**

Este es el último paso metodológico, en el que se presentan los resultados obtenidos al concluir la investigación y se comprobó las hipótesis. Se elaboro un documento de carácter científico.

## 14. Resultados y Discusión

### 14.1. ANOVA de Descortezadores vrs Tratamientos

#### 14.1.1. Análisis ANOVA

	Df	Suma Cuadrada	Media Cuadrada	valor F	Pr(>F)
Atrayentes	3	26.56	8.854	4.665	0.00553 **
Trampas	3	4.69	1.562	0.823	0.48648
Residuos	57	08.19	1.898		

Códigos significativos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Términos:

	Tratamiento	Residuales
Suma de cuadrados	26.5625	112.8750
Grados de libertad	3	60

Error Estándar Residual: 1.371587

Discusión: Para el factor atrayente el Pr(>F) 0.00553 es menor a 0.05, lo que indica que, si es significativo, por lo que algún tratamiento tiene una media significativamente diferente a las demás, sabiendo esto se procedió a la prueba de Tukey para saber cuál de los tratamientos presenta esa diferencia significativa.

#### 14.1.2. Prueba de Tukey

Resultados entre tratamientos por Tukey.

La tabla Tukey muestra los contrastes entre los tratamientos.

Tukey Comparación múltiple de medias  
Con un nivel de confianza de 95% por familia

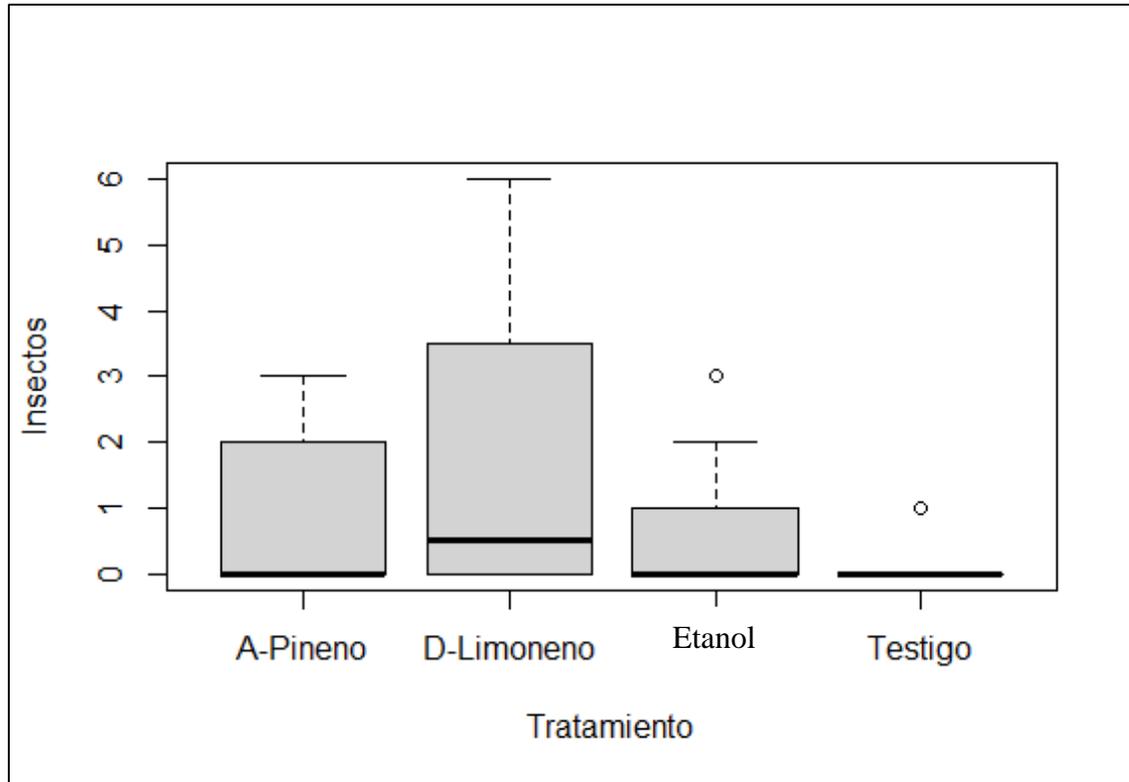
Ajuste: aov(formula = modelo)

Atrayente	diferencia de medias	valores Más Bajos	valores más altos	valores P
D-Limoneno-A-Pineno	1.0625	-0.2265617	2.35156167	0.1408015
Etileno-A-Pineno	-0.2500	-1.5390617	1.03906167	0.9555992
Testigo-A-Pineno	-0.6875	-1.9765617	0.60156167	0.4975468
Etileno-D-Limoneno	-1.3125	-2.6015617	-0.02343833	0.0444666
Testigo-D-Limoneno	-1.7500	-3.0390617	-0.46093833	0.0037133
Testigo-Etileno	-0.4375	-1.7265617	0.85156167	0.8057853

Discusión: Demuestra que los contrastes significativamente diferente es la de Testigo vrs D-limoneno con 0.0037133 siendo < a 0.05 por lo que el D-limoneno es mejor tratamiento respecto al testigo y en Etileno vrs D-limoneno es ligeramente significativo con 0.0444666, pero no hay

diferencia significativa respecto al A-Pineno. El D-limoneno demostró ser el tratamiento más efectivo para la atracción de insectos descortezadores de la subfamilia Scolytidae.

**Gráfica 1.** Efecto de atracción de descortezadores entre tratamientos.



*Nota.* El diagrama de cajas y bigotes el cual muestra la media, 1r, 2do y 3r cuartil. Por lo que se observa que la media del tratamiento D-Limoneno es diferente a las medias de los demás tratamientos. Se observan datos atípicos en Etanol y el testigo. Y se observa que el tratamiento D-Limoneno obtuvo mayor atracción de insectos Descortezadores, seguido del tratamiento A-Pineno, Después el Etanol, y por último el testigo. Siendo el mejor tratamiento el D-Limoneno.

### **14.1.3. Análisis Residual**

Las pruebas de normalidad y homocedasticidad brindan el resultado únicamente de dos tipos que corresponden a las hipótesis, que para este caso dicen  $H_0$  Nula= Igual a 0, no hay diferencia significativa. Y  $H_1$  Alternativa= Diferente de 0, si hay diferencia significativa. Si el P-valor es menor a 0.05 corresponde a la hipótesis Nula, y si es mayor a 0.05 se toma la hipótesis alternativa.

a) Por la Prueba normalidad

Prueba de normalidad de Shapiro-wilk

datos: residuo (modelo)  
 $w = 0.92405$ ,  $p\text{-valor} = 0.000737$

Interpretación: La normalidad tiene un P-valor de 0.000737 el cual es menor a 0.05, por lo tanto, se toma la hipótesis alternativa que dice (Los datos no provienen de una población normal con media igual a 0). Debido a que las capturas fueron localizadas, esto responde a que no hay distribución normal de capturas en todo el bosque porque no hay infestación.

b) Prueba Homocedasticidad

Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas

datos: residuo (modelo) por Tratamiento  
 Bartlett's  $\chi^2$ -Cuadrado = 36.804,  $df = 3$ ,  $p\text{-valor} = 5.061e-08$

Interpretación: El P-Valor es 5.061e-08 datos exponencial negativo por lo que el número es demasiado pequeño que casi es 0, y naturalmente es menor a 0.05. Este resultado nos da evidencia que la varianza no es constante, dispersándose los datos siendo estos heterogéneos, (el modelo no es el adecuado, pero no es necesario que sea lineal, pero si nos indica que las variables ecológicas tengan interacción, ya que las combinaciones son infinitas entre variables. Esto comprueba que no hay infestación de descortezadores.

## 14.2. ANOVA de insectos en general vrs Tratamientos

Resultados del ANOVA

	Df	Suma Cuadrada	Media Cuadrada	valor F	Pr(>F)
Tratamiento	3	817.3	272.42	6.665	0.000586 ***
Residuales	60	2452.5	40.88		

Códigos significativos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Términos:

	Tratamiento	Residual
Suma de cuadrados	817.25	2452.50
Grados de libertad	3	60

Error estándar residual: 6.393356

Discusión: Para el factor atrayente el  $Pr(>F)$  0.000586 es menor a 0.05, lo cual indica que, si es significativo, por lo que algún tratamiento tiene una media significativamente diferente a las

demás, por lo que se precedió a la prueba Tukey para saber cuál tratamiento sobresale significativamente.

### 14.2.1. Prueba de Tukey

Resultados entre tratamientos por la prueba de Tukey.

La tabla Tukey muestra los contrastes entre los tratamientos.

Tukey comparación múltiple de medias  
con un nivel de confianza de 95% por familia

Ajuste: aov(formula = Insectos ~ Tratamiento)

Tratamiento	diferencia de medias	valores Más Bajos	valores más altos	valores P
D-Limoneno-A-Pineno	2.125	-3.8481354	8.0981354	0.7834290
Etanol-A-Pineno	5.750	-0.2231354	11.7231354	0.0633040
Testigo-A-Pineno	-4.125	-10.0981354	1.8481354	0.2719214
Etanol-D-Limoneno	3.625	-2.3481354	9.5981354	0.3843381
Testigo-D-Limoneno	-6.250	-12.2231354	-0.2768646	0.0369107
Testigo-Etanol	-9.875	-15.8481354	-3.9018646	0.0002877

Discusión: Los contrastes significativamente diferente es la de Testigo-Etanol (ETOH) con 0.0002877 siendo  $<$  a 0.05 por lo que el Etanol es mejor tratamiento respecto al testigo y el D-limoneno respecto al testigo es significativo con 0.0369107, pero no a diferencia de los demás tratamientos. El tratamiento Etanol demostró tener una mayor capacidad de atracción de insectos en general de todas las órdenes y familias.

### 14.2.2. Análisis Residual

a) Prueba de normalidad

Prueba de normalidad de Shapiro-wilk

datos: resid(datogen1)  
w = 0.959, p-valor = 0.03246

Interpretación: La normalidad tiene un P-valor de 0.000737 el cual es menor a 0.05, por lo tanto, se toma la hipótesis alternativa que dice (Los datos no provienen de una población normal con media igual a 0). Esto responde a que no hay distribución normal porque no hay infestación. Debido a que las capturas fueron localizadas.

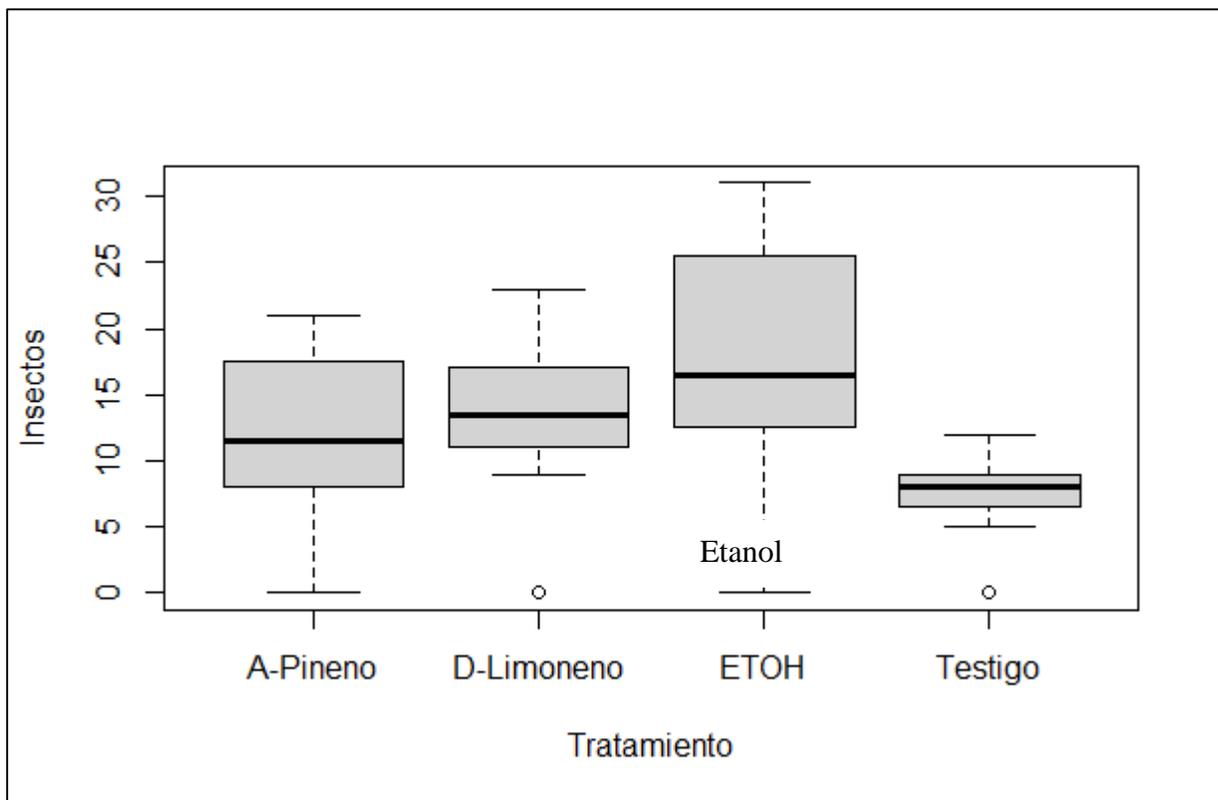
b) Prueba homocedasticidad

Prueba Bartlett de homogeneidad de varianzas

datos: resid(datogen1) por Tratamiento  
Bartlett's K-cuadrado = 18.079, df = 3, p-valor = 0.0004236

Interpretación: El P-Valor es  $5.061e-08$  datos exponencial negativo por lo que el número es demasiado pequeño que casi es 0, y naturalmente es menor a 0.05. Este resultado nos da evidencia que la varianza no es contante, dispersándose los datos siendo estos heterogéneos, (el modelo no es el adecuado, pero no es necesario que sea lineal, pero si nos indica que las variables ecológicas tengan interacción, ya que las combinaciones son infinitas entre variables. Esto comprueba que no hay infestación de descortezadores.

**Gráfica 2.** Resultado de atracción de insectos en general entre tratamientos.



*Nota.* presenta un diagrama de cajas y bigotes el cual nos muestra la media, 1r, 2do y 3r cuartil. Por lo que se observa que la media del tratamiento Etanol y D-limoneno son diferentes a la media del testigo, (se observan datos atípicos en el testigo). Por lo que el tratamiento Etanol obtuvo mayor atracción de insectos, seguido del tratamiento D-Limoneno, Después el A-Pineno, y por último el testigo. Siendo el mejor tratamiento el Etanol.

### 14.3. Biomasa relativa

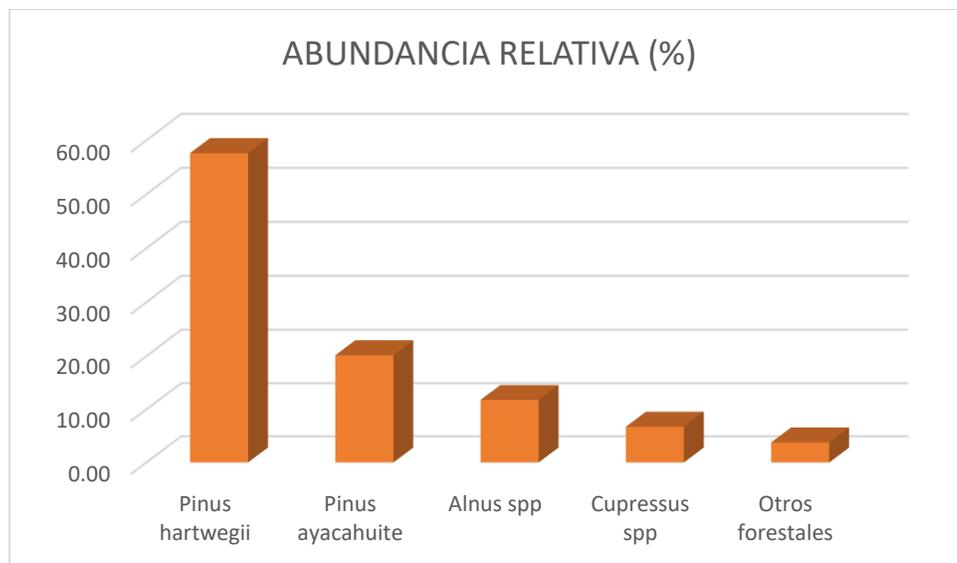
#### 14.3.1. Estimación de la biomasa relativa.

El bosque de coníferas de aldea Boxoncan, cuenta con una extensión superficial de 24. 60 hectáreas o 246,000 metros cuadrados. Para estimar la biomasa relativa del bosque se tomó como base las medidas en campo de diámetro de copa, número de árboles de cada especie en cada parcela de muestreo. También la información digital tomada de la ortofoto, ya que se contabilizó el total de árboles dentro del bosque y la medición de áreas de copa de las parcelas de muestreo. Con lo cual se pudo calcular los siguientes parámetros:

#### A) Abundancia absoluta y relativa forestal

NÚMERO DE ARBOLES POR ESPECIE (ABUNDANCIA ABSOLUTA)					
PINO COLORADO	PINO BLANCO	ALISO	CIPRÉS	OTROS	TOTAL, ARBOLES
5,274	1,845	1,077	615	345	9,156
ABUNDANCIAS RELATIVAS POR ESPECIE					
PINO COLORADO	PINO BLANCO	ALISO	CIPRÉS	OTROS	TOTAL %
57.60 %	20.15 %	11.76 %	6.72 %	3.77 %	100 %

Gráfica 3. Abundancia de especies forestales.



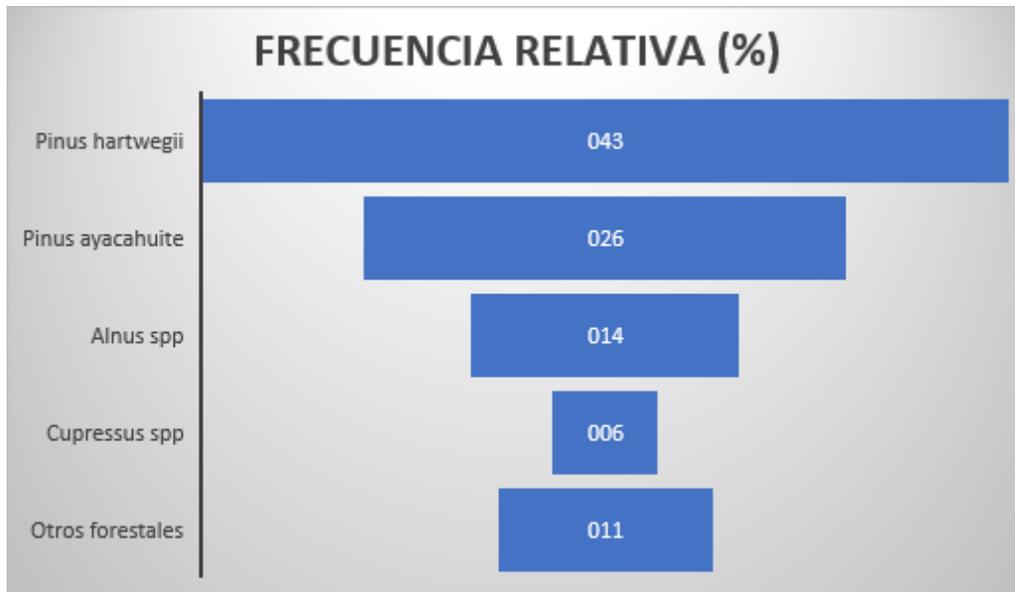
*Nota.* La abundancia absoluta se refiere al número total de árboles de cada especie que hay dentro del bosque. Y la abundancia relativa, es una ponderación en porcentajes que representa la cantidad de árboles de cada especie respecto al total de árboles, lo que permite conocer el bosque y la riqueza forestal.

B) Frecuencia absoluta y relativa forestal

FRECUENCIA (ABSOLUTA)					
ESPECES ENCONTRADAS					
TOTAL PARCELA	PINO COLORADO	PINO BLANCO	ALISO	CIPRÉS	OTROS
16	15	9	5	2	4
FRECUENCIA ABSOLUTA					
100 %	93.75	56.25	31.25	12.5	25

FRECUENCIA RELATIVA						
SUMA DE %	PINO COLORADO	PINO BLANCO	ALISO	CIPRÉS	OTROS	SUMA DE TODAS LAS FRECUENCIAS ABSOLUTAS
						35
15	9	5	2	4		
100	42.86	25.71	14.29	5.71	11.43	

**Gráfica 4.** Frecuencia de especies forestales.



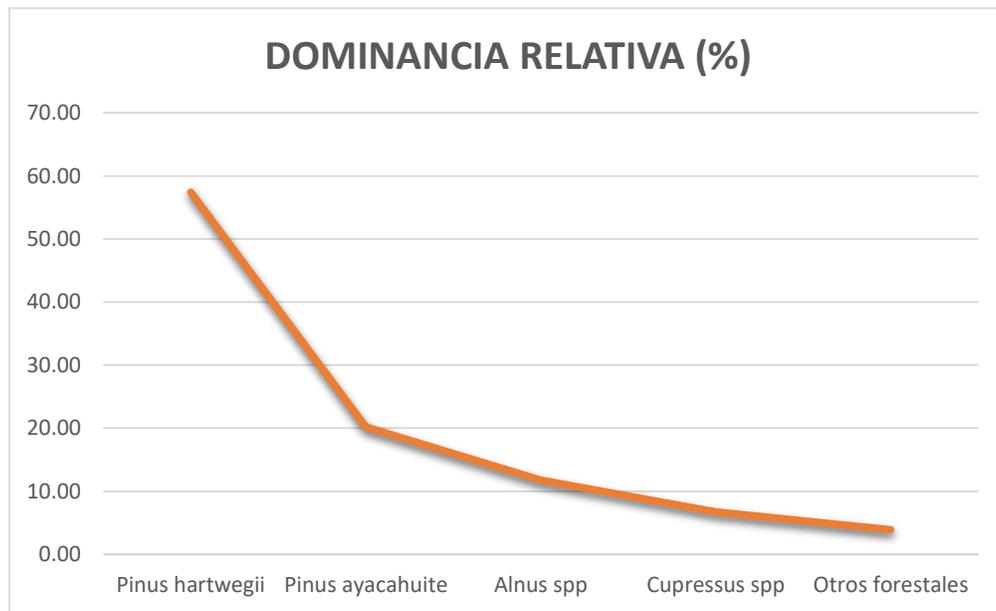
*Nota.* La frecuencia absoluta indica el número de veces que cada especie está presente en las parcelas de muestreo sin tomar en cuenta la cantidad de árboles, solo la presencia o ausencia, la especie con mayor frecuencia según la gráfica es el (*Pinus hartwegii*). La frecuencia relativa se expresa en porcentajes de ponderación. Esto ayuda a conocer la distribución de especies forestales en todo el bosque.

C) Dominancia Absoluta y Relativa forestal

DOMINANCIA ABSOLUTA (SUMA DE TODAS LAS AREAS DE COPAS POR ESPECIE)					
METROS CUADRADOS POR ESPECIE					TOTAL DE METROS CUADRADOS
PINO COLORADO	PINO BLANCO	ALISO	CIPRÉS	OTROS	
135897	47786	27894	15929	9169	236675

DOMINANCIA RELATIVA (% EN RELACION AL AREA TOTAL DE COPAS)						
METROS CUADRADOS POR ESPECIE						TOTAL DE METROS CUADRADOS
PINO COLORADO	PINO BLANCO	ALISO	CIPRÉS	OTROS		
135897	47786	27894	15929	9169		236675
%	57.42	20.19	11.79	6.730	3.874	100.00

Gráfica 5. Dominancia relativa

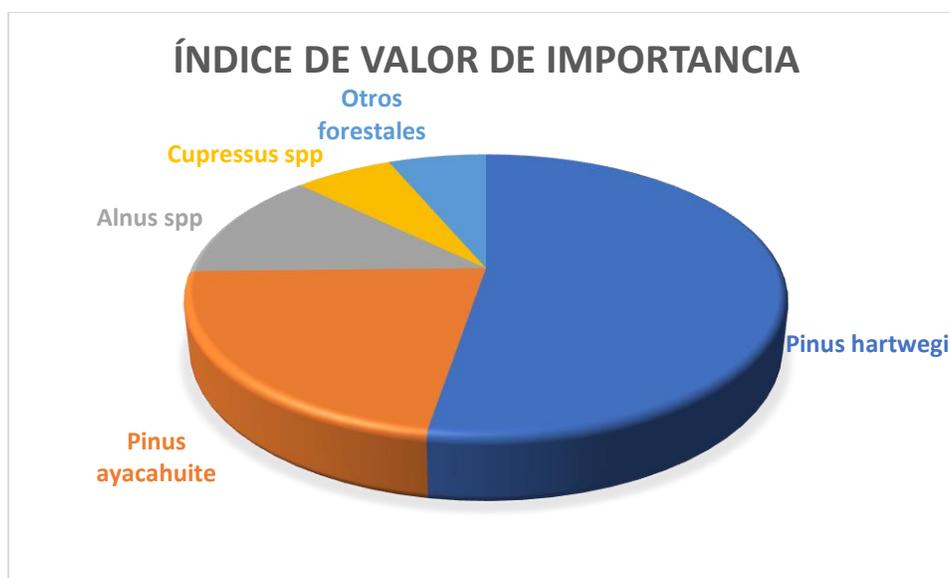


Nota. La dominancia absoluta es un parámetro que toma en cuenta el área de copa sin importar el número de árboles de cada especie, la especie que abarca más área del bosque es quien posee la dominancia, como en la gráfica la especie dominante es el (*Pinus hartwegii*). Y la dominancia relativa expresa la dominancia absoluta convertida a porcentajes, el cual se tomó en cuenta para conformar el índice de valor de importancia de la biomasa relativa.

D) Índice de Valor de Importancia de la biomasa relativa.

ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA I.V.I.						
SUMA	ESPECIES					
	PINO COLORADO	PINO BLANCO	ALISO	CIPRÉS	OTROS	
ABUNDANCIA RELATIVA	57.60	20.15	11.76	6.72	3.77	
FRECUENCIA RELATIVA	42.86	25.7142857	14.2857143	5.71	11.43	
DOMINANCIA RELATIVA	57.42	20.19	11.79	6.73	3.87	
<b>SUMA</b>	<b>157.88</b>	<b>66.06</b>	<b>37.83</b>	<b>19.16</b>	<b>19.07</b>	<b>300.00</b>
<b>%</b>	<b>52.63</b>	<b>22.02</b>	<b>12.61</b>	<b>6.39</b>	<b>6.357</b>	<b>100.00</b>

Gráfica 6. Índice de valor de importancia.



*Nota.* El índice de valor de importancia es una medida de peso ecológico entre especies para identificar al que tiene más importancia entre el bosque, este parámetro es una ponderación que se da a los siguientes factores, dominancia, abundancia y frecuencia forestal en porcentaje. Esta información se relaciona con la presencia y abundancia de descortezadores en el análisis de correlación y modelos de regresión lineal. La especie forestal de mayor valor de importancia es el (*Pinus hartwegii*) por lo que en él se enfoca mayormente la investigación.

#### 14.4. Análisis de Biodiversidad

##### Índices de biodiversidad

Media H	Varianza H	Máximo H	Mínimo H
0.1088724	0.0289266	0.63651417	0

Interpretación: La biodiversidad es un cálculo estadístico establecido por el programa Rstudio para conocer la biodiversidad de cada sitio y se expresa en % siendo el 100% un sitio con gran cantidad de biodiversidad. La media de 0.1088724 = 10.88% de diversidad de descortezadores y es donde se encuentra la mayoría de los sitios, el sitio con la máxima de 0.6365142 = 63.65% de diversidad ya que es donde se tuvo mayor captura de especímenes de una especie. En el mínimo de 0% fueron las trapas o sitios donde no hubo captura de descortezadores, y así se puede observar todos los sitios en la columna de índice de Shannon.

S, Riqueza	H, Shannon	D, Simpson	J, Igualdad
1	0.000000	0.000000	NaN
2	0.6365142	0.4444444	0.9182958
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
2	0.3767702	0.2187500	0.5435644
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
2	0.3046361	0.1652893	0.4394970
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
2	0.1788449	0.0831758	0.2580187
2	0.4194834	0.2524005	0.6051866

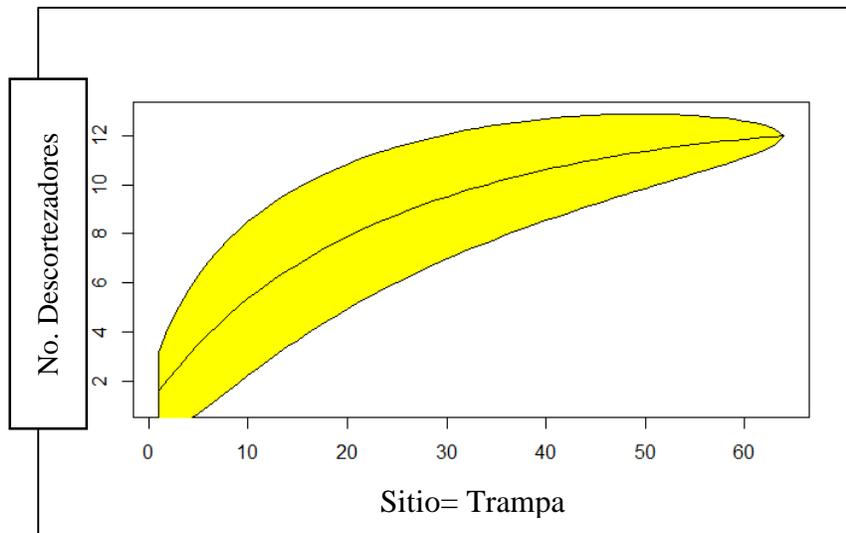
1	0.000000	0.000000	NaN
3	0.5627298	0.2911111	0.5122188
1	0.000000	0.000000	NaN
3	0.3887344	0.1844444	0.3538413
2	0.4253283	0.2571166	0.6136190
3	0.3708024	0.1738281	0.3375189
3	0.4437573	0.2145329	0.4039253
1	0.000000	0.000000	NaN
3	0.5073036	0.2728532	0.4617676
1	0.000000	0.000000	NaN
2	0.1297407	0.0555102	0.1871763
1	0.000000	0.000000	NaN
3	0.2426735	0.1011080	0.2208909
3	0.3141230	0.1412500	0.2859271
2	0.1985152	0.0950000	0.2863970
2	0.1169068	0.0487500	0.1686609
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
3	0.2164141	0.0878099	0.1969886
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
3	0.2735738	0.1189236	0.2490176
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
3	0.1868371	0.0733357	0.1700664
3	0.1840827	0.0720165	0.1675593
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
2	0.0895780	0.0350765	0.1292338
2	0.0883198	0.0344721	0.1274185
1	0.000000	0.000000	NaN
3	0.2273986	0.0945982	0.2069872
2	0.0847661	0.0327778	0.1222916
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN
1	0.000000	0.000000	NaN

Interpretación: La columna de riqueza hace referencia a la cantidad de especímenes de insectos por unidad de muestreo o trampa.

Nota: En la columna de índice de H Shannon, se calculó la frecuencia de cada especie en el ecosistema, para comparar la biodiversidad entre ecosistemas. Y se interpreta que entre más grande sea el número mayor biodiversidad tiene el sitio. (una trampa representa un sitio y su alrededor)

Nota: En el índice de D Simpson, se usa para cuantificar la equidad, para ver cuantas especies similares existen en un sitio, basa su frecuencia en cada una de las especies del ecosistema. Se interpreta como un porcentaje de valores, los valores más grandes indican una dominancia por una especie, y los valores más bajos indican una distribución más equilibrada de las especies por sitio o trampa.

**Gráfica 7.** Curva de acumulación de especies por sitio.

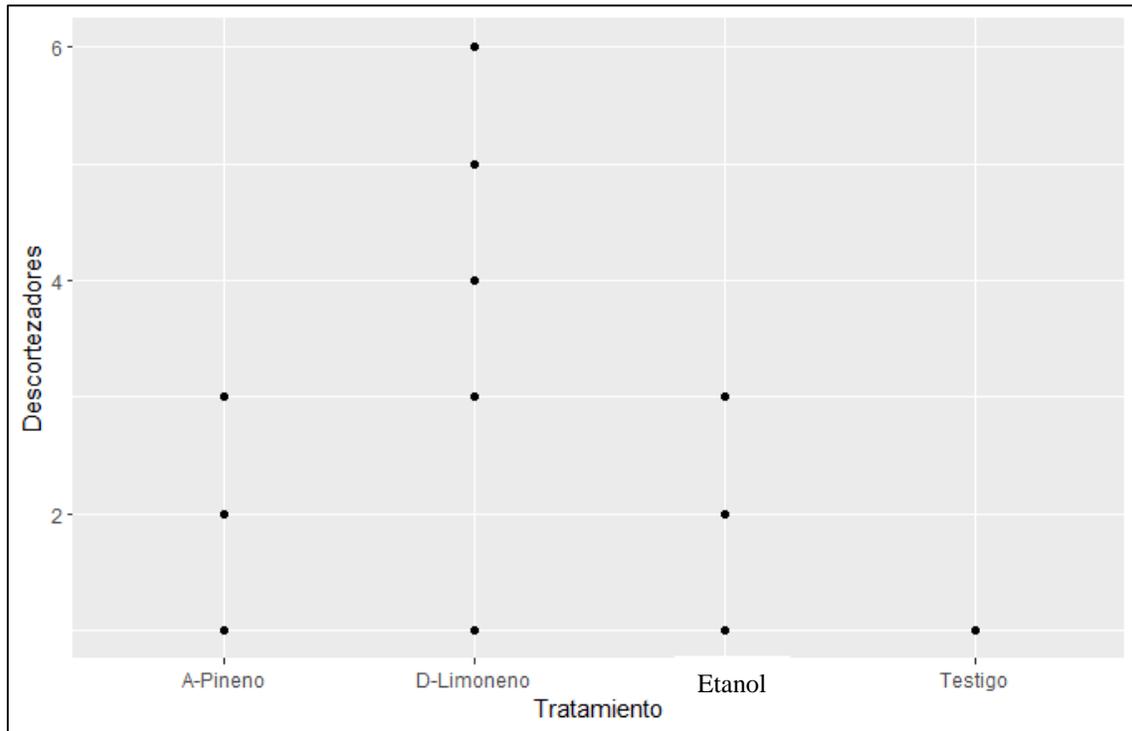


*Nota.* La curva de acumulación de especies por sitio demuestra el esfuerzo de muestreo, las curvas nunca se aplanan, pero si hay un aplanamiento indica que el esfuerzo de muestreo es bueno, si la curva es demasiado pronunciada indica que hubo deficiencia del muestreo o bien perdida de datos. Pero como si se nota que la curva no es pronunciada por lo que se toma como bueno el esfuerzo de muestreo.

### 14.5. Análisis de correlación multivariado

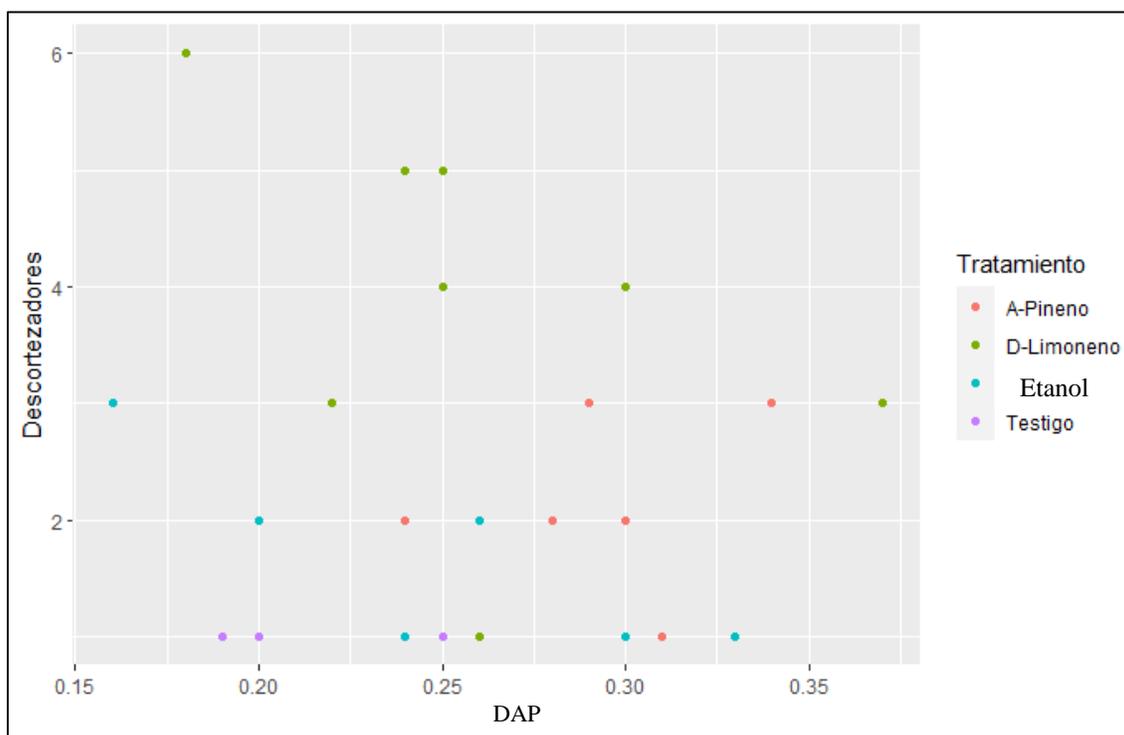
En las gráficas de correlación multivariado entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes. Se observa la distribución de descortezadores y la relación que tiene con cada variable ecológica.

*Gráfica 8. Atracción de tratamiento vrs número de descortezadores*



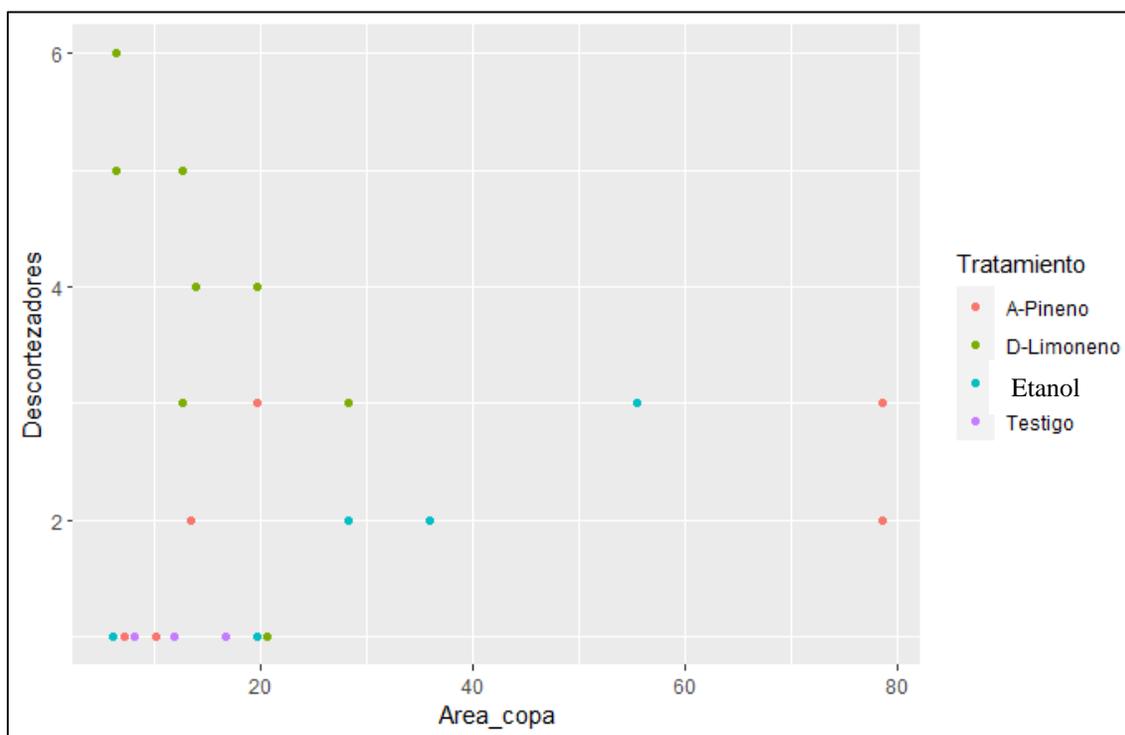
Discusion: Se correlacionó el numero de Descortezadores vrs Tratamiento, el resultado es el mismo que en la prueba de análisis o varianza (ANOVA), donde el atrayente que presento más capturas es el D-limoneno, según la gráfica en al menos una trampa alcanzo a capturar seis descortezadores.

**Gráfica 9.** *Relación de número de descortezadores vrs DAP.*



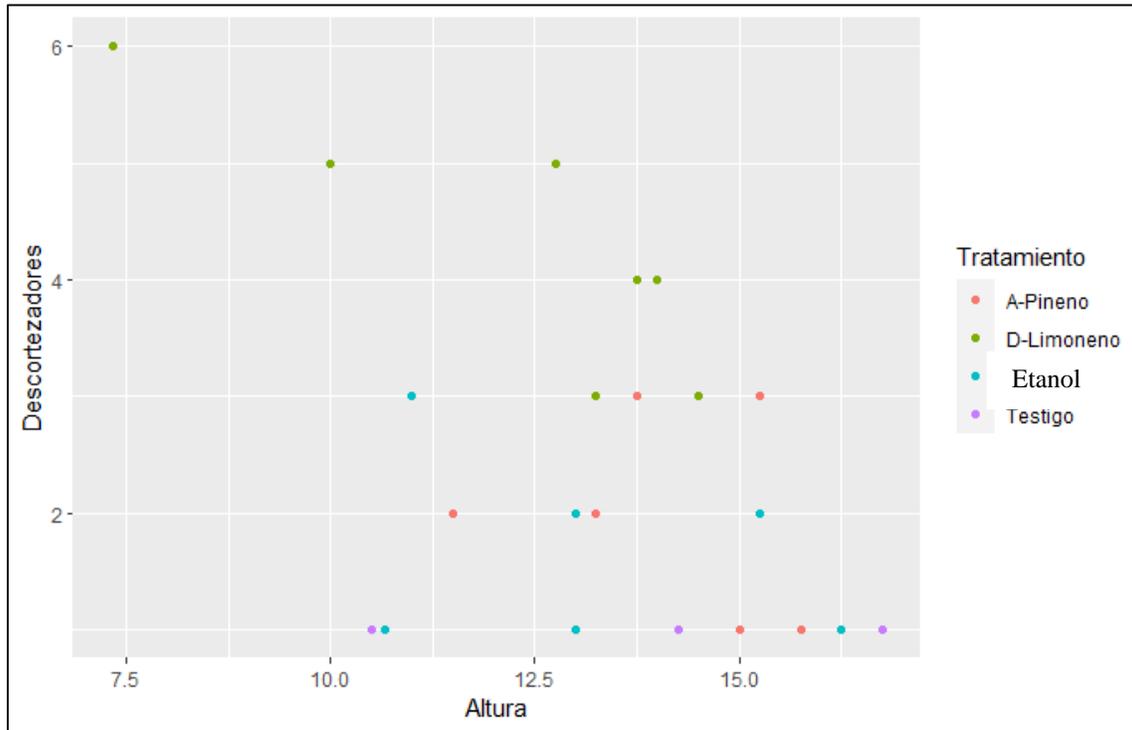
Discusión: El análisis de correlación multivariada Descortezadores vrs DAP, la abundancia de descortezadores se concentra en el rango de 0.22 m a 0.32 m de diámetro a la altura del pecho, por lo que los bosques de coníferas con árboles de DAP promedio de 0.22 metros a 0.32 metros tiene mayor probabilidad de ser colonizado por descortezadores. Además, se observa que el tratamiento D-limoneno también concentra sus capturas ya que fue el tratamiento que más número de capturas tuvo por trampa.

**Gráfica 10.** Relación de número de descortezadores vrs área de copa.



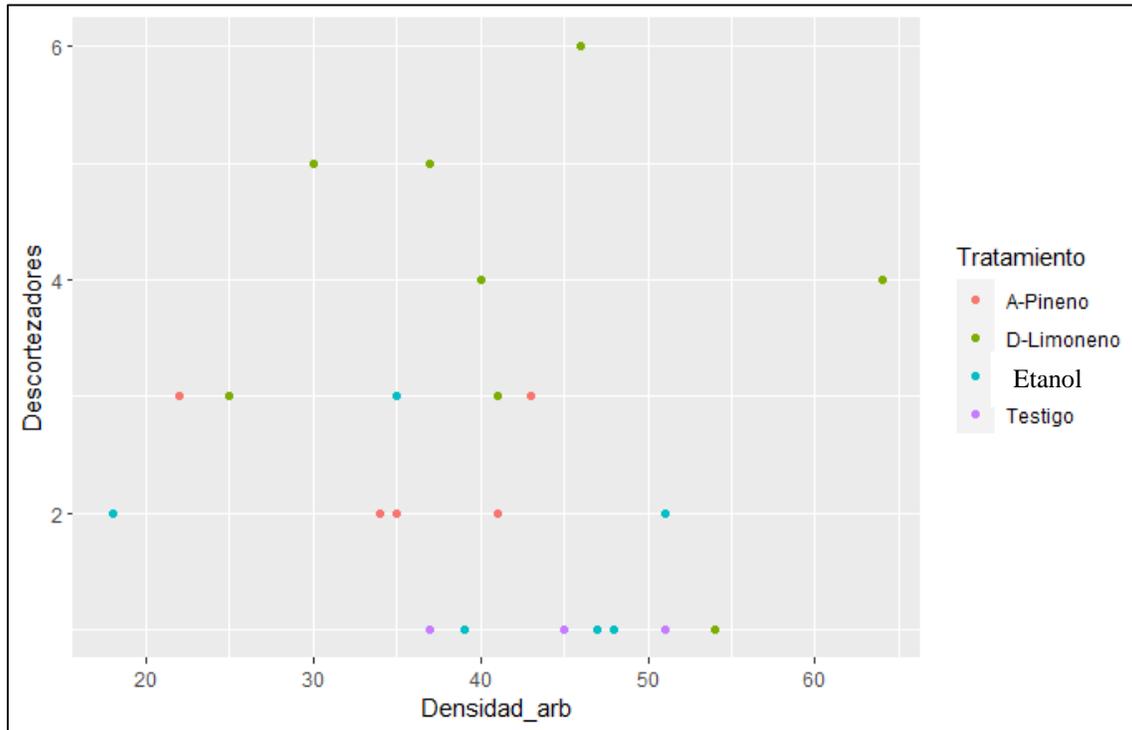
Discusión: Descortezadores vrs Área de copa, la abundancia se concentra en el rango de 0.7 metros cuadrados a 30 metros cuadrados, esto nos indica que son árboles de clase 3 y clase 2, ya que en árboles dominantes el área de copa es mayor, así como las reservas de nutrientes y agua para combatir una colonización por descortezadores.

**Gráfica 11.** *Relación de numero de descortezadores vrs altura de los árboles.*



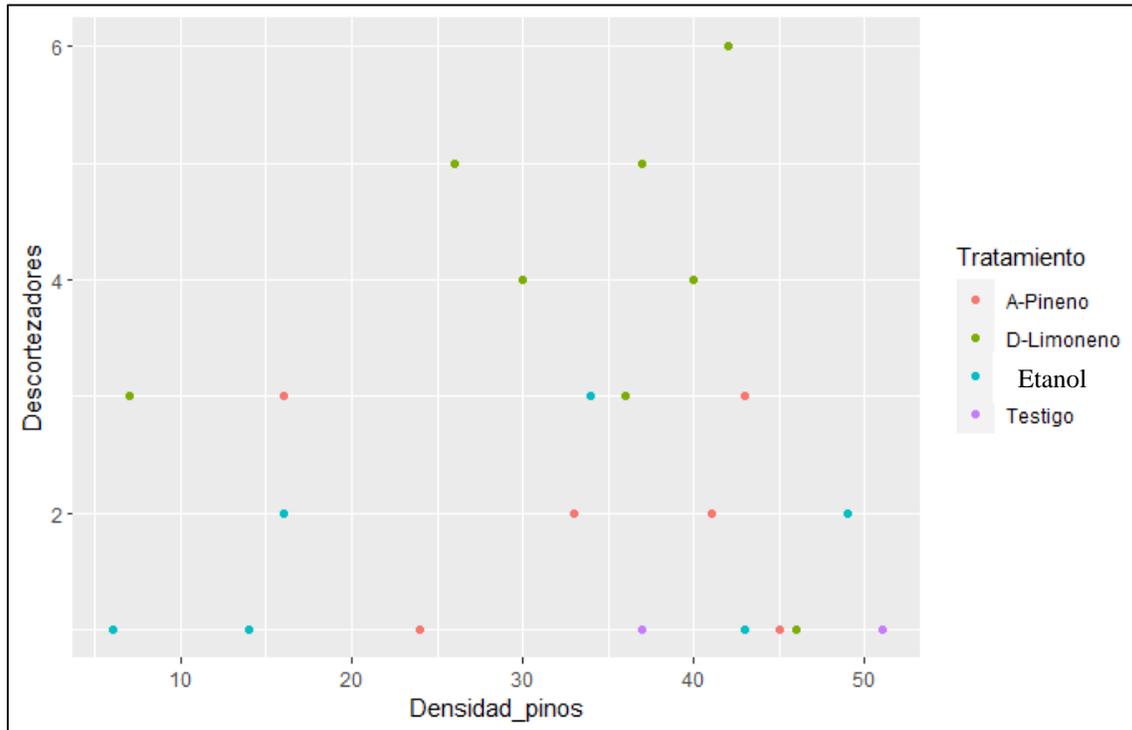
Discusión: Descortezadores vrs Altura, la abundancia de descortezadores se concentra en árboles con del rango de altura de 13 metros a 16 metros. Según la gráfica los descortezadores no tienen preferencia en árboles muy jóvenes o viejos. En los árboles jóvenes no tienen el suficiente espacio y comida para reproducirse y en árboles viejos en su mayoría son árboles grandes de clase dominante con corteza muy gruesa lo que dificulta la entrada y además estos árboles contienen grandes cantidades de resina para bloquear el acceso de descortezadores.

**Gráfica 12.** *Relación de numero de descortezadores vrs densidad de árboles.*



Discusión: Descortezadores vrs Densidad de árboles, esta densidad también toma en cuenta árboles latifoliados y especies diferentes al género Pinus, la abundancia se concentra en el rango de 35 a 50 árboles/1000 metros cuadrados. Se observa que, si aumenta la densidad más de 50 árboles/1000, baja la presencia de descortezadores, pero se debe a que aumentaría la riqueza forestal el cual no es atractivo para los descortezadores ya que limita la colonización.

**Gráfica 13.** *Relación de número de descortezadores vrs densidad de pinos.*



Discusión: Descortezadores vrs Densidad de pinos, la abundancia se concentra en el rango de 25 a 48 árboles de pino/ 1000 metros cuadrados. En área con densidad mayor a 30 árboles de pino/1000 metros cuadrados, aumenta la población de descortezadores, debido a que, en bosque de coníferas con alta densidad, baja la vigorosidad de los árboles haciéndolos más susceptibles a un ataque de colonización, y por otra parte beneficia al descortezador por su corto alcance de vuelo además que por las hojas de pino disminuye el sotobosque permitiendo al descortezador ser más preciso en la localización de macho y hembra.

## 14.6. Análisis de modelo de regresión lineal múltiple:

### 14.6.1. Modelo de regresión lineal múltiple

Residuos:

Mínimo	1Cuartil	Mediana	3Cuartil	Máximo
-2.11816	-0.70139	-0.01542	0.77678	2.75848

Coefficientes:

	Estimado	Error Estándar	t valor	Pr(> t )
(Intercepto)	7.65205	2.29944	3.328	0.00374 **
Densidad de árboles	-0.05426	0.03708	-1.463	0.16061
DAP	7.66970	6.93286	1.106	0.28317
Altura	-0.43653	0.14480	-3.015	0.00744 **
Densidad de pinos	0.02786	0.03047	0.914	0.37262
Área de copa	-0.00368	0.01275	-0.289	0.77625

---  
Códigos significativos: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Error estándar residual: 1.352 con 18 grados de libertad  
R-cuadrado múltiple: 0.3652, R-cuadrado ajustado: 0.1888  
Estadística-F: 2.071 en 5 y 18 grados de libertad, p-valor: 0.1167

Explicación: La correlación múltiple permite observar la proyección de la abundancia de descortezares bajo la influencia de las variables ecológicas actuales del bosque de aldea Boxoncan, Tajumulco San Marcos.

Para el análisis de modelo de regresión lineal múltiple se establece hipótesis para su comprensión: Hipótesis Nula  $H_0$ = Ninguna de las variables ecológicas influye en el aumento de descortezadores. Hipótesis Alternativa  $H_1$ = Al menos una variable ecológica influye en el aumento de descortezadores.

Interpretación de resultados: cuando el  $Pr(>|t|)$  es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula y cuando es menor se acepta la hipótesis alternativa. En los datos que tiene \*\* indica que tiene diferencia significativa, es decir mayor influencia en la variable dependiente.

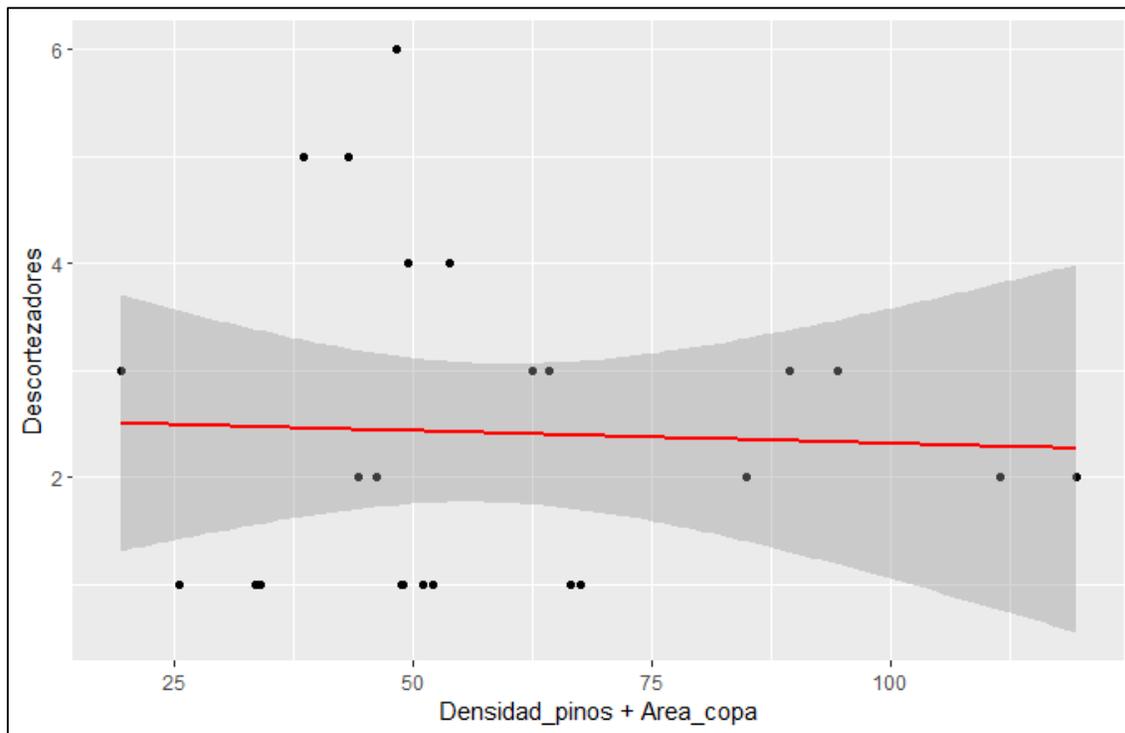
La R-Cuadrada Múltiple; dice que el mínimo debe ser 0.7 pero es 0.3652, si fuera una sola variable no sería confiable, pero debido a que tiene 5 variables y 4 de ellos no significativos entonces si es confiable y omitimos este valor.

El P-Valor general de 0.1167 por ser mayor a 0.05 afirma que las variables ecológicas no permitirán un aumento poblacional o infestación de gorgojos, siempre y cuando no haya una alteración humana o edafoclimática en el bosque de Aldea Boxoncan, Tajumulco.

Los datos del Estimado son una razón de cambio entre la variable dependiente y las variables independientes, la unidad de cambio son especímenes de gorgojos (cantidad de insectos) y la unidad de medida de cada variable permanece. Se realizó el cálculo por cada variable descrita a continuación con su respectiva grafica.

Interpretación de gráficas: de izquierda a derecha en diagonal hacia arriba indica aumento de la población de descortezadores, de izquierda a derecha en horizontal indica la permanencia de la población de descortezadores y de izquierda a derecha en diagonal hacia abajo indica tendencia a disminución de la población de descortezadores.

**Gráfica 14.** *Correlación, descortezadores vrs densidad de pinos y área de copa.*

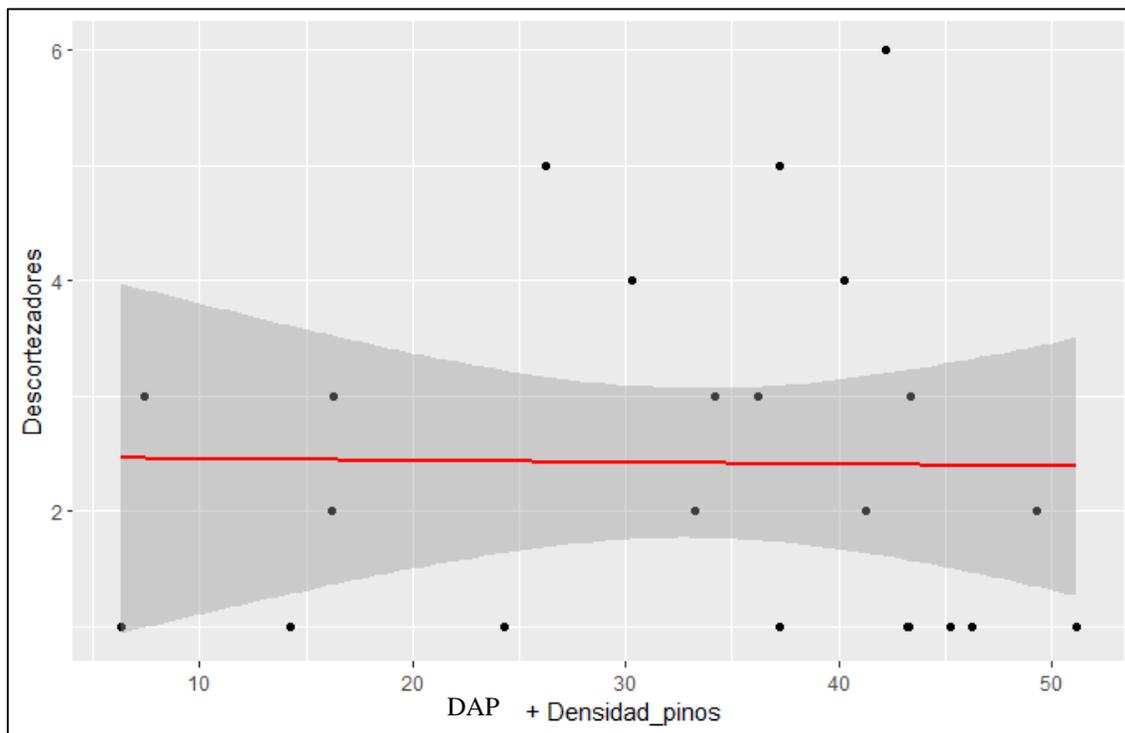


Discusión: En el cálculo de densidad de pinos dice que por cada árbol más de pino, aparece 0.2786 descortezadores, en la realidad sería que por 35.8 pinos/Ha que aumente la densidad de pinos aparecería 1 descortezador. A mayor densidad de pinos mayor atracción y menor desarrollo de árboles, en su mayoría de clase 2 y 3 siendo estas susceptibles a perder la batalla al momento de la colonización por descortezadores.

Y para el caso del área de copa no es significativo, pero dice que debe disminuir el área de copa 271 metros cuadrados de 1 hectárea para que aparezca un descortezador. Por el contrario, a mayor área de copa disminuye la población de descortezadores; esto se da porque los descortezadores no tienen un gran alcance de vuelo, cuando los árboles tienen un área de copa grande es porque son árboles dominantes o codominantes y vigorosos lo cual limita la abundancia de descortezadores.

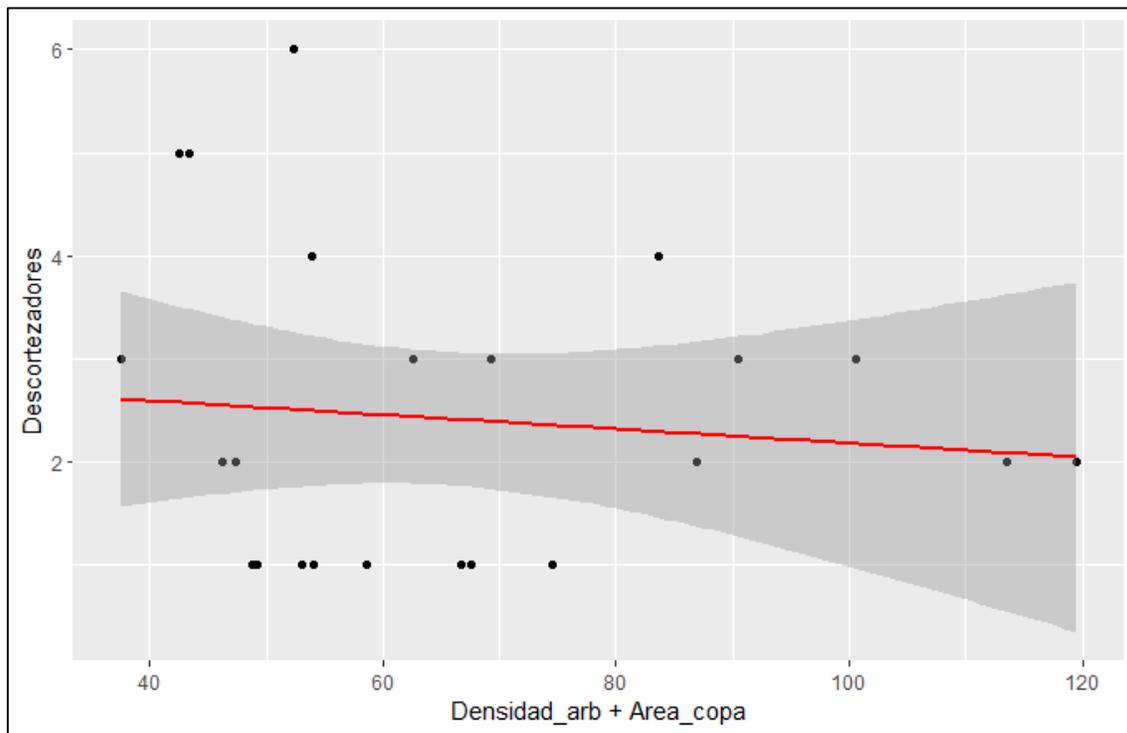
Según la correlación de densidad de pinos más el área de copa, se demuestra que estas dos variables no permiten el aumento de la población de descortezadores, se mantiene o disminuye levemente.

**Gráfica 15.** *Correlación, descortezadores vrs DAP y densidad de pinos.*



Discusión: El cálculo de DAP indica que por cada 0.13 metros que aumente el promedio aparecería 1 descortezador. Los descortezadores primarios buscan árboles con un fuste de DAP de tamaño medio para colonizar, teniendo el bosque un DAP adecuado para la colonización por descortezadores. Según la correlación de DAP más densidad de pinos, se demuestra que estas dos variables mantienen la misma población de descortezadores.

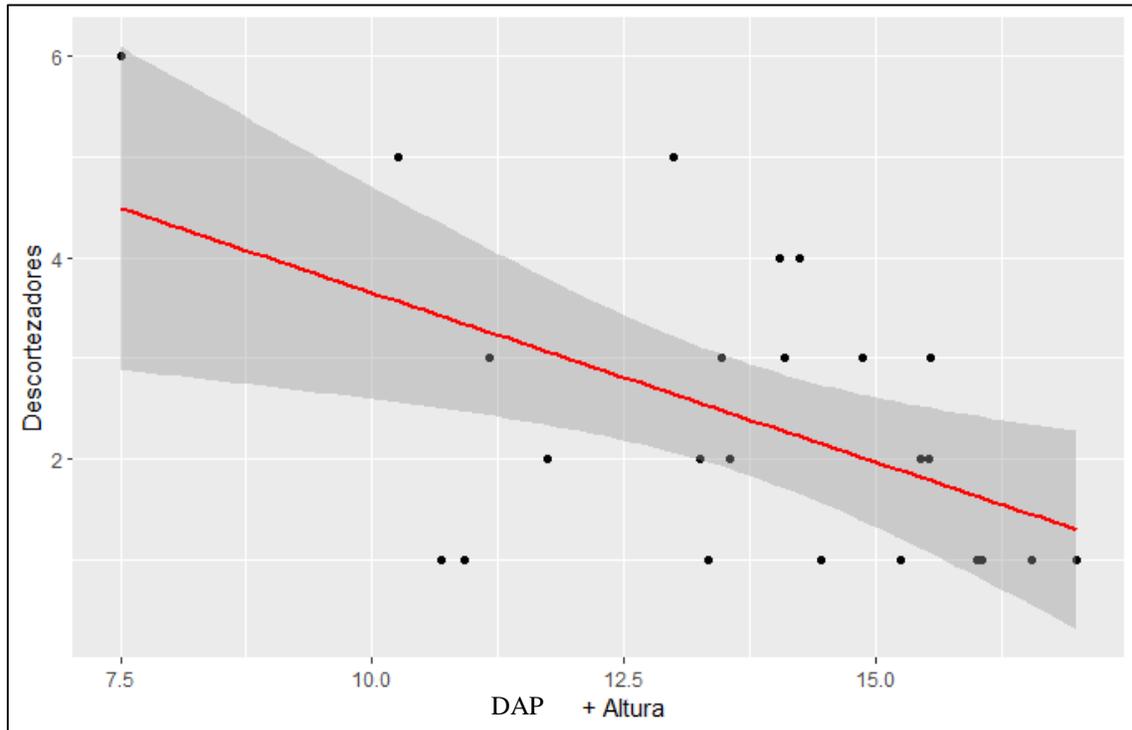
**Gráfica 16.** *Correlación, descortezadores vrs densidad de árboles y área de copa.*



Discusión: Correlación múltiple permiten observar la proyección de la abundancia de descortezadores bajo la influencia de las variables ecológicas densidad de árboles y área de copa bajo las condiciones actuales.

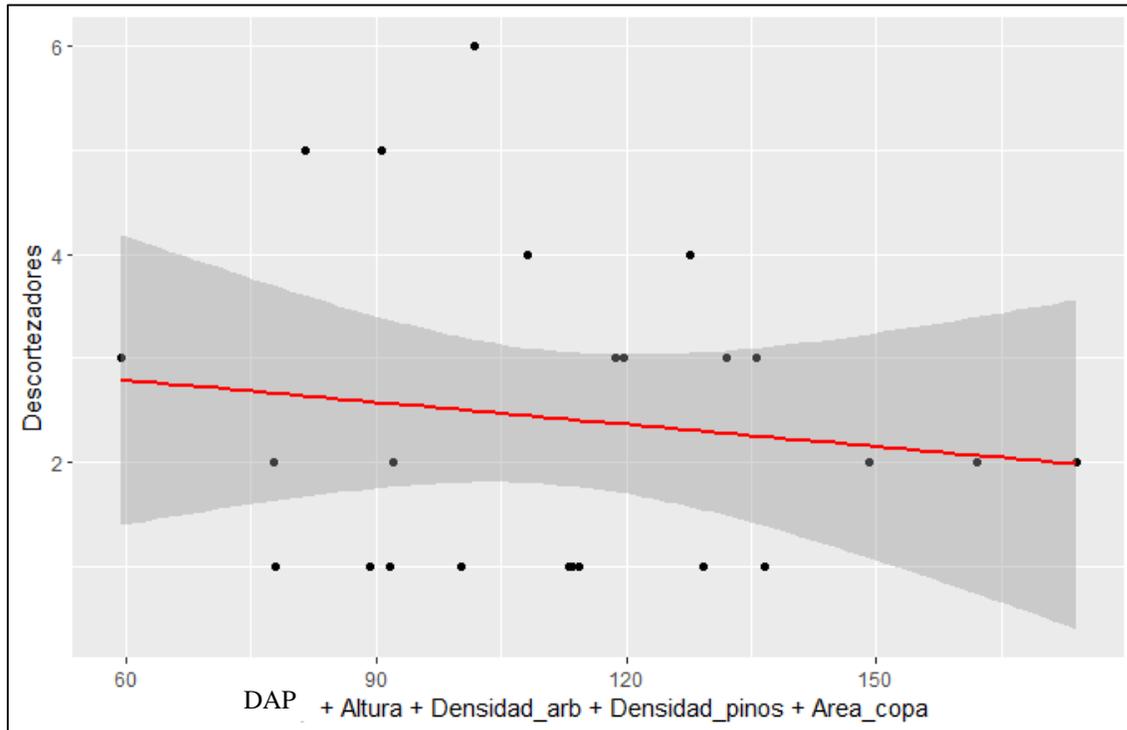
El cálculo de Densidad de árboles dice que por cada árbol que aumente la densidad forestal árboles/hectárea, aparecerá  $-0.05426$  descortezadores, pero como es un número negativo en realidad significa que por cada árbol más que no sea pino desaparecería  $0.05426$  descortezadores, en datos más comprensible sería que por 18 árboles más que no sea pino en la densidad actual bajaría la población de descortezadores en  $-1$  descortezador.

**Gráfica 17.** Correlación, descortezadores vrs DAP y Altura de árboles.



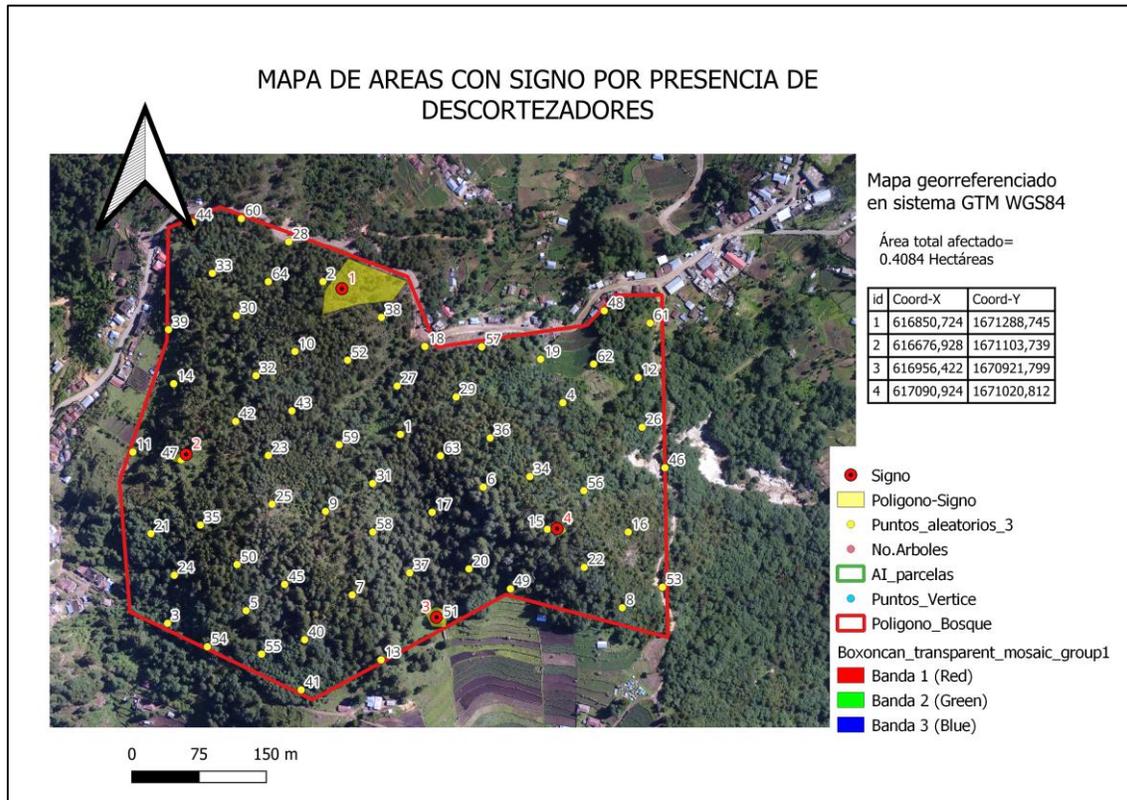
Discusión: Correlación múltiple permiten observar la proyección de la abundancia de descortezares bajo la influencia de las variables ecológicas DAP + Altura de árboles, con tendencia a disminución de la población de descortezadores. Esta disminución es mayor por la altura que si tiene diferencia significativa, donde el resultado de Altura de árboles tiene un estimado o valor de cambio de  $-0.43653$ , se calcula dividiendo  $1 / -0.43653 = -2.29$  metros, por lo que se interpreta que por cada 2.29 metros de aumento de altura promedio de árboles desaparece 1 descortezador en un área de 1000 metros cuadrados. El cual es posible ya que a mayor altura de los árboles pasan a ser dominantes o codominantes quienes tienen reservas de nutrientes y agua, al momento de una colonización ganan la batalla contra los descortezadores al ahogarlos en resina y trementina. La altura de árboles si influye significativamente en la desaparición de descortezadores.

**Gráfica 18.** Modelo de regresión lineal múltiple de variables.



Discusión: La influencia de las variables ecológicas DAP, Altura, Densidad de pinos, Densidad de árboles y Área de copa, son adecuadas para evitar una infestación de gorgojos descortezadores. Por lo que la abundancia de descortezadores se mantiene o disminuye por influencia de las variables independientes. La R Cuadrada Ajustada; es de 0.1888, y se usa para entender la variabilidad ya que engloba todos los  $\Pr(>|t|)$  P-Valor, de las variables y dice si hay significancia entre todas o no, pero como el valor es mayor a 0.05 por lo que no hay influencia significativa entre todas las variables por lo que “las variables ecológicas del bosque no permiten un aumento poblacional de descortezadores, sino al contrario provocan una leve mortandad de descortezadores, mantenido la población igual o menos, por lo que no hay infestación de gorgojos descortezadores en el bosque de aldea Boxoncan Tajumulco”. Las variables DAP, Densidad de pinos, Área de copa según su p-valor no son significativos, pero eso no quiere decir que no tengan ninguna influencia en la abundancia de descortezadores, pero estadísticamente no tienen ninguna representatividad.

## 14.7. Áreas y zonas marcadas con signos por presencia de descortezadores



*Nota:* Se georreferencio cuatro focos con signo por presencia de gorgojos descortezadores dentro del bosque distribuidos de la siguiente manera de acuerdo al mapa de signos por presencia de descortezadores; a) Punto 1 con un área de 3,344.65 metros cuadrados en fase tres, debido a que solo se encuentran árboles muertos en pie, con hojas rojizas y con galerías sin gorgojos y sin larvas; b) punto 2 con área de 143.2 metros cuadrados en fase 1, c) Punto 3 con área de 422.69 metros cuadrados en fase 1, y d) Punto 4 con un área de 174.4 metros cuadrados en fase 1, ya que se observa un leve amarillamiento en las acículas, brotación de resina y grumos en el fuste de un árbol. Por lo que el total de área con signo por presencia de descortezador es 0.41 hectáreas que representa el 1.67% respecto al área total del bosque que es de 24.6 hectáreas.

## 15. Conclusiones

- 1) El efecto de atracción se observó en todos los tratamientos, pero el atrayente Etanol genero mayor atracción de insectos, seguido del D-Limoneno tomando en cuenta los insectos de todas las órdenes y familias. Pero en cuanto a la especificación de gorgojos descortezadores se tuvo mayor atracción por el atrayente D-Limoneno, seguido del A-Pineno. Dando respuesta así al objetivo general de la investigación y a su vez aceptamos la hipótesis biológica a.
- 2) Según el objetivo específico número 1, se identificó la presencia de 11 especies de curculiónidae de la subfamilia Scolytidae. Las especies presentes en el bosque de coníferas de la Aldea Boxoncan, Tajumulco son las siguientes según su abundancia en orden descendente: (*Hylurgus ligniperda*), (*Gnathotrachus materarius*), (*Corthylus flagellifer*), (*Hylurgops incomptus*), (*Pseudips mexicanus*), (*Gnathotrachus perniciosus*), (*Gnathotrachus retusus*), (*Gnathotrachus alniphagus*), (*Tricolus coloreus Madera*), (*Xyleborus anthracinus*), y el único del género (*Dendroctonus* spp) fue el (*Dendroctonus adjunctus Blandford*). Por lo que aceptamos la hipótesis biológica b.
- 3) Se realizó un análisis ANOVA y Tukey de los insectos capturados sin clasificar para conocer la atracción general de los tratamientos. Donde el atrayente Etanol presentó una mayor diversidad de ordenes de insectos atraídos, siendo estadísticamente significativo respecto al testigo, pero no a los tratamientos D-Limoneno y A-Pineno ya que también demostraron ser efectivos como cebos atrayentes.
- 4) El atrayente D-Limoneno fue el atrayente que presentó mejor resultado en la captura de insectos, de manera específica de la subfamilia Scolytidae y Pltypodinae. Y el único que capturo del género (*Dendroctonus* spp) como lo fue el (*Dendroctonus adjunctus Blandford*). Por lo que responde al objetivo específico número 2. Así mismo no aceptamos la predicción biológica a, y también no aceptamos la predicción biológica b.
- 5) Según el objetivo específico número 3 y la predicción biológica c, se calculó la biomasa relativa del bosque, tomando las medidas dasométricas y en base a ello se calculó la biomasa

relativa del bosque en donde se procedió a obtener la frecuencia, dominancia y abundancia relativa las cuales son expresadas en porcentaje para obtener un promedio de estos valores conocido como índice de valor de importancia, donde el resultado es 52.63% para el (*Pinus hartwegii*); 22.02% de (*Pinus ayacahuite*); 12.61% de (*Alnus spp*); 6.39% (*Cupressus spp*); y 6.35% de otras especies. Esto demuestra la importancia del (*Pinus hartwegii*) como especie dominante, pero con la integración por otras especies forestales, según el análisis de correlación y modelos de regresión lineal, indican que la relación de las variables ecológicas con la abundancia de Descortezadores Scolytidae, son adecuadas para mantener la sanidad de bosque, pero en caso de alteraciones predice lo siguiente: a) Densidad actual es de 430 árboles/hectárea, a mayor densidad de especies forestales mixtas disminuye la población de descortezadores; b) DAP promedio actual de 0.41 metros, a mayor DAP, aumentaría la población de descortezadores; c) Altura promedio actual de 16.5 metros, a mayor altura promedio de los árboles disminuye la población de descortezadores; d) Densidad actual de pinos 390 pinos/hectárea, a mayor densidad de pinos, aumenta la población de descortezadores; e) Área de copa promedio actual 56.7 metros cuadrados, mayor área de copa de árboles, disminuye la población de descortezadores.

- 6) De acuerdo con el objetivo específico 4, se georreferencio cuatro focos con signo por presencia de gorgojos descortezadores dentro del bosque distribuidos de la siguiente manera de acuerdo al mapa de signos por presencia de descortezadores; a) Punto 1 con un área de 3,344.65 metros cuadrados en fase tres, debido a que solo se encuentran árboles muertos en pie, con hojas rojizas y con galerías sin gorgojos y sin larvas; b) punto 2 con área de 143.2 metros cuadrados en fase 1, c) Punto 3 con área de 422.69 metros cuadrados en fase 1, y d) Punto 4 con un área de 174.4 metros cuadrados en fase 1, ya que se observa un leve amarillamiento en las acículas, brotación de resina y grumos en el fuste de un árbol. Por lo que el total de área con signo por presencia de descortezador es 0.41 hectáreas que representa el 1.67% respecto al área total del bosque que es de 24.6 hectáreas.
- 7) En el bosque de la Aldea Boxoncan, en base al proceso de identificación de especies de descortezadores, se determinó que si hay presencia del género (*Dendroctonus spp*) siendo ésta

la especie (*Dendroctonus adjunctus Blandford*), pero según las pruebas estadísticas realizadas se determinó que su población es relativamente baja, por lo que no se considera al bosque con infestación por ninguna especie de gorgojo descortezador.

- 8) La captura de gorgojos descortezadores fue nula en trampas que se encontraban en áreas de bosque mixto, con especies de (*Pinus spp*), (*Alnus spp*), (*Cupressus spp*) entre otros. Debido a que hay una mayor diversificación de insectos interactuando y manteniendo el equilibrio del ecosistema.

## 16. Recomendaciones

- 1) Evaluar dosis de los atrayentes de gorgojos descortezadores del pino; D-limoneno y A-pineno, para conocer la cantidad adecuada a utilizar por trampa, tomando en cuenta no atraer exceso de gorgojos para evitar provocar una infestación.
- 2) Priorizar el monitoreo del (*Dendroctonus adjunctus blandford*) encontrado dentro del bosque de coníferas de la aldea Boxoncan, ya que es una especie potencial para una infestación a futuro, y con ello realizar prácticas de control en posibles focos de infección.
- 3) La biomasa relativa del bosque, así como los parámetros dasométricas se consideran adecuados ya que no hay infestación por gorgojos descortezadores en el bosque de aldea Boxoncan, Tajumulco, por lo que se recomienda evitar eliminar las especies diferentes al pino como (*Alnus spp*), (*Cupressus lusitánica*) y otras, ya que al tener únicamente pino cambiaría el tipo de sotobosque y se vería afectado el equilibrio entre insectos.
- 4) Realizar investigaciones para determinar la susceptibilidad de los árboles ante infestación por descortezadores, efectuando análisis fisicoquímicos del suelo, midiendo la disponibilidad de agua para los árboles, tasa de resinificación y la fertilidad del suelo.
- 5) Organizar a los propietarios del bosque de coníferas de la aldea Boxoncan para capacitarlos en la identificación de árboles con ataque de gorgojo descortezador, para que puedan identificar las tres fases de infestación, así como la determinación de la especie (*Dendroctonus adjunctus blandford*) y los tipos de control que existen y estén aprobados por las autoridades competentes, para que puedan aplicar control mecánico, cultural o químico según se requiera.
- 6) Para mantener la sanidad del bosque se debe definir métodos de control como, raleos seleccionando árboles de clase tres u oprimidos las cuales presentan las características de árbol débil, arboles con lesiones por extracción de madera, árboles afectados por tormenta eléctrica y árboles sobre maduros. también se debe considerar la densidad y diversidad forestal adecuada para mantener sano el bosque de la aldea Boxoncan, Tajumulco.

## 17. Referencias Bibliográficas

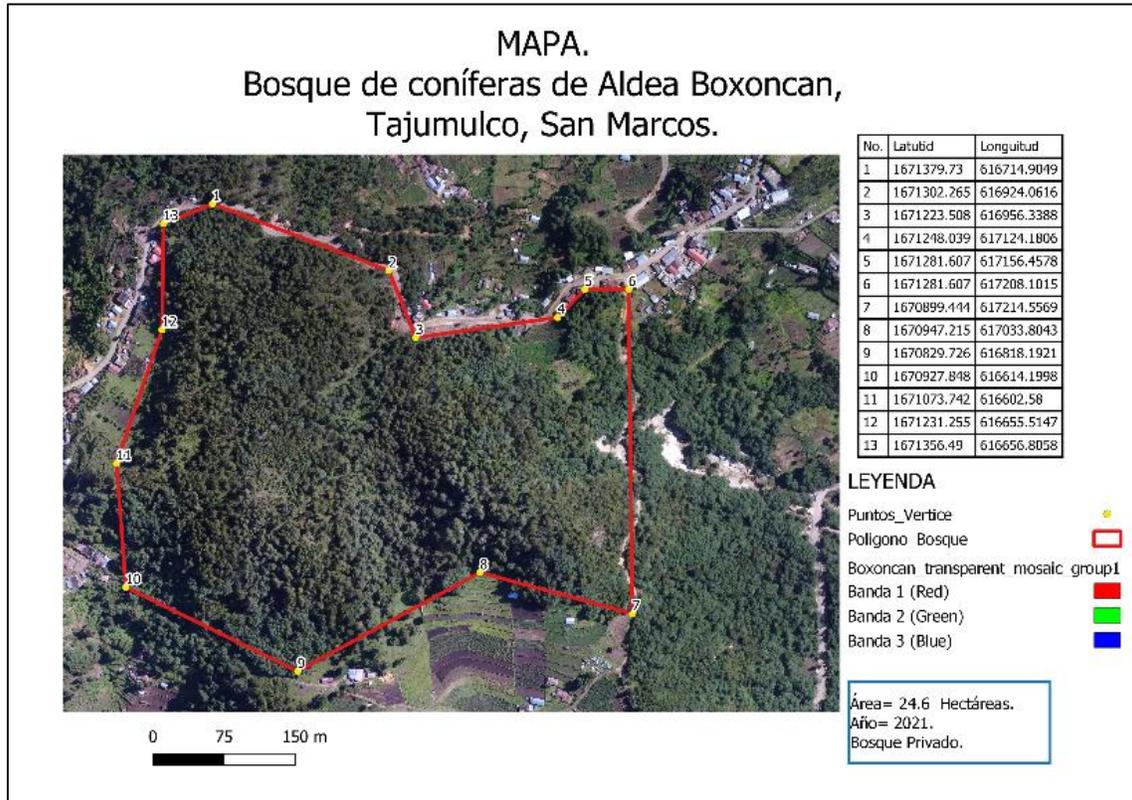
- A Miller. (1998). *a bioactive food component from citrus and from citrus and evidence for a potential role in breast cancer prevention and treatment*. Chicago: A. Thomson.
- Barrios Izás, M. A. (2019). *Digi USAC*. Obtenido de Clave para la identificación de escarabajos descortezadores y ambrosiales: <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2018-05.pdf>
- Barrios, M., Figueroa, J., Sosa, J., & Vargas, C. (2019). *Digi USAC*. Obtenido de Caracterización de los aceites esenciales presentes en acículas de Pino (Pinus: <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2018-05.pdf>
- Barrios, M., Interiano, C., Ramos, S., Alvarado, I., & Aldana, E. (2019). *Digi USAC*. Obtenido de Diseño de un método de teledetección para modelar la biomasa relativa de la: <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2018-05.pdf>
- Barrios, S. (2004). *Universidad del Valle de Guatemala*. Obtenido de [https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/handle/123456789/1468/Diversidad%20gen%C3%A9tica%20del%20pino%20blanco.pdf?sequence=1#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Donahue%20\(1991\)%20en%20Guatemala,y%20Zacapa%20\(figura%203\).](https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/handle/123456789/1468/Diversidad%20gen%C3%A9tica%20del%20pino%20blanco.pdf?sequence=1#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Donahue%20(1991)%20en%20Guatemala,y%20Zacapa%20(figura%203).)
- Castañeda Salguero, C. (2001). *CARACTERIZACION DE LA PLAGA GORGOJO DEL PINO (Dendroctonus sp) EN LOS BOSQUES DE GUATEMALA Y*. Guatemala: INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES -INAB PROYECTO DE INVESTIGACION FORESTAL.
- CEUPE. (s.f.). Obtenido de QGIS Que es y que ventajas tiene: <https://www.ceupe.com/blog/qgis.html?dt=1725766765985>
- Cran.r. (16 de 05 de 2000). Obtenido de Introducción a R: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/R-intro-1.1.0-espanol.1.pdf>
- Datademia. (s.f.). Obtenido de <https://datademia.es/blog/que-es-r>
- Dr. Manuel Alejandro Barrios Izás. (2019). *DISEÑO DE UN METODO DE MONITOREO DE GORGOJOS DE LA MADERA*. Zacapa, Guatemala: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE ZACAPA.
- Espino, V., Córdón, P., & Melendéz, B. (2004). *Gorgojo descortezador e incendios: Una combinacion devastadora para los pinares de America central*. Obtenido de <https://www.barkbeetles.org/centralamerica/y5507s06.pdf>
- FAO. (28 de julio de 2014). *fao.org*. Recuperado el 26 de abril de 2021, de [fao.org](http://www.fao.org/3/j0605s/j0605s03.htm): <http://www.fao.org/3/j0605s/j0605s03.htm>

- Hernández, E. (agosto de 2004). *Biblioteca USAC*. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2059.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2059.pdf)
- INAB. (07 de 2018). *Boletín informativo*. Obtenido de LOS BOSQUES Y SU IMPORTANCIA EN LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO: <https://www.inab.gob.gt/images/boletines/2018/julio/boletinclimatico.pdf>
- INAB. (2019). *los gorgojos descortezadores*. Obtenido de [http://portal.inab.gob.gt/images/boletines/2019/octubre/gorgojo\\_del\\_pino.pdf](http://portal.inab.gob.gt/images/boletines/2019/octubre/gorgojo_del_pino.pdf)
- INAB. (2020). *Inab.gob.gt*. Obtenido de Guia técnica para el manejo de insectos descortezadores en bosques de coníferas: <https://inab.gob.gt/images/profor/Gu%C3%ADa%20t%C3%A9cnica%20de%20insectos%20descortezadores%202021.pdf>
- Inifap. (2004). *Uso de feromonas en el manejo integrado del descortezador de pino Dendroctonus adjunctus*. Obtenido de <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/211.pdf>
- López Bautista, E. A. (03 de 2008). *UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA*. Obtenido de Diseño y analisis de esperimentos.
- Lopez Celedon, L. B., & Toledo Marin, L. I. (08 de 2005). *Universidad Nacional Agraria*. Obtenido de Dinamica poblacional de los descortezadores de pinos en dos municipios del departamento de Nueva Segovia: <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnh101864d.pdf>
- Medina Guerra, E. (1980). *Colegio de post graduados de Mexico*. Obtenido de Suceptibilidad de los bosques de coníferas al ataque del gorgojo del pino.: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=COLPOS.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=009724>
- Molina , M. (2013). *Los gorgojos de los pinos: amenazan bosques en Centroamerica*. Obtenido de PNUD/MiAmbinete: <http://www.bionica.info/biblioteca/Sediles2001GorgojosDescortezadores.pdf>
- Murillo, J. (2008). *Metodos de investigacion en educacion espacial*. Obtenido de Metodos de investigacion de enfoque experimental.: <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>
- Nunes , C., & Dávila, M. (2004). *Guia para la identificacion de gorgojos descortezadores del pino e insectos asociados*. Obtenido de <http://www.renida.net.ni/renida/funica/REH10-N972.pdf>

- Ortiz, P., Albanes, R., & Garcia, J. (10 de 2019). *El gorgojo del pino, un insecto pequeño pero muy perjudicial*. Obtenido de INAB:  
[http://portal.inab.gob.gt/images/boletines/2019/octubre/gorgojo\\_del\\_pino.pdf](http://portal.inab.gob.gt/images/boletines/2019/octubre/gorgojo_del_pino.pdf)
- Quispe, R., Loza, M., & Riquelme, C. (2015). *ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN*. Obtenido de Trampas artesanales con atrayentes alcohólicos en el control de la broca del café:  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592015000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592015000100002&script=sci_arttext)
- Rivera, M., Locatelli, B., & Billings, R. (2010). *Dialnet Unirioja*. Obtenido de Cambio climático y eventos epidémicos del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* en Honduras: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3209112.pdf>
- Rodrigo Ricardo. (06 de junio de 2017). *Estudiando*. Obtenido de Estudiando:  
<https://estudiando.com/alfa-y-beta-pineno-sintesis-usos-y-estructura/>
- Ronald F. Billings. (2005). *Cómo Reconocer, Prevenir y Controlar Plagas*. Ouston, Texas: Servicio Forestal de Texas.
- SEGEPLAN. (2010). *Plan de desarrollo Tajumulco, S.M.*
- SIFGUA. (2016). *Cobertura forestal de Guatemala*. Obtenido de  
<http://www.sifgua.org.gt/Cobertura.aspx>
- Sosa Chávez, J. J. (11 de 2005). *Biblioteca USAC*. Obtenido de Determinacion de las especies de gorgojo descortezador *Dendroctonus spp* (Coleoptera: Scolytidae) y la relacion sus hospederos de pino.: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2241.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2241.pdf)
- Zambriano, P. (09 de 2017). *Pinos (pinus) características*. Obtenido de Paradais Sphynx:  
<https://naturaleza.paradais-sphynx.com/plantas/arboles/pinos-pinus.htm>

## 18. Anexos

Figura 19. Mapa del bosque en estudio.



*Nota.* El bosque de coníferas presenta un área de 24.6 hectáreas.

**Tabla 4.** *Coordenadas para la colocación de trampas.*

Sistema de coordenadas GTM					
id	Coord-X	Coord-Y	id	Coord-X	Coord-Y
1	616915,995	1671126,015	33	616706,231	1671305,933
2	616829,663	1671296,669	34	617060,486	1671078,941
3	616656,238	1670915,221	35	616692,837	1671024,845
4	617097,413	1671161,403	36	617016,245	1671122,157
5	616743,811	1670929,269	37	616926,471	1670971,477
6	617008,527	1671067,148	38	616894,826	1671256,726
7	616862,268	1670946,801	39	616657,172	1671243,032
8	617163,709	1670932,455	40	616809,127	1670896,846
9	616832,432	1671040,127	41	616805,326	1670840,764
10	616798,292	1671218,627	42	616732,159	1671140,549
11	616617,426	1671106,354	43	616795,004	1671152,32
12	617181,368	1671189,633	44	616683,983	1671362,563
13	616894,437	1670874,331	56	617120,775	1671063,162
14	616662,979	1671182,587	46	617211,328	1671088,89
15	617080,194	1671020,1	47	616671,727	1671096,782
16	617170,323	1671016,969	48	617143,545	1671264,118
17	616951,477	1671039,067	49	617038,812	1670953,576
18	616943,363	1671224,215	50	616733,692	1670980,709
19	617072,582	1671209,976	51	616959,899	1670919,398
20	616992,552	1670975,861	52	616857,16	1671208,919
21	616637,625	1671015,284	53	617208,559	1670955,406
22	617121,203	1670977,595	54	616700,588	1670889,01
23	616768,606	1671102,561	55	616761,153	1670880,783
24	616663,686	1670968,759	45	616786,825	1670958,596
25	616772,787	1671048,01	57	617006,783	1671223,758
26	617185,836	1671133,972	58	616885,207	1671017,108
27	616912,446	1671180,064	59	616847,672	1671114,411
28	616791,434	1671341,161	60	616738,52	1671366,978
29	616978,212	1671167,798	61	617194,76	1671250,342
30	616732,971	1671258,648	62	617131,69	1671204,555
31	616885,084	1671071,213	63	616960,775	1671102,212
32	616754,888	1671191,652	64	616768,601	1671296,577

*Nota.* Elaboración propia, Brayan López, estudiante agronomía CUSAM 2024.

**Tabla 5:** *Tabla de datos de la investigación.*

Trampa	Tratamiento	Altura	DAP	Radio de copa	Área de copa	Densidad de pinos	Densidad de árboles	Descortezadores	Insectos en general
1	Testigo	16.5	0.41	4.3	56.7	39	43	0	9
2	Testigo	16.8	0.25	1.6	8.0	43	45	1	7
3	Testigo	13.0	0.28	1.8	9.6	5	47	0	8
4	Testigo	13.3	0.22	2.8	23.8	4	43	0	12
5	Testigo	14.3	0.18	5.0	78.5	8	14	0	5
6	Testigo	12.0	0.20	2.3	16.8	29	29	0	6
7	Testigo	14.3	0.20	1.9	11.8	37	37	1	7
8	Testigo	14.3	0.26	2.6	20.6	34	61	0	0
9	Testigo	9.8	0.22	1.8	9.6	33	37	0	9
10	Testigo	10.5	0.19	2.3	16.6	51	51	1	10
11	Testigo	8.8	0.15	2.1	14.3	3	10	0	8
12	Testigo	9.3	0.19	2.8	23.8	3	46	0	11
13	Testigo	13.5	0.29	5.6	96.8	17	17	0	8
14	Testigo	7.0	0.18	2.1	14.3	16	31	0	7
15	Testigo	12.5	0.34	2.6	21.7	28	35	0	6
16	Testigo	15.3	0.34	2.3	15.9	47	56	0	9
17	D-Limoneno	14.0	0.22	3.8	46.3	33	39	0	21
18	D-Limoneno	11.8	0.23	5.0	78.5	20	19	0	23
19	D-Limoneno	10.5	0.21	2.5	19.6	7	19	0	0
20	D-Limoneno	10.8	0.17	2.5	19.6	26	29	0	17
21	D-Limoneno	7.3	0.14	2.1	13.3	16	52	0	9
22	D-Limoneno	15.8	0.26	2.6	20.6	46	54	1	13
23	D-Limoneno	13.8	0.30	2.5	19.6	30	64	4	12
24	D-Limoneno	10.5	0.23	1.8	10.3	11	45	0	20
25	D-Limoneno	12.8	0.24	2.0	12.6	26	30	5	13
26	D-Limoneno	12.0	0.24	2.5	19.6	8	47	0	10
27	D-Limoneno	13.3	0.22	3.0	28.3	36	41	3	14
28	D-Limoneno	10.0	0.25	1.4	6.3	37	37	5	12
29	D-Limoneno	14.5	0.37	2.0	12.6	7	25	3	16
30	D-Limoneno	14.0	0.25	2.1	13.9	40	40	4	17
31	D-Limoneno	16.0	0.29	3.0	28.3	31	46	0	9
32	D-Limoneno	7.3	0.18	1.4	6.3	42	46	6	16
33	A-Pineno	16.5	0.30	2.2	15.2	46	50	0	11

34	A-Pineno	15.0	0.24	1.5	7.1	45	47	1	19
35	A-Pineno	14.5	0.32	2.5	19.6	34	34	0	9
36	A-Pineno	15.3	0.28	5.0	78.5	33	35	2	7
37	A-Pineno	13.8	0.34	2.5	19.6	43	43	3	7
38	A-Pineno	11.5	0.24	2.1	13.3	33	34	2	13
39	A-Pineno	15.8	0.31	1.8	10.2	24	39	1	11
40	A-Pineno	8.5	0.18	6.5	132.7	15	33	0	9
41	A-Pineno	10.0	0.17	2.5	19.6	13	49	0	0
42	A-Pineno	13.3	0.30	5.0	78.5	41	41	2	21
43	A-Pineno	12.3	0.24	1.6	8.0	32	32	0	14
44	A-Pineno	14.3	0.22	2.2	15.2	31	31	0	18
45	A-Pineno	15.3	0.29	5.0	78.5	16	22	3	12
46	A-Pineno	13.0	0.24	3.3	33.2	3	22	0	17
47	A-Pineno	11.5	0.24	3.0	28.3	19	25	0	20
48	A-Pineno	7.8	0.17	5.3	86.6	12	20	0	0
49	ETOH	13.0	0.23	2.1	14.3	14	16	0	12
50	ETOH	15.0	0.20	6.0	113.1	34	65	0	16
51	ETOH	15.3	0.20	3.0	28.3	16	18	2	31
52	ETOH	13.0	0.26	3.4	35.9	49	51	2	14
53	ETOH	7.3	0.17	2.5	19.6	9	26	0	13
54	ETOH	12.3	0.20	4.3	56.7	15	46	0	23
55	ETOH	13.0	0.33	2.5	19.6	6	39	1	26
56	ETOH	10.7	0.24	2.5	19.6	14	47	1	22
57	ETOH	14.3	0.30	2.8	23.8	45	45	0	25
58	ETOH	11.0	0.16	4.2	55.4	34	35	3	12
59	ETOH	16.3	0.30	1.4	6.0	43	48	1	15
60	ETOH	12.8	0.23	2.5	19.6	32	32	0	0
61	ETOH	13.5	0.18	2.8	24.6	3	20	0	17
62	ETOH	13.5	0.18	2.8	24.6	4	14	0	0
63	ETOH	13.8	0.18	3.5	38.5	41	42	0	26
64	ETOH	15.5	0.18	2.0	12.6	46	46	0	28

*Nota.* Elaboración propia, Brayan López, estudiante agronomía CUSAM 2024.

### 18.1. Catálogo de Scolytidae presentes en el bosque de Aldea Boxoncan

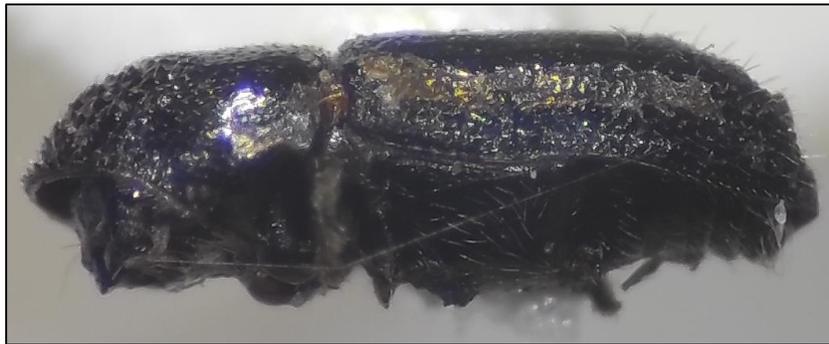
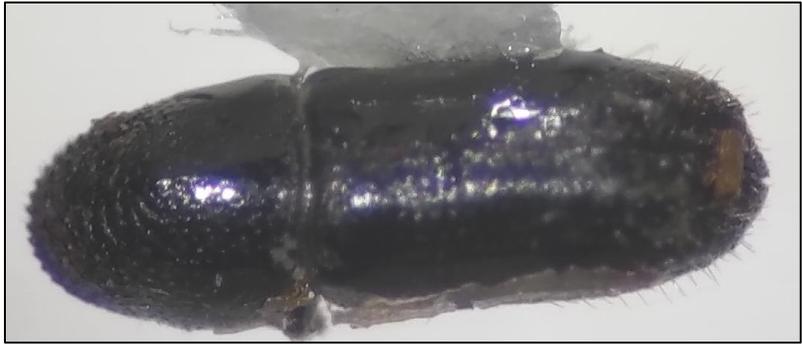
1.) (*Dendroctonus adjunctus* Blandfor) Nombre común: Escarabajo de la corteza.



2.) (*Hylurgus ligniperda*) Nombre común: Escólito rubio del pino.



3.) (*Xyleborus anthracinus*) Nombre común: Escarabajo de ambrosía.



4.) (*Gnathothrichus materarius*) Nombre común: Escarabajo matador de la madera.



5.) (*Corthylus flagellifer*) Nombre común: Escarabajo cortador.



6.) (*Hylurgops incomptus*) Nombre común: Escarabajo Matador árbol.



7.) (*Pseudips mexicanus*) Nombre común: Escarabajos grabadores



8.) (*Gnathothrichus perniciosus*) Nombre común: Escarabajo dorado



9.) (*Gnathotrichus retusus*) Nombre común: Barrenador Salcatus



10.) (*Gnathotrichus alniphagus*) Nombre común: Barrenador de la madera húmeda.



- 11.) (*Tricolus coloreus Madera*) Nombre común: Abrojo de flor amarilla.



### **18.2. Sugerencia de plan de manejo para prevenir infestación por (*Dendroctonus* spp), en bosques de coníferas en Guatemala**

De acuerdo con la especie de descortezador del pino (*Dendroctonus adjunctus*) identificado en la presente investigación, se sugiere la implementación de un plan sanitario para prevenir o controlar una futura infestación por descortezadores, y en base a las características del bosque.

Se presenta un plan general de saneamiento establecido por el INAB en el año 2020 titulado: “GUÍA TÉCNICA PARA EL MANEJO DE INSECTOS DESCORTEZADORES EN BOSQUES DE CONÍFERAS”. (INAB, 2020) que se encuentra de forma digital, formato pdf. En el internet, con el enlace siguiente:

<https://www.inab.gob.gt/images/profor/Gu%C3%ADa%20t%C3%A9cnica%20de%20insectos%20descortezadores%202021.pdf>

### 18.3. Fotografías del desarrollo de la investigación

**Figura 20.** *Extractos de pino, D-Limoneno y A-Pineno.*



*Nota.* Son los productos que se evaluaron como extractos de pino.

**Figura 21.** *Fotografía del equipo, en el bosque de la aldea Boxoncan*



*Nota.* Compañeros de apoyo para el levntamiento de datos en la Aldea Boxoncan.

**Figura 22.** Investigador en el laboratorio de ecología de CUNZAC.



*Nota.* Clasificación de especímenes de scolytidae.

**Figura 23.** Equipo de trabajo en laboratorio del CUNZAC.



*Nota.* Acompañamiento de la investigación por el Dr. Biólogo. Manuel Barrios.

**Figura 24.** *Insectario de Scolytidae obtenido.*

