



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Unidad Morelia

DIVERSIDAD DE INSECTOS  
DESCORTEZADORES DE PINO (COLEOPTERA:  
CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) EN EL  
BOSQUE DE SANTA CATARINA LACHATAO,  
OAXACA

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

P R E S E N T A

TANIA ALHELÍ CRUZ MEJÍA

DIRECTOR(A) DE TESIS: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

JUNIO, 2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Unidad Morelia

DIVERSIDAD DE INSECTOS  
DESCORTEZADORES DE PINO (COLEOPTERA:  
CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) EN EL  
BOSQUE DE SANTA CATARINA LACHATAO,  
OAXACA

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

P R E S E N T A

TANIA ALHELÍ CRUZ MEJÍA

DIRECTOR(A) DE TESIS: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

JUNIO, 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA  
SECRETARÍA GENERAL  
SERVICIOS ESCOLARES

**MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE**  
DIRECTORA  
DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
**PRESENTE**

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 02** del **Comité Académico** de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia celebrada el día **17 de febrero del 2021**, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional de la alumna **Tania Alhelí Cruz Mejía** de la Licenciatura en **Ciencias Ambientales**, con número de cuenta **416064247**, con el trabajo titulado: **"Diversidad de insectos descortezadores de pino (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca"**, bajo la dirección como **tutora** de la Dra. Ek del Val de Gortari.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

**Presidente:** Dra. Nancy Calderón Cortés  
**Vocal:** Dr. Hernando Alonso Rodríguez Correa  
**Secretario:** Dra. Ek del Val de Gortari  
**Suplente:** Dr. Ignacio Torres García  
**Suplente:** Dra. Cisteil Xinum Pérez Hernández

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Morelia, Michoacán a, 07 de septiembre de 2021.

**DRA. YESENIA ARREDONDO LEÓN**  
SECRETARIA GENERAL

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, a su personal administrativo y docente por la valiosa formación que recibí en la Licenciatura en Ciencias ambientales.

A la Dra. Ek del Val de Gortari por asesorar y apoyar este proyecto.

Al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad y el Laboratorio de Interacciones Bióticas en Hábitats Alterados, por brindar sus instalaciones, recursos y material para realizar este proyecto de tesis.

A la Dra. Nancy Calderón Cortés, al Dr. Hernando Alonso Rodríguez Correa, al Dr. Ignacio Torres García y la Dra. Cisteil Xinum Pérez Hernández por su disposición para leer y enriquecer este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A la comunidad de Santa Catarina Lachatao por aceptar y apoyar este proyecto, por compartir el *corazón sagrado* de la comunidad y del bosque conmigo, me han dado esperanza en la lucha por la conservación de la naturaleza.

A la familia Santiago Hernández: Juan, Vero, Silvia, Diego, Alexa y Paulina por abrirme las puertas de su hogar, por guiarme y enseñarme a leer y vivir el bosque.

A mi mamá Chan, por alimentar y hacer realidad mi sueño universitario. Por el amor, los cuidados, el apoyo y los ánimos durante toda la carrera y mi proceso de tesis, por apoyar mis decisiones y volar conmigo. Gracias por enseñarme de humildad y de trabajo en equipo, sin ti no estaría donde estoy, te amo seño.

A Ek, por creer y confiar en mis capacidades, por tu comprensión y acompañamiento en mis momentos de entusiasmo, pero también de quiebre. Ha sido un maravilloso tenerte como maestra, asesora y amiga, te quiero mucho.

A Gloria, my precious little bitch, por contagiarme tu pasión por las ciencias naturales, me cambiaste la vida con tu fascinación y dedicación a la ciencia. Por figonear y escuchar mis ideas y experiencias, por compartir las tuyas y alimentar mi conocimiento y curiosidad. Por estar a pesar del caos y explosión de la vida. Aunque sea difícil de creer para usted niña, me inspira para ser una mejor persona. Ya-lyublyu.

A mis queridas chiquis, Adi, Sofina, Vivi y Laurait por ser el mejor equipo, aunque no tengamos que hacer equipo. Por encontrar y si es necesario inventar caminos juntas, pero no revueltas, de aquí a la victoria señoras, con erre de recias. Las amarillo.

A Ek, Wendy, Ariana, Frida, Areli, Laura, Vianey, Gloria, Manuel y mi mamá, por acompañarme a campo y tener la disposición de acoplarse a cualquier modificación en la planeación, sin ustedes la carga física y emocional me hubiera derrumbado. Laura, te mereces una mención honorífica por aventarte con tanta serenidad mi caída en la alcantarilla.

A la Bitch, mi pantera pechi-blanco, por tu compañía al alistar el equipaje y material para las salidas a campo y por quedarte conmigo hasta que la mente y cuerpo aguantaran para terminar de escribir la tesis.

A mis hermanos Raúl y Dante, mis abuelitos, tía Mari, Ere y Cuatito por ser la Ohana que nunca me abandona.

*A mi abu y las abuelas que decidieron no aventurarse  
en el mundo de la ciencia por el contexto de sus épocas.*

## RESUMEN

El cambio climático ha impactado en la distribución natural histórica de ciertas especies. En particular algunas poblaciones de animales han aumentado su distribución latitudinal y altitudinal en los bosques de pino, debido a las altas temperaturas que se han experimentado en los últimos años; un ejemplo de esto son las especies de escarabajos del género *Dendroctonus*. En épocas recientes en México se han reportado casos de brotes de escarabajos descortezadores que han ocasionado la mortalidad de cientos de millones de pinos. Esto ha tenido un fuerte impacto en especies con valor forestal para el suministro de madera y para el hábitat de vida silvestre, por lo que esta problemática ha tomado una gran importancia económica y ecológica.

En este contexto, se evaluó la presencia de escarabajos descortezadores en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, con el objetivo de describir la diversidad de escarabajos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) y los factores que la determinan en sitios en donde se ha reportado un incremento en la abundancia de estos. Con esta información se buscó aportar elementos para el manejo forestal de la comunidad. Para llevar a cabo esta investigación se seleccionaron seis sitios en el bosque de Santa Catarina Lachatao en donde se evaluó el estado fitosanitario del bosque, la estructura de las poblaciones de pinos, y la comunidad de insectos. También se evaluaron variables microclimáticas, así como el contexto político y social en torno al manejo forestal, por medio de entrevistas con las personas de la comunidad.

Los resultados muestran que el bosque de Santa Catarina Lachatao se encuentra en buenas condiciones fitosanitarias y que el conocimiento y actividades de la comunidad en torno al bosque, permiten que se mantenga la dinámica propia de este tipo de ecosistema a pesar de haber tenido algunos brotes de escarabajos descortezadores. Se reporta una amplia diversidad de escarabajos del género *Dendroctonus* representada por seis de las siete especies que se distribuyen en Oaxaca (*D. adjunctus*, *D. frontalis*, *D. mexicanus*, *D. approximatus*, *D. parallelocollis* y *D. valens*). Se concluye que, de acuerdo con las abundancias encontradas para las especies de *Dendroctonus* estas no corresponden a los criterios de plaga en las condiciones actuales. Asimismo, dado que no se encontró una relación significativa de la diversidad de estos escarabajos con las variables evaluadas en este estudio, se sugiere considerar otras variables abióticas como precipitación, pendiente, exposición solar, y la abundancia de enemigos naturales de *Dendroctonus* como factores que expliquen la abundancia y diversidad de este grupo de escarabajos descortezadores.

## **ABSTRACT**

Climate change has impacted the historical natural distribution of certain species. Some populations of animals have increased their latitudinal and altitudinal distribution in pine forests due to the high temperatures that have been experienced in recent years; an example of this are the bark beetles of the genus *Dendroctonus*. In recent times in Mexico there have been reports of bark beetle outbreaks that have caused the mortality of hundreds of billions of pines. This has had a strong impact on species with forest value, the supply of wood and wildlife habitat, considering the previous this problem has taken on great economic and ecological importance.

In this context, the presence of bark beetles was evaluated in the forest of Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, with the aim of describing the variation in the diversity of bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) and the factors that determine it in sites in where an increase in the abundance of these insects has been reported. With this information it was sought to contribute elements for the forest management of the community. To carry out this research six sites were selected in the Santa Catarina Lachatao forest where the phytosanitary status of the forest, the structure of the pine populations, as well as the insect community were evaluated. Microclimatic variables and, social and political context of the forest management were also evaluated.

The results show that the Santa Catarina Lachatao forest is in good phytosanitary conditions and that the knowledge and activities of the community around the forest allow the dynamics of this ecosystem to be maintained despite having had some outbreaks of bark beetles. A wide diversity of beetles of the genus *Dendroctonus* is reported, represented by six of the seven species that are distributed in Oaxaca (*D. adjunctus*, *D. frontalis*, *D. mexicanus*, *D. approximatus*, *D. parallelcollis* and *D. valens*). It is concluded that, according to the abundance reported for *Dendroctonus* species, these do not correspond to the pest criteria. Likewise, given that no significant relationship was found between the diversity of these beetles with the variables evaluated in this study. It is suggested to consider other abiotic variables such as precipitation, slope, sun exposure, and the abundance of natural enemies of *Dendroctonus* as factors that explain the abundance and diversity of this group of bark beetles.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Bosques templados en México .....	1
Insectos descortezadores en los bosques templados.....	1
Cambio climático, bosques e insectos descortezadores.....	4
Manejo forestal de insectos descortezadores en Oaxaca .....	5
OBJETIVO GENERAL .....	7
Objetivos particulares.....	7
METODOLOGÍA .....	8
Sitio de estudio.....	8
Evaluación fitosanitaria.....	11
Temperatura y humedad.....	13
Muestreo e identificación taxonómica de insectos descortezadores.....	13
Contexto político y social entorno al manejo forestal y la plaga del escarabajo descortezador...	15
Análisis estadísticos .....	15
RESULTADOS.....	17
Descripción de la vegetación del bosque de Santa Catarina Lachatao.....	17
Cubiertas vegetales del bosque.....	17
Abundancia de pinos .....	18
Variables microclimáticas de los sitios de estudio establecidos en Santa Catarina Lachatao	
.....	19
Temperatura máxima.....	19
Temperatura mínima .....	20
Humedad máxima .....	21
Humedad mínima .....	22
Estado fitosanitario del bosque de Santa Catarina Lachatao.....	23
Abundancia de insectos en los sitios de estudio establecidos en el bosque de Santa Catarina	
Lachatao .....	24
Condiciones ambientales que influyen en la diversidad de escarabajos descortezadores .....	28
Temporalidad y altitud en relación con la abundancia de escarabajos descortezadores.....	28
Variables microclimáticas en relación con la abundancia de escarabajos descortezadores del	
género <i>Dendroctonus</i> .....	29
Contexto político y social en torno al bosque de Santa Catarina Lachatao .....	30
Conflicto por el territorio .....	30
Organización social de Santa Catarina Lachatao .....	31

Plaga del escarabajo descortezador .....	31
Manejo forestal en Santa Catarina Lachatao .....	32
DISCUSIÓN .....	34
Estado de conservación del bosque de Santa Catarina Lachatao .....	34
Diversidad de escarabajos descortezadores en relación con la temperatura y humedad .....	35
Diversidad de escarabajos descortezadores en un gradiente altitudinal .....	36
Diversidad de escarabajos descortezadores y manejo forestal .....	39
CONCLUSIONES .....	42
LITERATURA CITADA.....	43
ANEXOS .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Nombres, altitud y coordenadas de los sitios de muestreo establecidos en Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.....	<b>9</b>
<b>Tabla 2.</b> Análisis de varianza de la abundancia de los diferentes géneros de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) en relación con la temporalidad, la altitud y la interacción entre estos dos. ....	<b>28</b>
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza de la abundancia de las diferentes especies de escarabajos del género Dendroctonus (Curculionidae: Scolytinae) en relación con la temporalidad y la altitud. ....	<b>29</b>
<b>Tabla 4.</b> Análisis de varianza de la abundancia de las diferentes especies de escarabajos del género Dendroctonus en relación con la temperatura (°C) máxima y mínima .....	<b>29</b>
<b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza de la abundancia de las diferentes especies de escarabajos del género Dendroctonus en relación con la humedad (rh%) máxima y mínima. ....	<b>30</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de los sitios de muestreo de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) ubicados en un gradiente altitudinal en el bosque de Santa Catarina Lachatao, visitados en este estudio en el periodo de marzo a agosto de 2019.....	10
<b>Figura 2.</b> Diseño de muestreo para la evaluación fitosanitaria en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca durante el periodo de marzo a agosto de 2019. Se ubicaron dos parcelas de 25m de diámetro a 25m de distancia de trampas Lindgren con orientación norte y sur, en donde se cuantificaron e identificaron las especies de pino presentes. Asimismo, se registró el vigor y DAP de cada pino dentro de la parcela. ....	11
<b>Figura 3.</b> Representación gráfica de las 6 categorías de vigor del arbolado en pinos, donde se observa que en la categoría 1 el árbol se encuentra en perfecto estado, mientras que en la categoría 6 el árbol está muerto. Modificada de Del Río y Mazolebskaya (1999) .....	12
<b>Figura 4.</b> Diseño de muestreo para el establecimiento de trampas Lindgren en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca para la colecta de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) en el periodo de marzo a agosto de 2019. En donde se aprecia que las trampas se colocaron en un gradiente altitudinal .....	14
<b>Figura 5.</b> Cubiertas vegetales de los seis sitios de muestreo de escarabajos descortezadores en Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, durante el periodo de marzo a agosto de 2019.....	17
<b>Figura 6.</b> Riqueza y abundancia de especies de Pinus identificadas en los seis sitios de muestreo establecidos en el bosque de Santa Catarina Lachatao durante el periodo de marzo a agosto de 2019. ....	18
<b>Figura 7.</b> Promedio de temperaturas máximas (°C) registradas durante el periodo de muestreo de marzo a agosto de 2019 en los seis sitios de muestreo en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca .....	19
<b>Figura 8.</b> Promedio de temperaturas mínimas (°C) registradas durante el periodo de muestreo de marzo a agosto de 2019 en los seis sitios de muestreo en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca .....	20
<b>Figura 9.</b> Niveles promedio de humedad máxima (%rh) registrados durante el periodo de muestreo de marzo a agosto de 2019 en los seis sitios de muestreo en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.....	21
<b>Figura 10.</b> Niveles promedio de humedad mínima (%rh) registrados durante el periodo de muestreo de marzo a agosto de 2019 en los seis sitios de muestreo en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.....	22
<b>Figura 11.</b> Vigor del arbolado por categorías en los seis sitios de muestreo seleccionados en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca. Donde 1 representa un árbol en perfecto estado y 6 representa a un árbol muerto. ....	23
<b>Figura 12.</b> Abundancia total de artrópodos durante el periodo de marzo a agosto de 2019 en un gradiente altitudinal del bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.....	25
<b>Figura 13.</b> Abundancia total de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) durante el periodo de marzo a agosto de 2019 en un gradiente altitudinal del bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.....	26
<b>Figura 14.</b> Abundancia total de especies de Dendroctonus (Curculionidae: Scolytinae) durante el periodo de marzo a agosto de 2019 en un gradiente altitudinal del bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.....	27
<b>Figura 15.</b> Análisis de Componente Principales (PCA) que muestra en un gradiente de colores los tipos de manejo más practicados en el gradiente altitudinal de este estudio; aquellos con colores cálidos son los más practicados (sobre el 15), mientras que la que tienen colores fríos son los menos practicados (debajo del 15).....	33

## **INTRODUCCIÓN**

### **Bosques templados en México**

Los bosques templados tienen una gran importancia ecológica y económica, debido a los beneficios que estos ecosistemas proveen en términos de la protección de los suelos, la regulación hídrica, la provisión de agua limpia, la mitigación de daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos, el hábitat de vida silvestre y conectividad biológica, hasta la preservación de áreas para recreación, así como valores rituales y de paisaje (Challenger, 2003; Challenger & Soberon, 2008; Díaz *et al.*, 2015). Asimismo, estos bosques son depósitos de carbono, por lo que juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático (Challenger & Soberon, 2008; Chapela & Merino, 2019).

En los bosques templados, la vegetación predominante son plantas pertenecientes al grupo de las coníferas (Gernandt & Pérez-de la Rosa, 2014). En los bosques de México, las coníferas que predominan pertenecen al género *Pinus* L.; y nuestro país se considera un centro de diversificación, con alrededor de 50% del total de especies conocidas de este género, por ello es común que sean llamados bosques de pino (Challenger 2003; Koleff *et al.* 2004; Challenger & Soberón, 2008). Los bosques templados mexicanos son relevantes en términos mundiales por la alta biodiversidad que albergan, así como por la experiencia de manejo forestal mediante esquemas comunitarios (Chapela & Merino, 2019).

En México los bosques de pino se encuentran en su mayoría, aunque no exclusivamente, en las zonas montañosas a lo largo de las sierras Madre Occidental, Madre Oriental, del Sur y del Sur de Chiapas, el Eje Neovolcánico, la Sierra Norte de Oaxaca y los Altos de Chiapas (Challenger, 2003; Challenger & Soberón, 2008). Los bosques de pino son los de mayor distribución entre los distintos tipos de bosques de coníferas en el país; cubren hoy alrededor de 75% de su distribución potencial, estimada en poco más de 10 millones de hectáreas, aunque los bosques bien preservados cubren solo 5.2 millones de hectáreas en el país (INEGI, 2005; INEGI-CONABIO-INE, 2007).

### **Insectos descortezadores en los bosques templados**

Los insectos descortezadores en los que se enfoca este trabajo se centran únicamente al orden Coleoptera, particularmente a la subfamilia Scolytinae de la familia Curculionidae, la cual contiene alrededor de 6000 especies en el mundo, agrupadas en 250 géneros

aproximadamente (Wood, 1982). En México se encuentran 870 especies distribuidas en 87 géneros, además de la descripción de nuevas especies en proceso (Atkinson, 2013).

Las especies de esta subfamilia se caracterizan por tener larvas endófitas que se alimentan de una amplia variedad de sustratos, tales como la corteza interna de los árboles, pequeños tallos, floema o peciolos de hojas caídas (Knizek & Beaver, 2007). Estos escarabajos, en su forma adulta cavan un túnel en la corteza de los árboles para ovipositar por debajo de ella, en algunas especies solo la hembra cava y en otras el macho ayuda. Dentro del árbol, después del apareamiento, las hembras se encargan de hacer un túnel vertical para ovipositar los huevos. Cuando las larvas emergen y se alimentan, cavan túneles longitudinales alejándose del túnel parental, creando galerías a su paso dentro de la corteza del árbol. Las larvas comen hasta tener la talla adecuada para llevar a cabo su metamorfosis, después salen del árbol, ya como adultos, y completan su ciclo de vida (Wood, 1982). El tiempo del ciclo de vida de cada una de las especies varía, se estima que dura alrededor de 90 días y pueden llegar a tener de una a siete generaciones al año. Sin embargo, aún hay vacíos de información en este aspecto para algunas especies (Cibrián & Romero, 1994; Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018).

La función ecológica de este grupo de escolítidos se asocia al ciclo de nutrientes y la dinámica y renovación de las comunidades vegetales, debido a que, por efecto de su actividad los escolítidos eliminan algunos árboles adultos o dañados y abren espacio en el dosel que permite la entrada de luz, lo que propicia la emergencia y crecimiento de otras plantas demandantes de luz. Además, los escolítidos contribuyen a la descomposición de la celulosa presente en la madera que es uno de los compuestos de más difícil degradación en la naturaleza, de esta forma se mantiene un estado saludable y productivo en el bosque (Raffa, *et al.*, 2008; Equihua-Martínez *et al.*, 2011; Durán & Poloni, 2014).

Aunque la mayoría de las especies de estos escarabajos se reproducen y alimentan de tejidos vegetales dañados o muertos (Wood, 1982; Knizek & Beaver, 2007), existe un pequeño porcentaje de especies (<1%) que son consideradas una amenaza debido a su capacidad de colonizar y matar árboles, plántulas y semillas vivas en comunidades naturales o cultivos de manera recurrente. Estas especies pertenecen a los géneros: *Conophorus* Hopkins, *Dendroctonus* Erichson, *Hypothenemus* Westwood, *Ips* De Geer, *Scolytus* Geoffroy y *Tomicus* Latreille (Raffa *et al.*, 2008).

En México, menos de 20 de especies de escarabajos descortezadores causan una alta mortalidad de coníferas y la mayoría se concentran en el género *Dendroctonus*, aunque también incluyen algunas especies del género *Ips* (Cibrián-Tovar *et al.*, 1995; Fonseca *et al.*, 2008; Salinas *et al.*, 2010). En particular las especies pertenecientes al género *Dendroctonus* habitan en los bosques templados de México y algunas de ellas se comportan como plagas de pinos (~12 especies: *Dendroctonus adjunctus* Blandford, *D. approximatus* Dietz, *D. brevicomis* LeConte, *D. frontalis* Zimmermann, *D. jeffreyi* Hopkins, *D. mexicanus* Hopkins, *D. parallelcollis* Chapuis, *D. ponderosae* Hopkins, *D. pseudotsugae* Furnnis, *D. rhizophagus* Thomas y Bright, *D. valens* LeConte y *D. vitei* Wood; Fig. X) (Durán & Poloni, 2014; Vega & Hofstetter, 2015). El comportamiento de colonización de estos escarabajos se considera agresivo cuando atacan árboles sanos; o inocuo, que se refiere a cuando colonizan a sus hospedantes cuando están debilitados o muertos (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013; Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018). Particularmente en el estado de Oaxaca, que es un centro de diversificación de pinos en el país, se reportan siete especies de escarabajos del género *Dendroctonus*, por lo que algunas zonas de este estado presentan un alto riesgo de brotes de escarabajos descortezadores lo que significa una amenaza potencial para sus bosques (Farjon, 1996; Cibrián *et al.*, 1995; Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Durán & Poloni, 2014).

Los pinos tienen defensas para repeler los ataques de dichos escarabajos mediante la secreción de resinas. El árbol, al ser perforado por un insecto, libera un torrente de resina impidiéndoles a los escarabajos penetrar a sus tejidos. Esta es la primera evidencia externa de que un árbol ha sido atacado por descortezadores; la resina se presenta en forma de grumos que toman una coloración cremosa o rojiza. Además, las poblaciones de descortezadores son reguladas por sus depredadores -e.g. coleópteros de los géneros *Leptacinus* Erichson, *Elacatis* Pascoe, *Temnochila* Erichson, *Enoclerus* Gahan, *Cymindis* Ashmed- y por el clima, ya que son muy sensibles a los cambios de temperatura y humedad y otros controles biológicos. Sin embargo, si el árbol está debilitado produce menos resina o deja de producirla, y al reducirse ésta en el xilema los insectos penetran y acceden fácilmente al floema, ocasionando la muerte del pino (Cibrián *et al.*, 1995; Raffa *et al.*, 2008; Dukes *et al.*, 2009; Gaylord *et al.*, 2015).

## **Cambio climático, bosques e insectos descortezadores**

El cambio climático ha incidido sobre algunas poblaciones de animales y les ha permitido aumentar su rango de distribución latitudinal y altitudinal en los bosques templados. En particular, las altas temperaturas que se han experimentado en los últimos años han favorecido a las especies del género *Dendroctonus* (Cudmore *et al.*, 2010; FAO, 2010; Marini *et al.*, 2012). Como se mencionó antes, dentro de este grupo se encuentra la mayoría de las especies de escarabajos descortezadores que provocan altas tasas de mortalidad en los bosques de coníferas, ocasionando la pérdida de cientos de millones de pinos en áreas extensas, generando un fuerte impacto en especies que tienen valor forestal, por lo que su estudio ha tomado gran importancia económica y ecológica (Safranyik *et al.*, 2010; Vega & Hofstetter, 2015). Específicamente, en Norteamérica se están experimentando daños severos en lugares donde estos escarabajos anteriormente eran escasos o incluso inexistentes (Creeden *et al.*, 2014; Weed *et al.*, 2013). En México, se han reportado casos en los que brotes recientes de escarabajos descortezadores han ocasionado grandes pérdidas en los bosques de coníferas (CONAFOR, 2014).

Las plagas forestales de insectos son una amenaza constante en los bosques mexicanos (Salinas *et al.*, 2010). En México, entre los años de 1990 al 2014 sobresale el daño por descortezadores del género *Dendroctonus*, que tuvieron un impacto en 474 mil ha; por su agresividad destacan *D. frontalis*, *D. mexicanus*, *D. adjunctus* y *D. rhizophagus* (Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018; Salinas *et al.*, 2010; Sosa Díaz *et al.*, 2018). Particularmente, en el estado de Oaxaca alrededor de 6, 300 ha de bosque fueron afectadas en el periodo del 2004 al 2009 por descortezadores; las especies que se registraron fueron *D. adjunctus*, *D. mexicanus* y *D. frontalis*, y se calcula que el volumen aproximado de madera afectada fue de 957,400 m<sup>3</sup> (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013).

Por otro lado, las recurrentes interrupciones climáticas también tienen efectos directos en los pinos, ya que el aumento de temperatura induce estrés fisiológico en estos árboles, lo que limita su capacidad de defensa, al tiempo que favorecen los brotes de algunas especies de descortezadores (Weed *et al.*, 2013; Dukes *et al.*, 2009; Boyd *et al.*, 2013). Aunado a esto, la precipitación anual e índice de infiltración disminuyeron considerablemente en los bosques de Oaxaca como consecuencia del cambio climático, lo que ocasiona incendios forestales con mayor frecuencia, disminución de la cubierta forestal y proliferación del escarabajo descortezador (Rivera-Jiménez *et al.*, 2019).

## **Manejo forestal de insectos descortezadores en Oaxaca**

Cuando una zona forestal es afectada por insectos descortezadores, es importante atenderla inmediatamente, de lo contrario podría escalar y causar mortalidad en áreas extensas y su recuperación podría tardar cientos de años (Sánchez-Martínez *et al.*, 2007; Raffa *et al.*, 2008; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013). Aunque el impacto de estos pequeños insectos represente un gran riesgo para las zonas forestales, no se recomienda eliminarlos del bosque, pero es necesario mantener bajo control su potencial de contagio. A pesar de la información sobre el manejo de *Dendroctonus* y los avances tecnológicos para monitorear a las plagas, la vía más exitosa para su control sigue siendo la remoción mecánica de los árboles infestados (Cibrián *et al.*, 1995; Cibrián *et al.*, 2015; Castellano-Bolaños *et al.*, 2013; Durán & Poloni, 2014).

Resumidamente, para la detección de escolítidos el primer paso es que una comunidad o ejido forestal determine su presencia en los pinos mediante recorridos en campo. Posteriormente, con base en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (DOF, 2020), su reglamento y en la NORMA Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2017, que establece los lineamientos técnicos para el combate y control de los insectos descortezadores de las coníferas (DOF, 2018), se da aviso al técnico forestal designado por la CONAFOR, para que realice un diagnóstico fitosanitario, mediante el cual se registran las especies y características del arbolado infestado y no infestado. Se identifica al escarabajo descortezador y con base en ello se obtiene un índice de peligrosidad de la plaga. Enseguida, es necesario elaborar un estudio técnico justificativo para informar sobre la problemática ante la SEMARNAT. Se hace cumplimiento a la notificación mediante las actividades de combate y se efectúa la evaluación de impactos ambientales. Se realiza un informe final para la SEMARNAT sobre la situación del bosque después del saneamiento y finalmente, se identifican y atienden áreas de los brotes saneadas que requieran ser restauradas.

El procedimiento para implementar el saneamiento puede demorarse bastante, por lo que desde el momento en que se detecta una plaga hasta que se realizan las acciones de este, pueden ocurrir muchas cosas si se considera el corto ciclo de vida de estos insectos. Los aspectos técnicos y económicos son importantes para el control oportuno de esta plaga, sin embargo, los aspectos sociales, sobre todo el organizativo, pueden ser los más

limitantes, por lo que entender la dimensión social es fundamental para la sanidad de los bosques (Boyd *et al.* 2013; Weed *et al.*, 2013; Durán & Polini, 2014).

El 85% de los bosques oaxaqueños está en tierras de propiedad social (Bray, 2013), por ello el saneamiento forestal debe considerar los aspectos socioculturales y los arreglos sociales e institucionales, relacionados con el manejo de los bosques de la gente que vive y depende de ellos y que se involucra en los saneamientos forestales, así como de otros actores que median en la implementación de políticas públicas e influyen en su manejo. Los sólidos esquemas de gobernanza local que hay en el Estado, han permitido generar experiencias emblemáticas de manejo, aprovechamiento comercial de madera y conservación en los bosques comunitarios (Bray *et al.*, 2012; Gasca-Zamora, 2014.)

En Oaxaca, los sistemas de usos y costumbres regulan en gran medida las acciones de gobernabilidad y participación ciudadana a nivel local. Es decir, las comunidades asumen su autonomía para ejercer el control de sus procesos de desarrollo y gestión de los recursos naturales (Mathus-Alonso *et al.*, 2010; Bray *et al.*, 2013). En la última década, en las comunidades y ejidos forestales se ha realizado el control de plagas forestales bajo esquemas donde se considera la confluencia de distintos actores interesados en resolver dicha problemática. Los actores externos tienen que sumar esfuerzos con las comunidades y ejidos forestales, estos pueden provenir de distintos ámbitos de interés (local, gubernamental, académico, conservacionista). Sus aportaciones pueden ser mediante capacitaciones, investigaciones, difusión de información y cualquier actividad que la comunidad considere que ayuda a fortalecer sus capacidades para mantener sus bosques saludables (Mathus-Alonso *et al.*, 2010; Gasca-Zamora, 2014; Durán & Polini, 2014).

Considerando lo anterior, para este proyecto se eligió estudiar la diversidad de escarabajos descortezadores únicamente del género *Dendroctonus* por ser este donde se encuentran las especies de mayor importancia en cuanto a plagas forestales (Durán & Polini, 2014; Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018). Se eligió estudiar su diversidad en un gradiente altitudinal, debido a que estos modelos de estudio permiten estimar los efectos que el cambio climático pueda tener sobre la distribución y abundancia de especies a futuro (Zacarías-Eslava & Castillo, 2010; Sáenz *et al.*, 2010). Asimismo, se propuso como sitio de estudio el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca pues pertenece a los tres principales municipios con afección más importante por ataques de *Dendroctonus* registrada durante el periodo del 2004 al 2009 (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013).

## **OBJETIVO GENERAL**

Describir y evaluar la diversidad de escarabajos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae; Scolytinae), su relación con los factores climáticos de temperatura y humedad, así como la altitud y manejo forestal que determinan su abundancia en el bosque templado de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca

## **Objetivos particulares**

1. Evaluar si el estado fitosanitario del bosque, así como la temperatura y humedad de Santa Catarina Lachatao influyen en la abundancia de insectos descortezadores del género *Dendroctonus*.
2. Evaluar si la temporalidad y altitud del bosque de Santa Catarina Lachatao influyen en la abundancia de insectos descortezadores del género *Dendroctonus*.
3. Evaluar si el contexto político y social en torno manejo forestal de Santa Catarina Lachatao influye en la abundancia de insectos descortezadores del género *Dendroctonus*.

## METODOLOGÍA

### Sitio de estudio

El sistema de muestreo se estableció en la comunidad de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, México (SCL), la cual se encuentra entre los paralelos 17°05' y 17°17' de latitud norte; los meridianos 96°27' y 96°33' de longitud oeste en un gradiente altitudinal de 1800 y 3200 msnm, con una superficie de 276.85 km<sup>2</sup>. Pertenece al distrito de Ixtlán de Juárez, colinda al norte con los municipios de Santa Catarina Ixtepeji, San Juan Chicomezúchil y San Miguel Amatlán; al este con el municipio de San Miguel Amatlán; al sur con los municipios de Villa Díaz Ordaz, Teotitlán del Valle y Tlaxiactac de Cabrera; al oeste con los municipios de Tlaxiactac de Cabrera y Santa Catarina Ixtepeji (INEGI, 2020).

La temperatura media promedio en la región oscila entre los 10°C y los 20°C, con un rango de precipitación total anual de 800 a 1200 mm. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, semicálido subhúmedo con lluvias en verano y templado húmedo con abundantes lluvias en verano (INEGI, 2010; Fernández *et al.*, 2013). La cubierta de la comunidad es bosque templado, el cual se compone de asociaciones mixtas de pino-encino y encino-pino. Algunas de las especies del género *Pinus* que pueden encontrarse en esta región son *Pinus ayacahuite* Ehrenb. Ex Schltdl, *P. douglasiana* Martínez, *P. hartwegii* Lindl., *P. lawsonii* Roehl ex Schltdl. Y Cham., *P. maximinoi* H.E. Moore, *P. patula* Schiede ex Schltdl. Y Cham., *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. teocote* Schied. Ex Schltdl. Y Cham. (Bello Cervantes, 2015).

La tenencia de la tierra es comunal y habitan 183 personas (80 hombres y 103 mujeres) (INEGI, 2020). Su sistema de gobierno es por usos y costumbres y se busca agenciar un espacio territorial para garantizar su modo de vida comunitario (Rojas-Serrano & Martínez-Corona, 2017). La principal actividad económica se ubica en el sector primario (INEGI, 2020), además se emprendió un proyecto ecoturístico, subsidiado y apoyado por el Estado, del cual se ha apropiado la comunidad y se ha posicionado como parte fundamental del desarrollo local (Rojas-Serrano & Martínez-Corona, 2017).

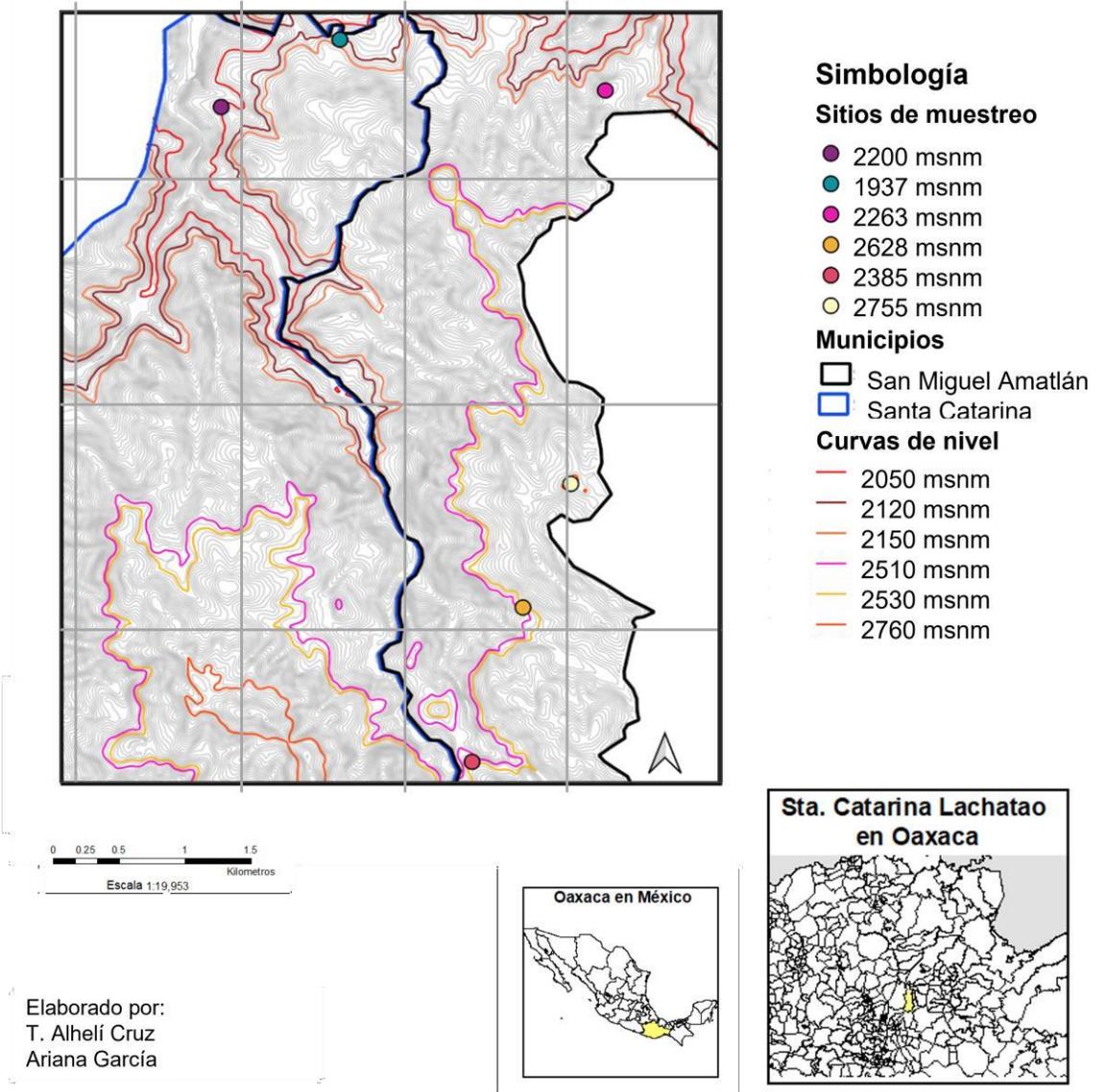
Para la realización del presente estudio se seleccionaron seis sitios, los cuales se encontraban en un gradiente altitudinal y fueron identificados por las personas de la comunidad de SCL como sitios en los que podría haber mayor incidencia de escarabajos descortezadores. Para esto, se realizó un recorrido con el encargado comunal del bosque de

SCL, quien representó a la comunidad para la selección de estos sitios, de los cuales se registró la altitud (msnm), las coordenadas UTM con GPS (Datum WGS 84) y el nombre por el que son conocidos en la comunidad. En la delimitación oficial ante INEGI algunos de los sitios se ubican en el municipio de San Miguel Amatlán, sin embargo, todos los sitios en el área de estudio están bajo el cuidado y supervisión de SCL (Tabla 1, Fig. 1).

**Tabla 1.** Nombres, altitud y coordenadas de los sitios de muestreo establecidos en Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.

<b>Nombre</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Coordenadas</b>
El llano	1937	N 17° 16.112' W 96° 28.641'
Sin nombre	2200	N 17° 15.716' W 96° 29.318'
Yalahui	2263	N 17° 15.813' W 96° 27.127'
Cuatro caminos	2385	N 17° 11.862' W 96° 27.887'
Loma de ocote	2628	N 17° 12.77' W 96° 27.597'
Lodiu	2755	N 17° 13.498' W 96° 27.324'

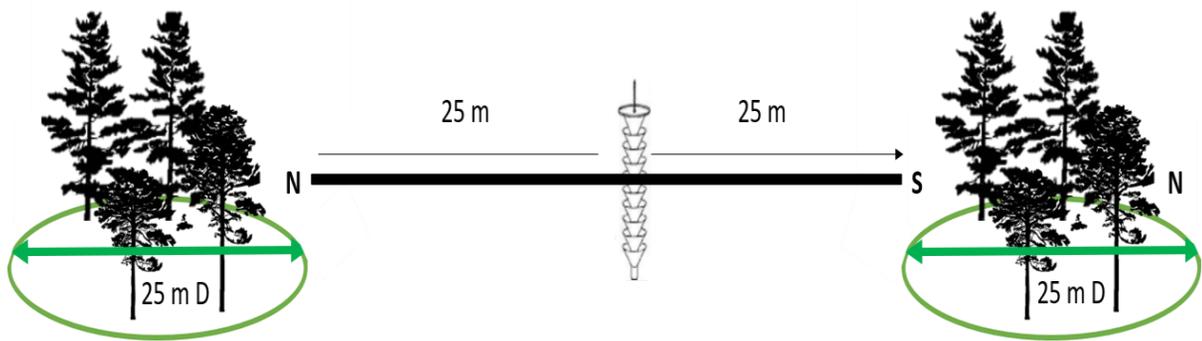
## Gradiente altitudinal de los sitios de muestreo



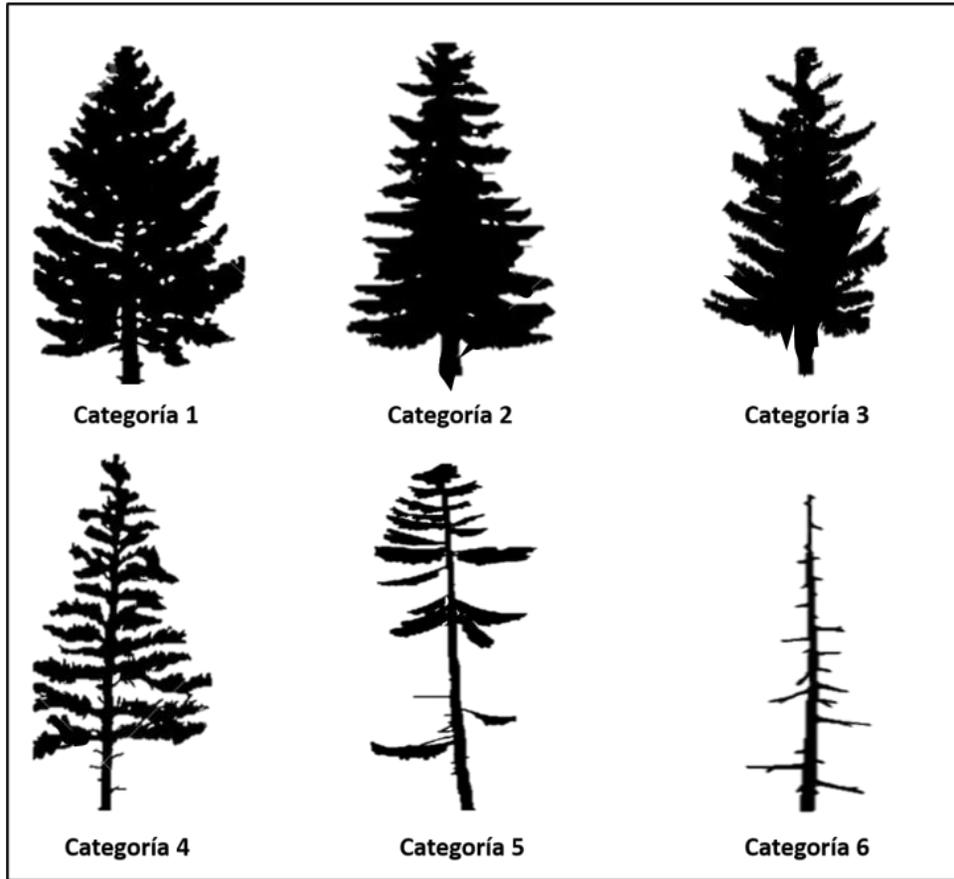
**Figura 1.** Mapa de los sitios de muestreo de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) ubicados en un gradiente altitudinal en el bosque de Santa Catarina Lachatao, visitados en este estudio en el periodo de marzo a agosto de 2019.

## Evaluación fitosanitaria

Para evaluar el estado fitosanitario de las especies de pino del bosque se empleó la metodología propuesta por las Naciones Unidas y la Comisión de la Unión Europea (1993). El diseño consistió en marcar para cada uno de los seis sitios de muestreo, dos parcelas circulares de 25 m<sup>2</sup> cada una a 25 m de distancia de trampas Lindgren de 12 unidades (Anexo 1), con orientación Norte y Sur (Fig. 2). Dentro de cada parcela se contaron e identificaron a nivel especie los individuos de pino presentes, el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el vigor de los pinos. El vigor de los pinos se calculó en una escala del 1 al 6, en donde el valor 1 significa que el árbol está en perfecto estado y el 6 es indicador de un árbol muerto (Fig. 3). También se registró si el pino tenía muestras de ataque por insectos descortezadores en el momento de la evaluación (p. ej. grumos de resina sobre la corteza, Anexo 2), o si presentaba marcas de haber sufrido un ataque anterior (p. ej. orificios con aserrín o galerías en la corteza sin escarabajos, Anexo 3). En cada sitio, se hizo también una caracterización de la vegetación predominante, para lo cual se consultaron mapas de vegetación del INEGI-CONABIO (2016) y la información se corroboró en campo.



**Figura 2.** Diseño de muestreo para la evaluación fitosanitaria en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca durante el periodo de marzo a agosto de 2019. Se ubicaron dos parcelas de 25m de diámetro a 25m de distancia de trampas Lindgren con orientación norte y sur, en donde se cuantificaron e identificaron las especies de pino presentes. Asimismo, se registró el vigor y DAP de cada pino dentro de la parcela.



**Figura 3.** Representación gráfica de las 6 categorías de vigor del arbolado en pinos, donde se observa que en la categoría 1 el árbol se encuentra en perfecto estado, mientras que en la categoría 6 el árbol está muerto.

Modificada de Del Río y Mazolebskaya (1999).

Se calculó Índice de Calidad (IC) del bosque, con las fórmulas propuestas por Del Río y Petrovitch (2011):

$$Q_i = Q_1/Q$$

Donde:

$Q_1$  = es la suma de los diámetros a la altura del pecho en cada una de las categorías

$Q = 10$ , es una constante que toma en cuenta la distribución de árboles por categorías de  $n$  unidades y en total representan 10 unidades.

Para conocer el índice medio de vigor se aplica la siguiente fórmula:

$$Fd = Q_1F_1 + Q_2F_2 + Q_3F_3 + Q_nF_n$$

Donde:

$F_d$  = Índice de vigor

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_n$  = suma de los diámetros para las distintas categorías de los árboles.

$F_1, F_2, F_3, F_n$  = es el índice de vigor del arbolado de categoría sanitaria, según la categoría de vigor que tengan se les asigna una unidad: categoría 1:  $F=1$ ; categoría 2:  $F=0.8$ ; categoría 3:  $F=0.6$  y categoría 4:  $F=0.2$ . No se toma en cuenta la categoría 5 y 6 porque tienen unidad de cero.

Finalmente, para calcular el IC se realizó la siguiente fórmula:

$$IC = F_d D$$

Donde:

IC = Índice de calidad

$F_d$  = Índice medio de vigor

$D$  = Índice de densidad del rodal, para esto se toma en cuenta el DAP de los árboles, siendo  $D = 0.55$  (DAP entre 15 a 35 cm),  $D = 0.8$  (DAP entre 36 a 55 cm) y  $D = 1$  (DAP entre 56 a 80 cm).

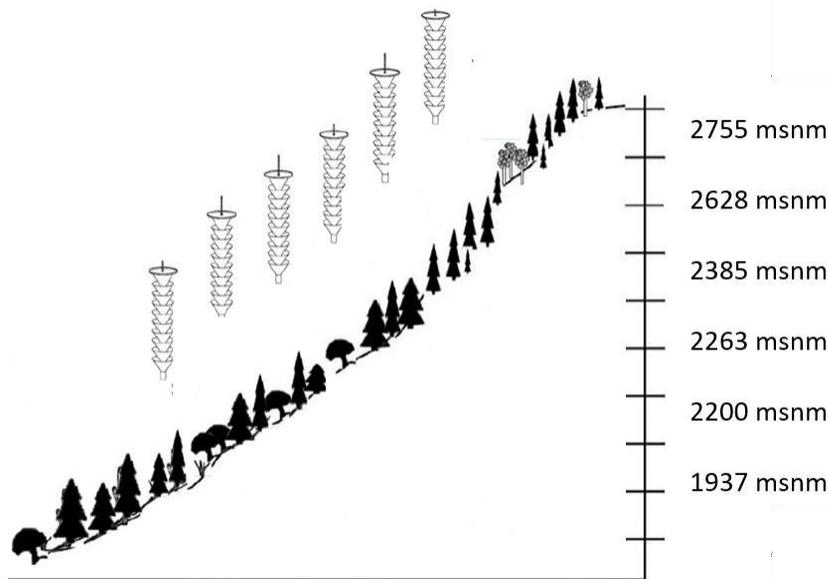
### **Temperatura y humedad**

Se registró la temperatura (°C) y humedad (%rh) de cada uno de los seis sitios de muestreo establecidos en el bosque de SCL, mediante un dispositivo EL-USB-2 de EasyLog® Data Logger, el cual se colocó en una estaca que sostenía una trampa Lindgren. Este dispositivo, se programó para que tomara lectura cada hora durante el periodo de marzo a agosto de 2019.

### **Muestreo e identificación taxonómica de insectos descortezadores**

Para el muestreo de las comunidades de escarabajos descortezadores se siguió la metodología empleada por Rubin Aguirre *et al.* (2015). En cada uno de los sitios seleccionados, se colocaron trampas Lindgren de 12 unidades sobre una estaca de metal de 2 metros de altura, en claros del bosque en donde el pino más cercano estuviera mínimo a diez metros de distancia de la trampa, para evitar la invasión a pinos cercanos. Las trampas se ubicaron en localidades con una diferencia aproximada de 200 m entre sí. En cada trampa se agregó frontalina (feromona) + alfa/beta-pineno (kairomona) como atrayentes de escarabajos descortezadores, específicamente para atraer a las especies del género

*Dendroctonus* (Macías Sámano & Niño Domínguez, 2016; Fig. 4) con la intención de no capturar otro tipo de artrópodos. En el fondo de cada trampa se colocó un contenedor con anticongelante diluido al 50% con agua, con la finalidad de preservar los insectos capturados. Los insectos se recolectaron cada tres semanas de marzo a agosto de 2019, estos se preservaron en alcohol al 70% para su identificación en el laboratorio. Los ejemplares colectados serán donados a la colección entomológica del Instituto de Biología de la UNAM.



**Figura 4.** Diseño de muestreo para el establecimiento de trampas Lindgren en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca para la colecta de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) en el periodo de marzo a agosto de 2019. En donde se aprecia que las trampas se colocaron en un gradiente altitudinal.

Para determinar la identidad taxonómica de todos los artrópodos colectados, se identificaron y cuantificaron a nivel de orden a los insectos y artrópodos colectados. Del orden Coleoptera se identificaron y cuantificaron los escarabajos pertenecientes a géneros de descortezadores, y los escarabajos del género *Dendroctonus* se identificaron y cuantificaron a nivel de especie. Se utilizaron las claves de la “Guía ilustrada para identificar a las especies del género *Dendroctonus* presentes en México y Centroamérica”

(Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018) y “The Bark Ambrosia Beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae): a taxonomic monograph” (Wood, 1982).

### **Contexto político y social entorno al manejo forestal y la plaga del escarabajo descortezador**

Con la finalidad de conocer el contexto político y social en torno al manejo del bosque, así como las medidas que se han tomado en cuanto a la plaga por descortezador en los sitios estudiados, se realizaron 15 entrevistas semiestructuradas (Anexo 4). Entre las personas entrevistadas se encontraba el encargado comunal del bosque, representantes comunales vigentes durante el periodo de muestreo de marzo a agosto de 2019, autoridades anteriores, guías turísticos y personas que realizan alguna actividad en el bosque. Los nombres de las personas entrevistadas se mantendrán en anonimato, pues solicitaron salvaguardar su identidad.

La información obtenida de las entrevistas se clasificó en cuatro categorías: 1) Conflicto por el territorio, 2) Organización social, 3) Plaga del escarabajo descortezador y 4) Manejo forestal.

### **Análisis estadísticos**

Para determinar si el vigor de los pinos estaba relacionado con la altitud se realizó una prueba de  $X^2$  para comparar las categorías de vigor entre los sitios estudiados. De igual forma, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) con la finalidad de categorizar los tipos de manejo y observar si se agrupaban en el gradiente altitudinal de este estudio, los factores que se utilizaron para realizar el PCA fue el tipo de manejo identificado en cada uno de los sitios seleccionados y su altitud. Para observar si los tipos de manejo forestal influían en la abundancia de escarabajos descortezadores a nivel de especie, se realizó un análisis de regresión lineal con las dos primeras dimensiones del PCA. Se hizo un análisis de regresión lineal entre los valores del IC en relación con la altitud y otro en relación con la abundancia de *Dendroctonus* spp, con la finalidad de observar si había una relación significativa entre estas variables. De forma complementaria, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para determinar la relación entre la abundancia de insectos a nivel género y especie de escarabajos descortezadores del género *Dendroctonus*, en relación con el mes, la altitud, la temperatura (máxima y mínima) y la

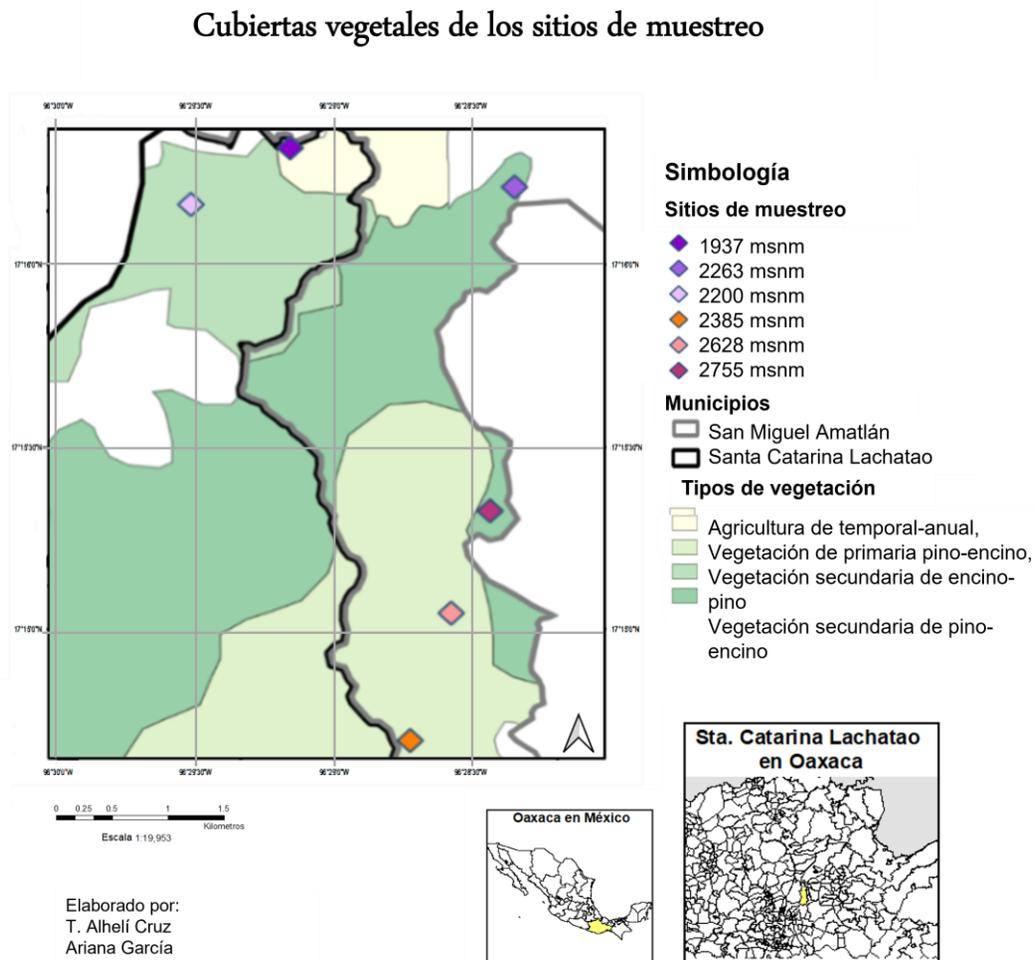
humedad (máxima y mínima). Para el caso de la abundancia de insectos en todos los niveles, se realizó una transformación logarítmica para cumplir con los supuestos del análisis de varianza. Todos los análisis se realizaron en el programa R 4.0.3 (R CoreTeam, 2020).

## RESULTADOS

### Descripción de la vegetación del bosque de Santa Catarina Lachatao

#### Cubiertas vegetales del bosque

En los sitios de muestreo seleccionados en el bosque templado de SCL se identificaron cuatro tipos de cubiertas vegetales: 1) agricultura de temporal-anual a los 1937 msnm; 2) vegetación primaria de pino-encino a los 2385 y 2628 msnm; 3) vegetación secundaria de encino-pino a los 1937 y 2200 msnm; y 4) vegetación secundaria de pino-encino a los 2263 msnm (Fig. 5).

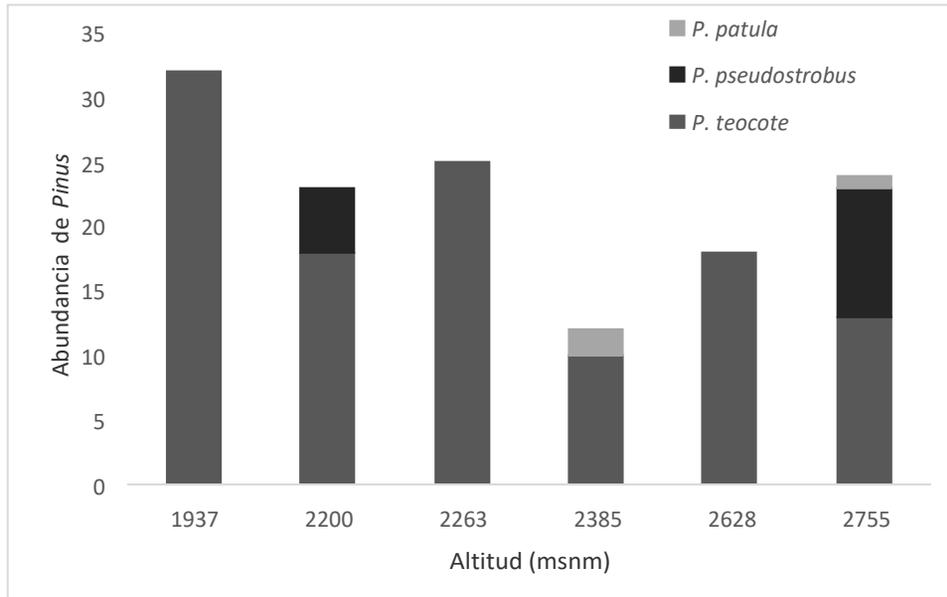


**Figura 5.** Cubiertas vegetales de los seis sitios de muestreo de escarabajos descortezadores en Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, durante el periodo de marzo a agosto de 2019.

### Abundancia de pinos

Las especies de árboles que se cuantificaron e identificaron fueron del género *Pinus*. La mayor abundancia de individuos se encontró a los 1937 msnm ( $n = 32$ ), la cual disminuyó a los 2200 msnm ( $n = 23$ ), en los 2263 msnm ( $n = 25$ ) y en los 2755 msnm ( $n = 24$ ). Los dos sitios con menor abundancia fueron a los 2385 msnm ( $n = 12$ ) y a los 2628 msnm ( $n = 18$ ).

Se identificaron 3 especies del género *Pinus*: *P. teocote*, *P. pseudostrobus* y *P. patula*. El sitio con mayor riqueza de especies fue a los 2755 msnm, en donde se encontraron las tres especies de *Pinus*. A los 2200 msnm se encontraron dos especies (*P. teocote* y *P. pseudostrobus*), al igual que a los 2385 msnm (*P. teocote* y *P. patula*); A los 1937, 2263 y 2628 msnm solo se identificó una especie (*P. teocote*) (Fig. 6).

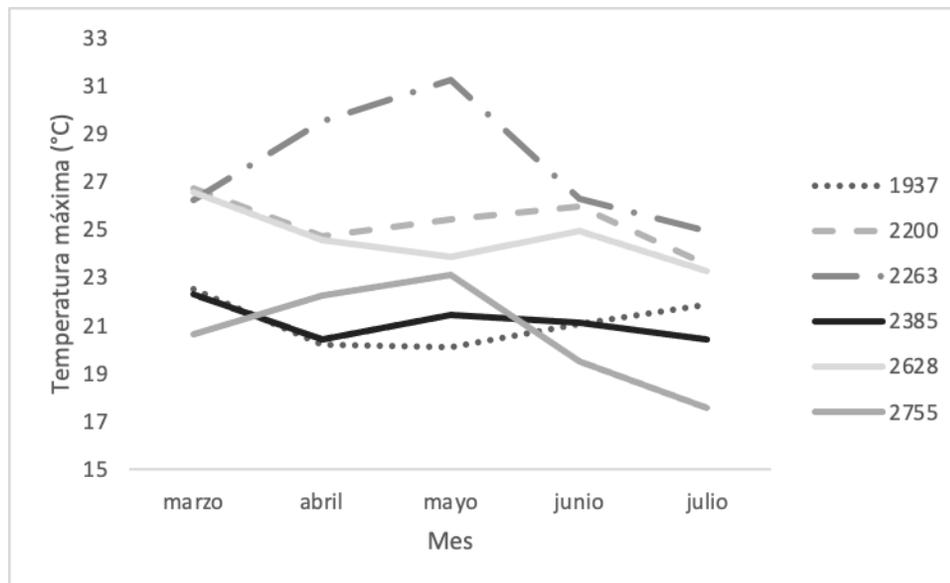


**Figura 6.** Riqueza y abundancia de especies de *Pinus* identificadas en los seis sitios de muestreo establecidos en el bosque de Santa Catarina Lachatao durante el periodo de marzo a agosto de 2019.

## VARIABLES MICROCLIMÁTICAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO ESTABLECIDOS EN SANTA CATARINA LACHATAO

### Temperatura máxima

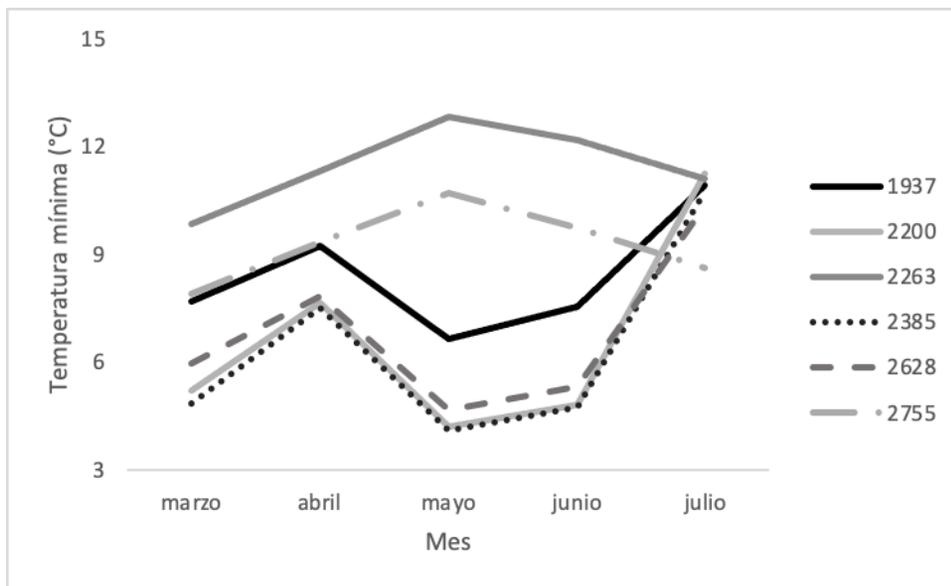
En el sitio ubicado a los 1937 msnm la temperatura más alta fue de 22.5°C en marzo, y la más baja de 20°C registrada en mayo. A los 2200 msnm la temperatura más alta fue de 26.7°C registrada en marzo, y la más baja fue de 23.5°C en julio. A los 2263 la temperatura más alta fue de 31.2°C registrada en mayo, y la más baja fue de 24.9°C en julio. A los 2385 msnm la temperatura más alta se registró en marzo y fue de 22.3°C y la más baja fue de 20.4°C registrada en abril. A los 2628 msnm la temperatura más alta fue de 26.5°C registrada en marzo, y la más baja fue de 23.2°C en julio. A los 2755 msnm la temperatura más alta fue de 23.1°C registrada en mayo y la más baja fue de 17.5°C en julio (Fig. 7).



**Figura 7.** Promedio de temperaturas máximas (°C) registradas durante el periodo de muestreo de marzo a agosto de 2019 en los seis sitios de muestreo en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.

### Temperatura mínima

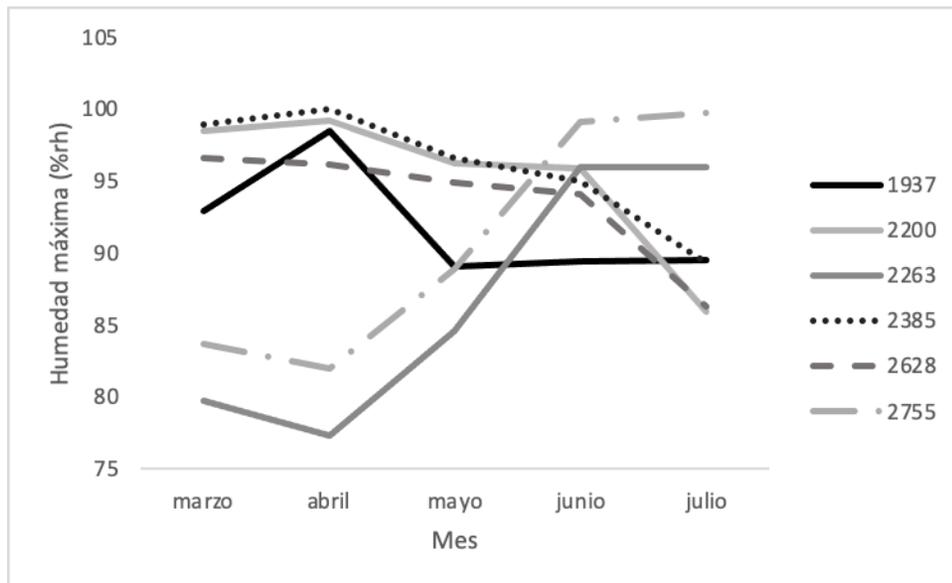
En el sitio ubicado a los 1937 msnm la temperatura más alta fue de 10.9°C en julio, y la más baja de 6.6°C registrada en mayo. A los 2200 msnm la temperatura más alta fue de 11.2°C registrada en julio, y la más baja fue de 4.2°C en mayo. A los 2263 la temperatura más alta fue de 12.8°C registrada en mayo, y la más baja fue de 9.8°C en marzo. A los 2385 msnm la temperatura más alta fue de 10.7°C en julio y la más baja fue de 4.1°C en mayo. A los 2628 msnm la temperatura más alta fue de 10.3 °C registrada en julio, y la más baja fue de 4.6°C en mayo. A los 2755 msnm la temperatura más alta fue de 10.7°C registrada en mayo y la más baja fue de 7.8°C en marzo (Fig. 8).



**Figura 8.** Promedio de temperaturas mínimas (°C) registradas durante el periodo de muestreo de marzo a agosto de 2019 en los seis sitios de muestreo en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.

### Humedad máxima

En el sitio ubicado a los 1937 msnm el porcentaje de humedad más alto fue de 98.5% en abril, y el más bajo de 89% en mayo. A los 2200 msnm el porcentaje más alto fue de 99.2% registrado en abril, y el más bajo fue de 85.9% en julio. A los 2263 el porcentaje más alto fue de 96% en julio, y el más bajo fue de 77.3% en abril. A los 2385 msnm el porcentaje más alto fue de 96% en julio, y el más bajo fue de 77.3% en abril. A los 2628 msnm el porcentaje más alto fue de 99.9% en abril y el más bajo fue de 89.3% en julio. A los 2755 msnm el porcentaje más alto fue de 99.7% en mayo y el más bajo fue de 81.9% en abril (Fig. 9).

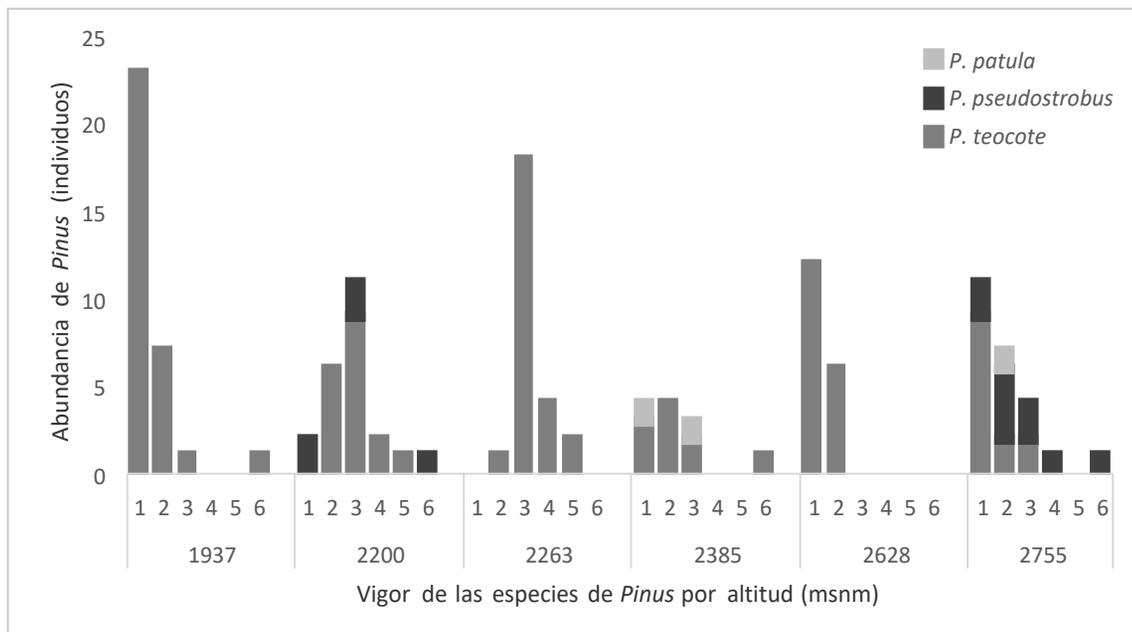


**Figura 9.** Niveles promedio de humedad máxima (%rh) registrados durante el periodo de muestreo de marzo a agosto de 2019 en los seis sitios de muestreo en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.



## Estado fitosanitario del bosque de Santa Catarina Lachatao

En cuanto a los valores obtenidos de vigor del arbolado, se observó que la mayoría de los pinos se encuentra dentro de las primeras tres categorías de vigor. Los resultados de la prueba de Chi cuadrada ( $X^{2\text{calculada}} = 86.3$ ,  $X^{2\text{crítico}} = 37.6$ ,  $F = 25$ ,  $P = 0.05$ ), muestran que existen diferencias significativas en las categorías de vigor entre sitios; particularmente en los sitios con saneamiento (2385 y 2628 msnm), no hay árboles muy dañados (categorías de vigor 5 y 6). (Fig. 11).



**Figura 11.** Vigor del arbolado por categorías en los seis sitios de muestreo seleccionados en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca. Donde 1 representa un árbol en perfecto estado y 6 representa a un árbol muerto.

El índice de calidad fue de 44.7 a los 1937 msnm, de 22.77 a los 2200 msnm, de 23.727 a los 2263 msnm, de 17.292 a los 2385 msnm, de 58.32 a los 2628 msnm, y de 78.586 a los 2755msnm. Este índice no tuvo diferencias significativas entre sitios ( $F_{1,4} = 2.35$ ,  $P = 0.2$ ) y tampoco resultó tener relación significativa con la abundancia de *Dendroctonus* ( $F_{1,4} = 0.08$ ,  $P = 0.78$ ).

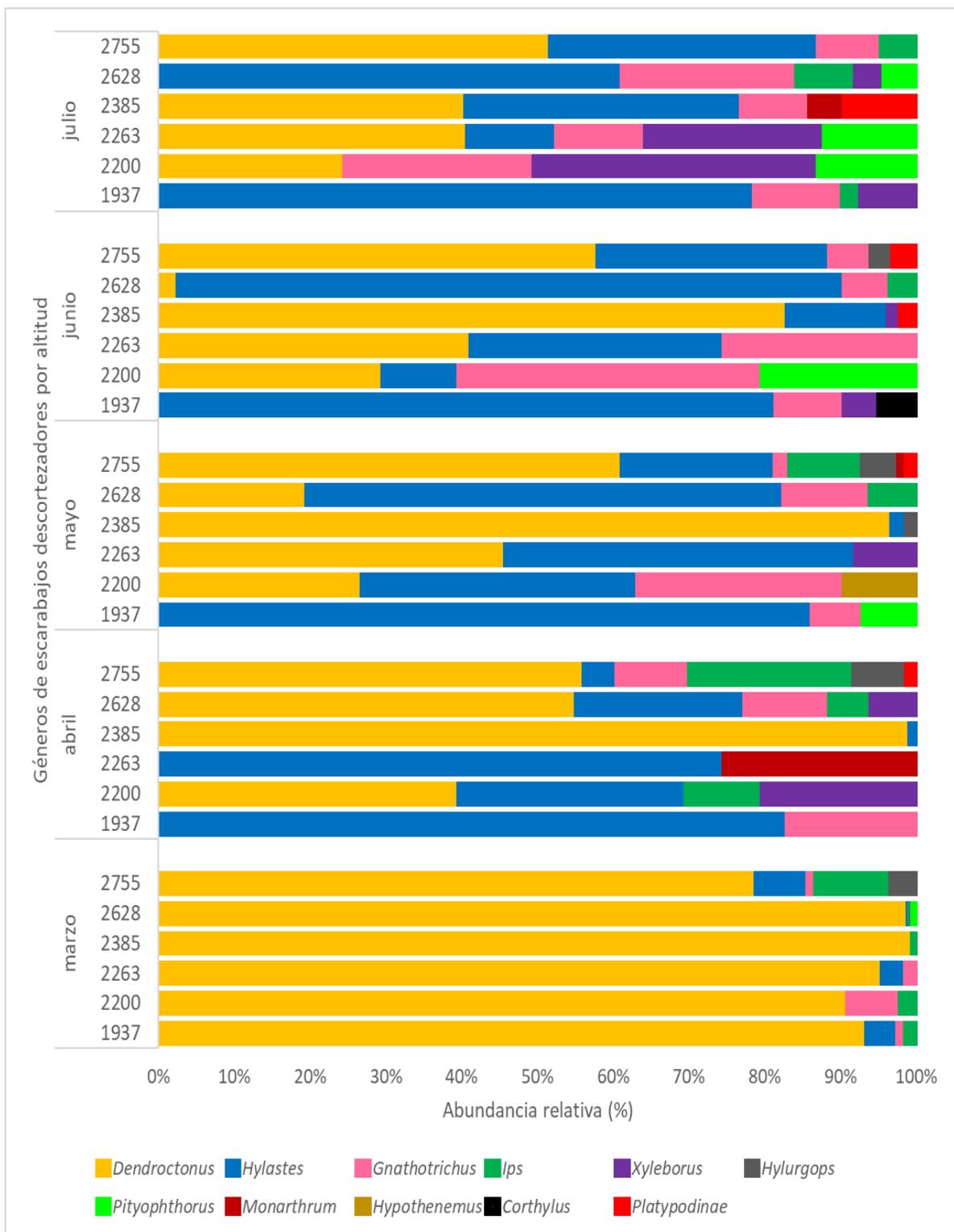
## **Abundancia de insectos en los sitios de estudio establecidos en el bosque de Santa Catarina Lachatao**

Se colectó un total de 13,948 individuos de individuos de artrópodos que fueron clasificados a nivel orden. Los órdenes más abundantes fueron Coleoptera (n= 8,832), Hymenoptera (n= 2,666) y Diptera (n= 2,042); los menos abundantes fueron Hemiptera (n= 113), Thysanoptera (n= 97) y Lepidoptera (n= 53). Se cuantificaron los artrópodos del orden Araneae (n= 28) y a los insectos que no se logró clasificar se les otorgó la categoría de otros (n= 117) (Fig. 12).

Del total de coleópteros (n= 8,832), se cuantificaron 4,477 individuos pertenecientes a género de escarabajos descortezadores. El género más abundante fue *Dendroctonus* (n= 4,033), seguido de *Hylastes* Erichson (n= 261), *Gnathotrichus* Heichhoff (n= 66), *Ips* (n= 60), *Xyleborus* Heichhoff (n= 19), *Hylurgops* LeConte (n= 19), *Pityophthorus* Heichhoff (n= 8), *Monarthrum* Kirsch (n= 3), *Hypothenemus* (n= 1), y *Corthylus* Erichson (n= 1). También se identificaron escarabajos descortezadores pertenecientes a la subfamilia *Platypodinae* Shuckard (n = 6) (Fig. 13). Del género *Dendroctonus* (n= 4,033) se identificaron seis especies. Tres de comportamiento agresivo *D. mexicanus* (n= 2,080), *D. frontalis* (n= 1,249) y *D. adjunctus* (n= 493); y tres de comportamiento inocuo *D. valens* (n= 104), *D. parallelcollis* (n= 60) y *D. approximatus* (n= 46) (Fig. 14).



**Figura 12.** Abundancia relativa de artrópodos durante el periodo de marzo a agosto de 2019 en un gradiente altitudinal del bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.



**Figura 13.** Abundancia relativa de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) durante el periodo de marzo a agosto de 2019 en un gradiente altitudinal del bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.



**Figura 14.** Abundancia relativa de especies de *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) durante el periodo de marzo a agosto de 2019 en un gradiente altitudinal del bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca.

**Condiciones ambientales que influyen en la diversidad de escarabajos descortezadores**  
**Temporalidad y altitud en relación con la abundancia de escarabajos**  
**descortezadores**

Los géneros de escarabajos descortezadores que mostraron diferencias significativas respecto a los meses de muestreo en la ANOVA de dos vías fueron *Dendroctonus* ( $F_{4,16} = 10.984$ ,  $P = 0.0002$ ) e *Hylastes* ( $F_{4,16} = 5.036$ ,  $P = 0.008$ ); mientras que *Ips* ( $F_{4,16} = 2.499$ ,  $P = 0.08$ ) y *Xyleborus* ( $F_{4,16} = 2.557$ ,  $P = 0.08$ ) fueron marginalmente significativas (Tabla X). De las especies del género *Dendroctonus*, *D. mexicanus* ( $F_{1,4} = 3.15$ ,  $P = 0.04$ ), *D. adjunctus* ( $F_{4,20} = 2.787$ ,  $P = 0.05$ ) y *D. approximatus* ( $F_{4,20} = 2.821$ ,  $P = 0.05$ ) mostraron diferencias significativas entre meses (Tabla 2). Ningún género de escarabajos descortezadores mostró diferencias en su abundancia con respecto a la altitud. Sin embargo, la abundancia de los escarabajos del género *Corthylus* ( $F_{4,16} = 3.819$ ,  $P = 0.02$ ) (Tabla 2) así como *D. valens* ( $F_{1,4} = 7.631$ ,  $P = 0.05$ ) mostraron una diferencia significativa entre el mes y la altitud (Tabla 3).

**Tabla 2.** Análisis de varianza de la abundancia de los diferentes géneros de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) en relación con la temporalidad, la altitud y la interacción entre estos dos.

Género	Mes			Altitud			Mes : altitud		
	GL	F	P	GL	F	P	GL	F	P
<i>Dendroctonus</i>	4, 16	10.98	0.0002	1, 4	2.54	0.19	4, 16	0.70	0.60
<i>Ips</i>	4, 16	2.5	0.08	1, 4	6.48	0.06	4, 16	2.48	0.08
<i>Xyleborus</i>	4, 16	2.56	0.08	1, 4	1.53	0.28	4, 16	1.81	0.18
<i>Pityophthorus</i>	4, 16	1.08	0.4	1, 4	0.38	0.57	4, 16	0.57	0.69
<i>Hylastes</i>	4, 16	5.04	0.008	1, 4	0.24	0.65	4, 16	0.53	0.72
<i>Hylurgops</i>	4, 16	1.73	0.19	1, 4	3.24	0.15	4, 16	2.16	0.12
<i>Gnathotrichus</i>	4, 16	2.0	0.14	1, 4	0.26	0.63	4, 16	1.46	0.26
<i>Monarthrum</i>	4, 16	0.43	0.79	1, 4	0.72	0.443	4, 16	0.7	0.60
<i>Hypothenemus</i>	4, 16	0.30	0.51	1, 4	0.30	0.611	4, 16	0.31	0.87
<i>Corthylus</i>	4, 16	1.564	0.232	1, 4	3.819	0.122	4, 16	3.819	0.023
<i>Platypodinae</i>	4, 16	0.584	0.679	1, 4	1.994	0.231	4, 16	0.616	0.657

**Tabla 3.** Análisis de varianza de la abundancia de las diferentes especies de escarabajos del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en relación con la temporalidad y la altitud.

Especie	Mes			Altitud		
	GL	F	P	GL	F	P
<i>D. adjunctus</i>	4, 20	2.79	0.05	1, 4	3.54	0.13
<i>D. frontalis</i>	4, 20	1.43	0.26	1, 4	0.09	0.78
<i>D. mexicanus</i>	4, 20	3.15	0.04	1, 4	0.03	0.88
<i>D. approximatus</i>	4, 20	2.82	0.05	1, 4	4.56	0.1
<i>D. parallelocollis</i>	4, 20	1	0.43	1, 4	2.90	0.16
<i>D. valens</i>	4, 20	1.19	0.35	1, 4	7.63	0.05

**VARIABLES MICROCLIMÁTICAS EN RELACIÓN CON LA ABUNDANCIA DE ESCARABAJOS DESCORTEZADORES DEL GÉNERO *Dendroctonus***

En la ANOVA de dos vías que se realizó evaluando la abundancia de escarabajos del género *Dendroctonus* en relación con la temperatura máxima y mínima (Tabla 4), y la humedad máxima y mínima (Tabla 5), ninguna especie mostró que estas variables ambientales tuvieran un efecto significativo sobre ellas.

**Tabla 4.** Análisis de varianza de la abundancia de las diferentes especies de escarabajos del género *Dendroctonus* en relación con la temperatura (°C) máxima y mínima.

Especie	Temperatura máxima			Temperatura mínima		
	GL	F	P	GL	F	P
<i>D. adjunctus</i>	1, 1	0.103	0.80	1, 1	0.521	0.60
<i>D. fontalis</i>	1, 1	1.601	0.43	1, 1	0.956	0.51
<i>D. mexicanus</i>	1, 1	10.306	0.19	1, 1	32.661	0.1
<i>D. approximatus</i>	1, 1	0.321	0.67	1, 1	0.44	0.63
<i>D. parallelocollis</i>	1, 1	0.471	0.62	1, 1	0.585	0.58
<i>D. valens</i>	1, 1	0.011	0.93	1, 1	0.245	0.71

**Tabla 5.** Análisis de varianza de la abundancia de las diferentes especies de escarabajos del género *Dendroctonus* en relación con la humedad (rh%) máxima y mínima.

Especie	Humedad máxima			Humedad mínima		
	GL	F	P	GL	F	P
<i>D. adjunctus</i>	1, 1	0.011	0.93	1, 1	0.115	0.79
<i>D. frontalis</i>	1, 1	2.702	0.35	1, 1	1.377	0.45
<i>D. mexicanus</i>	1, 1	5.013	0.27	1, 1	28.144	0.12
<i>D. approximatus</i>	1, 1	0.287	0.69	1, 1	0.371	0.65
<i>D. parallelocollis</i>	1, 1	0.044	0.87	1, 1	0.326	0.67
<i>D. valens</i>	1, 1	0.012	0.93	1, 1	0.05	0.86

### Contexto político y social en torno al bosque de Santa Catarina Lachatao

#### Conflicto por el territorio

Santa Catarina Lachatao, Oaxaca pertenecía a Pueblos Mancomunados que se estableció en 1957, junto con los municipios de Amatlán y Yavesía; las agencias municipales de Latuvi, Benito Juárez, Cuajimoloyas; y las agencias de policía de La Nevería y Llano Grande; todos forman parte del Distrito de Ixtlán de Juárez. La superficie del Mancomún era de 29,430.86 hectáreas y los comuneros de las ocho poblaciones eran poseedores de los recursos naturales dentro del área. Sin embargo, cada comunidad tenía un área determinada de la cual hacerse responsable.

Pueblos Mancomunados se consideraba una comunidad indivisible, pero algunos municipios empezaron a estar en desacuerdo a ser parte de él, debido a diferencias en la gestión y manejo de los recursos naturales. Por lo que en el año de 1961 el gobierno estatal de Oaxaca les reconoce los bienes comunales a Santa Catarina Lachatao, Amatlán y Yavesía; esto ha derivado en tensiones y conflictos intracomunitarios recurrentes. Actualmente, las agencias municipales y agencias de policía se encuentran delimitando el territorio que correspondería a cada municipio. Por lo anterior, en los mapas del sitio de estudio se muestran dos municipios (San Miguel Amatlán y Santa Catarina Lachatao) que son las delimitaciones oficiales ante INEGI. Sin embargo, todos los sitios en el área de estudio están bajo el cuidado y supervisión de la comunidad de Santa Catarina Lachatao.

## **Organización social de Santa Catarina Lachatao**

En la comunidad de Santa Catarina Lachatao la tierra y los recursos naturales son propiedad comunal, lo que significa que todos tienen derecho de aprovecharlos, pero también la responsabilidad de conservarlos. Asimismo, tienen la obligación y el derecho de participar en los sistemas de cargos para participar en la organización política y social de la comunidad, con el fin de decidir y contribuir en el destino de ésta. El principal órgano de toma de decisiones es la Asamblea Comunitaria, en la que participan todos los miembros de la comunidad (a partir de los 16 años), en esta se distribuyen las tareas entre las personas de la comunidad, y se asignan a las personas que ocuparán cargos comunales y cargos de autoridades. En Lachatao, las personas consideran que es necesario que la comunidad se mantenga unida e informada sobre las dinámicas, tareas y problemas en torno al bosque, ya que la división al interior de la comunidad afecta el manejo y bienestar de este.

## **Plaga del escarabajo descortezador**

En el año 2003 se identificaron los primeros brotes de plaga de escarabajos descortezadores en la comunidad Santa Catarina Lachatao. Derivado de las diferentes visiones e intereses de las comunidades que conformaban Pueblos Mancomunados en torno al manejo forestal, no se tomaron medidas inmediatas en cuanto al control de la plaga. Así, al siguiente año en 2004, CONAFOR trató de llegar a acuerdos entre los municipios, las localidades y las agencias de policía para controlar la infestación por descortezadores sin tener éxito; por lo que la plaga continuó propagándose.

Fue hasta el año 2009, debido a la preocupación general de la comunidad de Lachatao, que las mismas personas comenzaron a controlar la plaga sin intervención de autoridades ambientales. Este saneamiento consistió en derribar los pinos plagados, no obstante, en la comunidad no se sintieron satisfechos con el resultado de esta intervención. Por lo anterior, para el año de 2010, en el sitio ubicado a los 2385 msnm y conocido como “Cuatro Caminos”, contrataron a una empresa privada para que realizara el saneamiento, debido a que la plaga ya estaba muy extendida. En “Cuatro Caminos”. Este fue el primer saneamiento para controlar la plaga del escarabajo descortezador que las personas de SCL reconocen y consideran que fue un saneamiento inoportuno, ya que tuvieron que quemar y hacer derribos de una gran cantidad de árboles.

En este sitio no se hizo extracción de la madera restante del saneamiento, pues la comunidad fue demandada por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), debido a que no se realizó el procedimiento establecido por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, su reglamento y la Norma Oficial Mexicana NOM-019-RECNAT-2006, misma que establece los lineamientos técnicos para el combate y control de los insectos descortezadores de las coníferas. El sitio se dejó sin manejo y no se intentó reforestar en los años siguientes. Para el año de 2019, era evidente el proceso de regeneración natural en el sitio, y las personas afirmaron que el sitio comenzó a mejorar por sí solo después del saneamiento (Anexo 5).

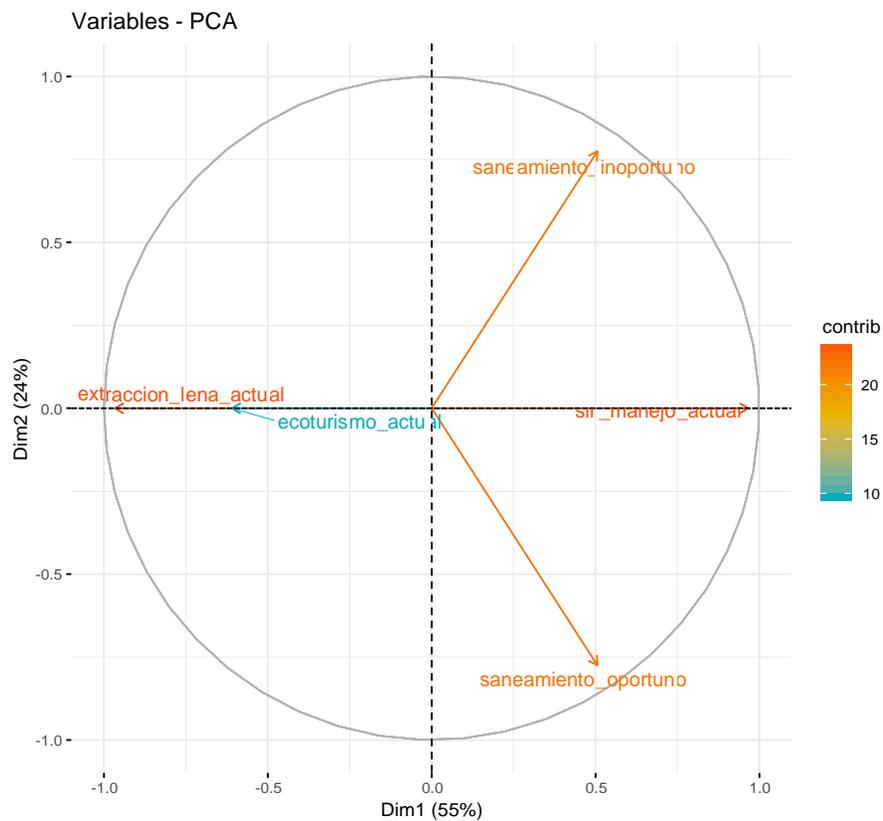
Para el año 2013 en la localidad de “Loma de Ocote” a 2628 msnm (Anexo 6), se identificó reincidencia de la plaga y debido a su experiencia previa en “Cuatro Caminos”, las personas de la comunidad de Lachatao decidieron controlar la plaga inmediatamente y notificaron a las autoridades de CONAFOR. Por lo que ese mismo año, las personas de la comunidad de SCL derribaron los árboles plagados y se consideró como un saneamiento oportuno, ya que no tuvieron que quemar el sitio y no se perdió la gran cantidad de pinos como en la experiencia de “Cuatro Caminos”. Ese mismo año, también fue el último en que se tomaron acuerdos entre las comunidades que conformaban Pueblos Mancomunados para extraer madera sana y dañada del área correspondiente a Santa Catarina Lachatao.

### **Manejo forestal en Santa Catarina Lachatao**

Se identificaron cuatro categorías de manejo que se practican en los seis sitios de estudio: 1) extracción de leña, 2) ecoturismo, 3) saneamiento forestal (con dos categorías: oportuno e inoportuno), y 4) sin manejo actual. La extracción de leña para consumo local se realiza en tres sitios (1937, 2263 y 2755 msnm) y solo extraen personas de las comunidades de Lachatao y Yavesía. En el sitio ubicado a los 1937 msnm además se usa para ecoturismo, en donde la única actividad que se realiza es senderismo. Se le otorgó la categoría de saneamiento oportuno al que se realizó inmediatamente después de identificar el sitio con plaga (2628 msnm). Por otro lado, el saneamiento inoportuno es aquel en el que la comunidad se demoró en controlar la plaga y esta se propagó al punto de tener que realizar un saneamiento más agresivo (2385 msnm). A la fecha de muestreo se encontraron tres sitios sin manejo actual, es decir que no se realiza ninguna actividad forestal, el primer sitio

se ubica a los 2200 msnm, los otros dos sitios son en los que se realizó saneamiento forestal (2385 y 2628 msnm).

Los resultados del análisis PCA muestran que los sitios de muestreo están agrupados por el tipo de manejo que se realiza (79%) (Fig. 6). Las variables de 1) extracción de leña y 4) sin manejo actual, son las dos que separan mejor los sitios, seguidas de la 3) saneamiento forestal y finalmente la variable 2) ecoturismo (Fig. 15). Las dimensiones del PCA no tuvieron una relación significativa con la abundancia de *Dendroctonus* ( $D^1 = F_{1,3} = 0.73$ ,  $P = 0.45$ ;  $D^2 = F_{1,3} = 0.014$ ,  $P = 0.91$ ).



**Figura 15.** Análisis de Componente Principales (PCA) que muestra en un gradiente de colores la importancia de los tipos de manejo para distinguir entre los sitios de estudio; aquellos con colores cálidos son los más importantes (sobre el 15).

## DISCUSIÓN

### Estado de conservación del bosque de Santa Catarina Lachatao

En México los bosques templados tienen una presión constante por la tala excesiva (en ocasiones clandestina), la extracción de especies, los incendios forestales naturales o provocados, la conversión del uso de suelo con fines agrícolas, ganaderos y de asentamientos humanos. Todas estas acciones derivan en condiciones de estrés que debilitan los bosques y los hace más vulnerables a que los ataques por descortezador lleguen a una condición epidémica con una elevada mortandad de pinos (Dukes *et al.*, 2009; Weed *et al.*, 2013; del-Val y Sáenz, 2017).

Evaluar la vegetación de un bosque es de gran importancia en estudios sobre descortezadores, pues esta información nos permite aproximarnos a conocer el estado de conservación del bosque (García-López *et al.*, 2012), y en consecuencia, determinar qué tan susceptible es a que las poblaciones de los escarabajos escolítidos se comporten como plaga; al mismo tiempo nos permite saber si el bosque está en proceso de recuperación después de haber presentado un episodio epidémico (Castellano-Bolaños *et al.*, 2013).

La estructura del bosque de SCL sugiere que es un bosque conservado, pues solo se dedica un porcentaje pequeño para agricultura, de manera que predomina el área forestal. Asimismo, la comunidad de pinos parece saludable ya que se encontró una estructura poblacional bien representada por los diferentes estadios de tamaño y edad (observación personal) de estos árboles en el bosque y la abundancia de individuos en los sitios muestreados es similar entre sitios; a excepción del sitio en el que se realizó saneamiento forestal inoportuno (2385 msnm), pues en este sitio predominaban los brinzales sobre los adultos. Por otro lado, dado que el Índice de Calidad del bosque de SCL fue similar entre sitios, se puede decir que a pesar de haber dos sitios en donde se realizó saneamiento para el control de plaga de escarabajo descortezador, el bosque se ha recuperado y se encuentra en buen estado de conservación con pocos árboles dañados.

Los estudios de la dinámica de regeneración en los bosques de pino han encontrado que estos árboles no forman bancos de semillas permanentes, pues una vez depositadas en el suelo pierden viabilidad rápidamente debido a factores bióticos y abióticos (Ramírez-Santiago *et al.*, 2015). La regeneración natural es un proceso que necesita que las semillas reciban estímulos ambientales adecuados de humedad y temperatura, también es necesario que las condiciones del suelo sean las apropiadas y exista suficiente disponibilidad de

nutrientes para que inicie la germinación de la semillas y con esto la etapa de emergencia y establecimiento (Musálem *et al.*, 1991; Nyland, 1996). En este trabajo se encontró que la abundancia de pinos adultos en los sitios con saneamiento es menor (2385 y 2628 msnm), sobre todo en el sitio en el que el saneamiento fue inoportuno (2385 msnm), mientras que la abundancia de brinzales fue mayor, lo que es un indicador de que está ocurriendo el proceso de regeneración natural. Por ello es posible decir que la dinámica del bosque de SCL se encuentra en un estado saludable y que esto no sería posible, sin tener la organización, conocimiento y manejo que ha realizado la comunidad en el bosque, pues encaminan sus acciones a la conservación y protección de este, incluyendo el saneamiento de árboles plagados cuando es necesario.

### **Diversidad de escarabajos descortezadores en relación con la temperatura y humedad**

En varios estudios realizados en bosques de pino en el país, se ha reportado que las variables ambientales de temperatura y humedad son las causantes de la variación estacional en la abundancia de escarabajos descortezadores (Rubín-Aguirre, *et al.*, 2015; Leal-Oliver, 2014); por ello, se evaluó la relación de estas dos variables (temperatura máxima y mínima; humedad máxima y mínima), con la abundancia de *Dendroctonus* en SCL. Los resultados muestran que la mayor abundancia de estos escarabajos se registró en marzo y abril de 2019, que fueron los meses más cálidos durante los cinco meses de muestreo en SCL. Sin embargo, la abundancia total y de cada especie no tuvo relación significativa con estas variables. Resultados similares se pueden observar en el trabajo de Morales-Rangel *et al.* (2016), con un periodo de muestreo de diez meses en el cual no reportaron una correlación significativa entre la abundancia de las especies de *Dendroctonus* con las variables climáticas de temperatura máxima y humedad relativa mínima.

En otro estudio realizado por López-Gómez *et al.* (2017) durante un periodo de muestreo de diez meses, se evaluaron las variables atmosféricas de temperatura, humedad, precipitación, presión atmosférica, velocidad del viento, temperatura del viento, sensación térmica, y el cociente entre la temperatura y la humedad. Los autores de este estudio concluyeron que seis parámetros (temperatura, precipitación, presión atmosférica, temperatura del viento, sensación térmica y cociente temperatura/humedad), se asocian con la variación mensual de la abundancia de los escarabajos descortezadores, en adición a las

que por lo general se prueban (temperatura y humedad). Teniendo en cuenta lo anterior, se sugiere que, para futuros trabajos de esta índole, se consideren más variables atmosféricas con la finalidad de hacer un estudio más integral y obtener resultados más acertados. Asimismo, en otros estudios en los que la temperatura y humedad tampoco resultaron tener relación significativa con las abundancias de descortezadores, se sugiere hacer un modelo de muestreo que comprenda todo el año, con la intención de observar una fluctuación temporal más evidente de estos insectos (Morales-Rangel *et al.*, 2016). Otros factores para considerar son la pendiente, exposición solar y los enemigos naturales de *Dendroctonus*, pues son factores que determina la presencia y abundancia de estos coleópteros (Domínguez-Sánchez, 2008, Bentz & Jönsson, 2015).

### **Diversidad de escarabajos descortezadores en un gradiente altitudinal**

En este estudio se encontraron seis de las siete especies de escarabajos descortezadores del género *Dendroctonus* que se distribuyen en Oaxaca (Anexo 7).

*Dendroctonus mexicanus* es una especie agresiva, con la capacidad de matar árboles saludables y desarrollar brotes epidémicos en varias especies de pino, algunos de sus hospederos son *Pinus patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*. Es común encontrarla cohabitando con *D. frontalis* en el mismo pino. Los límites altitudinales de la especie se ubican entre los 800 y 3650 msnm, con un mayor número de registros entre los 2000 y 2500 msnm (Armendáriz-Toledano, 2018, Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Salinas-Moreno *et al.*, 2010a). En SCL fue la especie con mayor abundancia y se encontró entre los 1937 y los 2755 msnm, con mayor incidencia entre los 2385 y los 2628 msnm; coincide que en esas altitudes ocurrió el episodio epidémico que requirió saneamiento, por lo que puede sugerirse que las zonas a estas altitudes en SCL son las más susceptibles a un brote epidémico. *D. mexicanus* puede tener de 4 a 6 ciclos biológicos por año (Armendariz-Toledano, 2018), lo cual coincide con su abundancia significativa en todos los muestreos en SCL. La Sierra Norte de Oaxaca se considera una región favorable para esta especie (Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Sosa-Díaz *et al.*, 2018) y durante el periodo del 2004 al 2011 produjo el 9 % de daños de los ataques registrados en Oaxaca (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013). Si bien esta especie no tuvo el mayor porcentaje de daño, es una de las especies que más afecta las poblaciones de *Pinus* en el país y es importante monitorearla con regularidad.

*Dendroctonus frontalis* también es considerada como especie agresiva debido a su capacidad de provocar grandes infestaciones y con ello la muerte de pinos saludables, entre ellos *P. pseudostrobus* y *P. teocote*. Cuando coexiste con *D. mexicanus* se hospedan en todo el tronco. Su distribución altitudinal se encuentra entre los 700 y 2612 msnm, con un mayor número de reportes entre los 1500 y 2000 msnm (Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Armendáriz-Toledano, 2018). En SCL se registraron de los 2200 a los 2385 msnm, con mayor incidencia a los 2385 msnm. Igual que *D. mexicanus*, su abundancia en SCL coincide con los sitios en los que hubo brote epidémico y es una especie con 5 a 7 ciclos biológicos al año (Armendáriz-Toledano, 2018). La abundancia de esta especie no representa un riesgo alto para el bosque de SCL, pues fue de las una de las especies de *Dendroctonus* menos abundantes durante el periodo de muestreo. Sin embargo, en el periodo del 2004 al 2011 *D. frontalis* representó el 13 % de daños por plagas forestales con tendencia a incrementar su nivel de daño en el estado de Oaxaca (Salinas-Moreno *et al.*, 2010a; 2010b; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013; Sosa-Díaz *et al.*, 2018). En consecuencia, también es importante seguir monitoreando constantemente a esta especie. Es importante mencionar que *D. frontalis* y *D. mexicanus* son especies fenotípicamente muy similares en su morfología externa. Su identificación morfológica depende de la revisión de las características de su genitalia. Algunos autores dudan que sean especies distintas (Atkinson, 2013), por lo que es probable que muchos de los reportes no tengan una correcta identificación. De cualquier manera, ambas son especies agresivas con un potencial de generar brotes epidémicos.

*Dendroctonus adjunctus* es una especie de descortezador agresiva cuyo ciclo de vida se desarrolla en árboles sanos de varias especies de pinos, entre ellas *P. patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*. Esta especie se encuentra entre los 1300 y 3940 msnm, con un mayor número de registros entre los 2500 y 3000 msnm (Armendáriz-Toledano, 2018). En SCL se distribuye entre los 2385 y los 2755 msnm, siendo los 2755 msnm la altitud con más abundancia. Esta especie tiene de 1 a 2 ciclos biológicos al año, lo que puede explicar su poca abundancia en SCL (Cibrián-Tovar *et al.*, 1995; Armendáriz-Toledano, 2018). Es importante considerar que las epidemias de esta especie en bosques de pino han sido comunes por arriba de los 2800 msnm en Oaxaca (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013; Salinas-Moreno *et al.*, 2010). Asimismo, en varios estudios concluyen que las condiciones bioclimáticas de áreas aisladas de la Sierra Norte de Oaxaca son las zonas más favorables

para esta especie (Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Sosa-Díaz *et al.*, 2018). Hay que tener en cuenta que, en Oaxaca *D. adjunctus* fue la especie más agresiva durante el periodo de 2004 a 2011, ya que esta especie representó el 78 % de daños respecto al área total afectada (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013), por lo que es importante monitorear constantemente las poblaciones de esta especie.

*Dendroctonus approximatus* es una especie de comportamiento inocuo y hasta el momento no se han reportado infestaciones de esta especie en México. Entre sus hospederos se encuentran *Pinus patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*. Sus límites de distribución altitudinal van de los 1600 a los 3200 msnm, con un mayor número de registros entre los 1600 y 3200 msnm (Armendáriz-Toledano, 2018). En SCL se registró de los 1937 a los 2755 msnm, con mayor incidencia de los 2200 a los 2755 msnm. Aún no se ha documentado cuántos ciclos biológicos tiene al año.

*Dendroctonus parallellocollis* no es una especie agresiva, pues construye galerías en árboles colonizados previamente por otras especies de descortezadores agresivos. Se ha registrado en varios pinos entre los que se encuentran *Pinus pseudostrobus* y *P. teocote*. Sus límites altitudinales se encuentran entre los 800 y 4000 msnm, con un mayor número de registros entre los 2000 y 2500 msnm (Armendariz-Toledano, 2018). En SCL solo se registró a los 2755 msnm. Al igual que *D. approximatus* no se ha registrado cuantos ciclos biológicos tiene al año. Una de las regiones más favorables en términos bioclimáticos para esta especie es el Norte de Oaxaca (Sosa-Díaz *et al.*, 2010).

*Dendroctonus valens* es una especie que no desarrolla ataques masivos en áreas de distribución nativa, por ello no se considera agresiva. Esta especie coloniza árboles debilitados por especies agresivas, así como tocones en zonas saneadas o con aprovechamiento forestal. Sin embargo, en algunas localidades de México se ha encontrado que mata árboles saludables. Se ha registrado en *Pinus patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*, entre otros. Sus límites altitudinales son de los 800 a los 3900 msnm con mayor número de registros entre los 2000 y 2500 msnm (Armendáriz-Toledano, 2018; Yan *et al.*, 2005). En SCL, esta especie se registró de los 2200 a los 2755 msnm, con mayor incidencia en las altitudes de los 2263 a los 2755 msnm. Esta especie tiene de 1 a 2 ciclos biológicos al año, lo que puede explicar sus abundancias en SCL (Armendáriz-Toledano, 2018). En el Norte y Sur de Oaxaca se presentan las condiciones climáticas más favorables para esta especie, pero sólo en pequeñas áreas (Sosa-Díaz *et al.*, 2010).

En general las abundancias de las especies registradas de *Dendroctonus* no presentaron una diferencia significativa en relación con la altitud; sin embargo, el rango altitudinal fue pequeño (~150 m), porque únicamente se incluyeron los sitios en donde las personas de SCL consideraban el bosque como susceptible. No obstante, en varios estudios se ha observado que estos escarabajos son bastante dinámicos en su distribución ecológica y geográfica, por lo que es común que las especies de *Dendroctonus* sobrepongan sus áreas de distribución y hábitats (Zúñiga *et al.* 1999; Salinas-Moreno *et al.* 2004; Avilés-Carrillo *et al.*, 2016). Es importante resaltar que todas las especies de *Dendroctonus* que se encontraron en SCL correspondieron a las altitudes en las que se ha registrado su distribución natural. Así, se puede decir que en SCL estos insectos no están aumentando sus rangos altitudinales en el bosque.

### **Diversidad de escarabajos descortezadores y manejo forestal**

Los escarabajos descortezadores son parte de la dinámica natural del ecosistema, tienen una función muy importante en el bosque, ya que eliminan algunos árboles adultos y permiten que la luz incida en el sotobosque, lo cual permite que algunas semillas germinen y la población de pinos se regenere (Raffa *et al.*, 2008). Sin embargo, es importante tener en cuenta que son insectos con un alto potencial de ser plaga forestal y que es necesario monitorear sus poblaciones constantemente para que su abundancia no incremente de manera acelerada (Raffa, *et al.*, 2008; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2009a; Equihua-Martínez *et al.*, 2011; Durán & Poloni, 2014). Por ello, el manejo forestal juega un papel determinante para la oportuna detección y control de insectos y enfermedades que puedan convertirse en plaga, y es muy importante estar familiarizado con estas especies para poder detectarlas a tiempo. Este tipo de procesos de monitoreo y saneamiento deben realizarse en conjunto con las comunidades y ejidos forestales (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013; CONAFOR, 2018).

Dentro del género *Dendroctonus* se encuentran las especies de escarabajos descortezadores de mayor importancia sanitaria en los bosques de pino. En Oaxaca se han registrado siete especies de escarabajos pertenecientes al género *Dendroctonus* (Cibrián-Tovar *et al.*, 1995; Salinas-Moreno *et al.*, 2010). En SCL, se encontraron seis especies de este género en una zona en donde habitan tres especies de *Pinus*, lo que representa una alta riqueza de estos escarabajos. Dentro de esta diversidad se encontraron tres especies de

comportamiento agresivo (*D. adjunctus*, *D. frontalis*, *D. mexicanus*) y tres especies de comportamiento inocuo (*D. approximatus*, *D. parallellocollis*, *D. valens*). Así pues, no todos los escarabajos descortezadores registrados en SCL son de importancia sanitaria.

La abundancia total de escarabajos descortezadores y específicamente la abundancia de las especies de importancia sanitaria en SCL no es alarmante, pues el total de especies del género *Dendroctonus* fue de 4,033 individuos, siendo escarabajos de importancia sanitaria 3,822 individuos en un periodo de cinco meses de muestreo (*D. mexicanus* = 2,080, *D. frontalis* = 1,249 y *D. adjunctus* = 493). En estudios similares donde las abundancias de estos escarabajos se declararon plaga forestal se reportó un total de 32,413 individuos de *D. frontalis* y de 7,356 para *D. mexicanus* en un bosque en Zimapán, Hidalgo durante un periodo de muestreo de 9 meses (Áviles-Carrillo *et al.*, 2016). La Reserva de la biosfera de la Sierra Gorda es otro ejemplo de un bosque con plaga, en donde las abundancias registradas durante un periodo de 10 meses para *D. frontalis* fue de 121,841 y de *D. mexicanus* de 14,568 individuos (López-Gómez *et al.* 2017). En el bosque de coníferas al norte del estado de Querétaro Morales-Rangel *et al.* (2018) encontraron abundancias entre 38,234 y 9,122 individuos para *D. frontalis* y para *D. mexicanus* con abundancias entre 984 a 1,634 en un gradiente altitudinal durante 11 meses, lo que sugirió un ataque masivo de estos escarabajos en el bosque. El periodo de muestreo de los estudios recién mencionados es más prolongado al del presente estudio, por lo que estas conclusiones deben ser consideradas con reserva.

El brote masivo de escarabajos descortezadores reportado para SCL en el periodo de 2003 a 2009, y el año de 2013 coincide con las fechas en que se presentaron grandes brotes en otras comunidades en la Sierra Norte de Oaxaca. Poniendo como ejemplo el año de 2006, cuando se registraron 280 brotes a lo largo de la Sierra Norte de Oaxaca (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2009b). Asimismo, durante el período de 2004 a 2009 los bosques de pino del estado de Oaxaca fueron atacados masivamente por los insectos descortezadores *Dendroctonus adjunctus*, *D. mexicanus* y *D. frontalis* (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2009a). Igualmente, 2009 a 2014 se reportó a Pueblos Mancomunados como el periodo de mayor devastación por la plaga de escarabajo descortezador (Salinas *et al.*, 2010; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2013; Sosa Díaz *et al.*, 2018).

Con lo anterior, se puede inferir que en SCL las poblaciones de *Dendroctonus* fueron plaga y que las medidas que tomó la comunidad ante dicha problemática, a pesar de

los desacuerdos intracomunitarios y legales, evitaron que el brote epidemiológico siguiera propagándose, ya que en varios casos, el manejo efectivo de esta plaga se ve menguado por la existencia de conflictos, problemas de litigio en los terrenos plagados, priorización de la extracción de madera sana o incluso por la carencia de programas de manejo forestal. Todas estas barreras limitan las acciones para atender el saneamiento de los bosques, dando lugar a que las plagas se expandan con más facilidad (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2009a; CONAFOR, 2018).

En varias comunidades con manejo forestal maderero donde se promueve el crecimiento de una o pocas especies maderables, se han visto impactos más severos de la plaga por descortezador, debido a la poca diversidad tanto de especies como de generaciones de pinos (Sánchez-Martínez *et al.*, 2007; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2009a; CONAFOR, 2013). Sin embargo, el manejo forestal que se realiza en SCL tiene la intención de conservar el bosque de manera que la comunidad pueda seguir abasteciéndose de los bienes que brinda este, únicamente para autoconsumo. Rojas-Serrano & Martínez-Corona (2017), encontraron que en la comunidad consideran que su pueblo persistirá si el bosque se mantiene en buenas condiciones. Este tipo de manejo tiene poco impacto en las dinámicas ecosistémicas del bosque, por lo que el bosque mantiene su capacidad para combatir fenómenos naturales y de recuperarse después de un disturbio.

## CONCLUSIONES

- El bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, México actualmente se encuentra en buenas condiciones fitosanitarias, después de haber sufrido un episodio epidemiológico por plaga de escarabajo descortezador durante el periodo del 2003 al 2009, con un rebrote en el año de 2013.
- El grupo de insectos que presentó la mayor abundancia durante el periodo de muestreo fueron los coleópteros, en su mayoría descortezadores con 14 géneros. El género más abundante fue *Dendroctonus* del cual se identificaron 6 especies; 3 de importancia sanitaria: *D. adjunctus*, *D. frontalis* y *D. mexicanus*; y 3 de comportamiento inocuo: *D. approximatus*, *D. parallelocolis* y *D. valens*.
- A pesar de que las especies más abundantes del género *Dendroctonus* fueron *D. mexicanus*, *D. frontalis* y *D. adjunctus*, las cuales están catalogadas como las especies más agresivas en los bosques mexicanos, las abundancias de estos escarabajos no se consideran plaga y no parecen estar ampliando su rango altitudinal en el bosque de Santa Catarina Lachatao. Sin embargo, se recomienda establecer un monitoreo recurrente por su potencial de causar brotes epidémicos.
- Los habitantes de Santa Catarina Lachatao consideran que conservando y protegiendo el bosque su comunidad también persistirá. Por lo que el conocimiento y actividades de la comunidad en torno al bosque, permiten que las dinámicas ecosistémicas de este lo mantengan como bosque conservado.
- La diversidad de escarabajos descortezadores encontrados en el bosque de Santa Catarina Lachatao, no está determinada por los factores abióticos evaluados en este estudio, ni las interacciones entre estos. Por lo que se recomienda para trabajos de esta índole hacer un modelo de muestreo que comprenda todo el año, y evaluar también variables atmosféricas, la pendiente, la exposición solar y los enemigos naturales de *Dendroctonus*.

## LITERATURA CITADA

- Armendáriz-Toledano, F., Zúñiga, G., García-Román, L. J., Valerio-Mendoza, O., y García-Navarrete, P. G. (2018). Guía ilustrada para identificar a las especies del género *Dendroctonus* presentes en México y Centroamérica. Instituto Politécnico Nacional. CDMX, México.
- Atkinson, T. H. (2013). Estado de conocimiento de la taxonomía de los escarabajos descortezadores y ambrosiales de México (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *XVI Simposio de Parasitología Forestal*. Comisión Nacional Forestal, pp-3-27.
- Bray, D. B., Duran, E., y Molina-González, O.A. (2012). “Beyond harvests in the commons: multi-scale governance and turbulence in indigenous/community conserved areas in Oaxaca, Mexico”, *International Journal of the Commons* 6(2): 151-178.
- Bray, D. B. (2013). When the State Supplies the Commons: Origins, Changes, and Design of Mexico’s Common Property Regime, *Journal of Latin American Geography* 12: 33-55.
- Bentz, B. J. & Jönsson, A. M. (2015). Modeling bark beetle responses to climate change. Pp. 533–553. In: Vega, F., y Hofstetter, R. (Eds.). *Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*. Elsevier.
- Castellanos-Bolaños J.F., Maldonado-Arango, O., Piñeiro-Márquez, F., Hernández-Hernández, J., y Gómez-Cárdenas, M. (2009a). Condición de los bosques afectados por insectos descortezadores en el estado de Oaxaca, México. *Memoria de resúmenes. XV Simposium Nacional de Parasitología Forestal*. Oaxaca, México.
- Castellanos-Bolaños, J.F., Ruiz-Martínez, O., Gómez-Cárdenas, M., y Cruz-Cruz, E. (2009b). Dinámica de perturbaciones en bosques de pinos provocadas por insectos descortezadores en pueblos mancomunados, Oaxaca, México. *Memoria de resúmenes. XV Simposium Nacional de Parasitología Forestal*. Oaxaca, México.
- Castellanos-Bolaños, J. F., Ruiz Martínez, E. O., Gómez-Cárdenas, M., & González-Cubas, R. (2013). Fundamentos técnicos para el control de insectos descortezadores de pinos en Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Villa de Etla, Oaxaca, México. Folleto Técnico Núm. 40. 31 p.
- Challenger, A. (2003). Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de

- montaña de México y su estado de conservación, en O. Sánchez, E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (eds.), *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. Diplomado en conservación, manejo y aprovechamiento de vida silvestre. Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 17-44.
- Challenger, A., y Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 87-108.
- Chapela, G., y Merino, L. (2019). *Hacia una política forestal sustentable e incluyente. Los bosques de México, problemas y propuestas. Crisis ambiental en México ruta para el cambio climático*, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cibrián, T. D., y L. del C. Romero. (1994). Los depredadores del género *Enoclerus* y su papel en el control del descortezador *Dendroctonus mexicanus* Hop. Memoria del XXIX Congreso Nacional de Entomología. Soc. Mex. Entomol. Monterrey, Nuevo León. P 105-106.
- Cibrián, D., Méndez, J. T., Campos, R., Yates III, O. & Flores, J. (1995). *Insectos Forestales de México/Forest Insects of México*. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Cibrián, D., Quiñonez-Favila, S.A., Quiñonez-Barraza, S., Olivo-Martínez, J.A., Robles-Uribe, S., Hernández-Villa, L., Gamboa-Sáenz, E. A., y Aguilar-Vitela, J.L. (2015). *Manual para la identificación, y manejo de insectos descortezadores del pino. Guía práctica para la identificación y manejo de los descortezadores del pino*. CONAFOR, México.
- Creeden, E.P., Hicke, J.A., Buotte, P.C. (2014). Climate, weather, and recent mountain pine beetle outbreaks in the western United States. *Forest. Ecol. Manag.* 312, 239–251.4
- CONAFOR. (2014). *Resultados del Mapeo Aéreo Fitosanitario*. Oaxaca, Gerencia Estatal Oaxaca, Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR. (2013). *México. Bosques, cambio climático y REDD+ en México. Guía Básica*, Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR. (2018). *Sanidad Forestal*. Comisión Nacional Forestal.
- Cudmore, T.J., Björklund, N., Carroll, A.L., Staffan Lindgren, B. (2010). Climate change and range expansion of an aggressive bark beetle: evidence of higher beetle reproduction in native host tree populations. *J. Appl. Ecol.* 47, 1036–1043.

- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M. A., Figueroa, V. E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., y Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Del Río, M.A., Mazolebskaya, E.G. (1999). Implementación de un sistema de monitoreo de las poblaciones del descortezador *Dendroctonus mexicanus* Hopk (Coleoptera: Scolytidae) en el Campo Experimental Forestal “Barranca de Cupatitzio”, Uruapan, Mich. 63 p. (Inédito).
- Del-Val, E., y Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: problemática actual y perspectivas en los bosques templados. *TIP*, 20(2), 53-60. <http://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.006>
- Diario Oficial de la Federación. México. 13 de abril de 2020. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
- Diario Oficial de la Federación. México. 22 de marzo de 2018. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NORMA Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2017, que establece los lineamientos técnicos para el combate y control de los insectos descortezadores de las coníferas.
- Domínguez-Sánchez, B., Macías-Sámamo, J. E., Ramírez-Marcial, N., & León-Cortés, J. L. (2008). Respuesta kairomonal de coleópteros asociados a *Dendroctonus frontalis* y dos especies de *Ips* (Coleoptera: Curculionidae) en bosques de Chiapas, México. Kairomonal response of coleopterans associated with *Dendroctonus frontalis* and two *Ips* species. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79: 175-1, 175–183.
- Durán, E. & Poloni, A. (2014). Escarabajos descortezadores: diversidad y saneamiento en bosques de Oaxaca. CONABIO. *Biodiversitas*, 117:7-12
- Dukes, J.S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J.R., Rodgers, V.L., Brazeel, N., Cooke, B., Theoharides, K.A., Stange, E.E., Harrington, R., Ehrenfeld, J., Gurevitch, J., Lerdau, M., Stinson, K., Wick, R., y Ayres, M. (2009). Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict? *Can J For Res* 39:231–248

- Equihua-Martinez, A., Estrada-Venegas, E.G., Burgos-Solorio, A. (2011). Descortezadores y barrenadores (Insecta: Coleoptera: Scolytidae). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. pp. 367-370.
- FAO. (2010). *Global Forest Resources Assessment 2010* (Vol. 163). FAO, Rome.
- Farjon, A. (1996). Biodiversity *Pinus* (Pinaceae) in Mexico: speciation and palaeoendemism, *Botanical Journal of Linnean Society* 121:365-384. 4
- Fernández, E. A., Romero, C. R., Zavala, H. J. (2013). Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx>.
- Fonseca, G. J., de los Santos-Posadas, H., Llanderal, C. C., Cibrián- Tovar, D., Rodríguez, T. D. & Vargas, H. J. (2008). *Ips* e insectos barrenadores en árboles de *Pinus montezumae* dañados por incendios. *Madera y bosques* 14:69-80.
- Gaylord, M. L., Kolb, T. E. & McDowell, N. (2015). Mechanisms of piñon pine mortality after severe drought: a retrospective study of mature trees. *Tree Physiology* 35:806-816. DOI: 10.1093/ treephys/tpv038
- Gernandt, David S., & Pérez-de la Rosa, Jorge A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(Supl. ene), S126-S133. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- INEGI. (2005). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1 : 250 000. Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- INEGI-CONABIO-INE. (2007). Ecorregiones de México, nivel IV, escala 1 : 1 000 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Instituto Nacional de Ecología, México.
- INEGI. (2010). Información Nacional por entidad federativa y municipios. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. (2020). Información Nacional por entidad federativa y municipios. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI-CONABIO. (2016). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional). Catálogo de metadatos geográficos. Instituto Nacional de Estadística,

- Geografía e Informática-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Knizek M. y R. Beaver. (2007). Taxonomy and systematics of bark and ambrosia beetles, 41–54. In Lieutier et al. (ed.), *Insects in living trees in Europe, a Synthesis*. Springer. The Netherlands.
- Koleff, P., Soberón, J. y Smith, A. (2004). Madrean pine oak woodland, en R. Mittermier *et al.* (eds.), *Hotspots* (Biodiversidad amenazada II): Nuevas ecorregiones terrestres prioritarias del mundo. Cemex-Agrupación Sierra Madre, México.
- Leal-Olivera, N. (2014). Fluctuación poblacional de *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y variación estacional de la temperatura y humedad relativa, en San Juan del Estado, Etlá, Oaxaca. Tesis. Colegio de Postgraduados, Texcoco, estado de México.
- López Gómez, V., Torres Huerta, B., Reséndiz Martínez, J.F., Sánchez Martínez, G., y Gijón Hernández, A.R. (2017). Influencia de parámetros climáticos sobre las fluctuaciones poblacionales del complejo *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1868 y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(41), 7-29.
- Macías Sámano, J. E. y Niño Domínguez, A. (2016). Protocolo para monitoreo de descortezadores de coníferas mediante el uso de atrayentes y semioquímicos. ECOSUR.
- Nyland, R. D. (1996). *Silviculture. Concepts and Applications*. McGraw Hill. New York, NY, USA. 633 p
- Marini, L., Ayres, P.M., Battisti, A., Faccoli, M. (2012). Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change* 115, 327–341.
- Mathus Alonso, M., López Pardo, G., Gasca Zamora, J., Villavicencio, B.P. (2010). La gestión comunitaria de recursos naturales y ecoturísticos en la Sierra Norte de Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México II Ec. Ciudad de México, México.
- Morales-Rangel, A., Cambrón-Sandoval, V. H., Soto-Correa, J. C., Jones, R.W., Obregón-Zuñiga, J. A. (2018) Efecto de la temperatura en poblaciones de *Dendroctonus frontalis* Zimmerman y *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) bajo un escenario de cambio climático en la Sierra Gorda queretana. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 34,1–8.

- Musálem, M. A., A. Velázquez y M. J. González. (1991). Repoblación natural de bosques templados-fríos en la región central de México. *Agrociencia serie Recursos Naturales Renovables* 1(3): 55-75.
- Raffa, K. F., Aukema, B. H., Bentz, B. J., Carroll, A. L., Hicke, J. A., Turner, M. G. & Romme, W. H. (2008). Cross-scale Drivers of Natural Disturbances Prone to Anthropogenic Amplification: The Dynamics of Bark Beetle Eruptions. *Bio-Science* 58:501-517. DOI: 10.1641/B580607
- Rivera Jiménez, E., Regino Maldonado, J., Pérez Rosas, B., Luis Santiago, M., García Hernández, J., Lázaro Juárez, E., Ruiz Jiménez, A. (2019). La plaga por descortezador en Oaxaca, México: análisis con ecuaciones estructurales. *Contribución Al Conocimiento Científico y Tecnológico En Oaxaca*, ISSN: 2594(3).
- Rubin-Aguirre, A., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R., del-Rio-Mora, A.A., Tena-Morelos, C.A., Campos-Bolaños, R., del-Val, E. (2015). Bark beetle pest in an altitudinal gradient of a Mexican managed forest. *Forest. Ecol. Manag.* 343, 73-79.
- Sáenz Romero, C., Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Duval, P., St. Amant, R., Beaulieu, J., Richardson, B. A. (2010) Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates of Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climate Change*, 102(3), 595–623.
- Safranyik, L., Carroll, A.L., Régniere, J., Langor, D.W., Riel, W.G., Shore, T.L., Peter, B., Cooke, B.J., Nealis, V.G., Taylor, S.W. (2010). Potential for range expansion of mountain pine beetle into the boreal forest of North America. *Can. Entomol.* 142, 415-442.
- Salinas-Moreno, Y., Mendoza Correa, G., Barrios, M. A., Cisneros, R., Macías-Sámamo, J. y Zúñiga, G. (2004). Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) in Mexico. *Journal of Biogeography*. 31:1163-1177.
- Salinas-Moreno, Y., Vargas, C. F., Zúñiga, R. J., & Ager, V. A. (2010). Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. Instituto Politécnico Nacional, Comisión Nacional Forestal. México, DF, México.
- Salinas-Moreno, Y.; Ager, A.; Vargas, C.F.; Hayes, J.L.; Zúñiga, G. (2010a). Determining the vulnerability of Mexican pine forests to bark beetles of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Forest Ecology and Management*.

260: 52-61.

- Sánchez-Martínez, G., Torres-Espinosa, L. M., Vázquez-Collazo, I., González-Gaona, E. y Narváez-Flores, R. (2007). Monitoreo y manejo de insectos descortezadores de coníferas. Libro Técnico No. 4. INIFAP. CIRNOC. Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes, Méx. 107 p.
- Santiago, R. R., Pérez, G. Á., Tapia, R. C., Manuel, V., Alcalá, C., Plascencia, O., Rosa, D. La. (2015). Efectos del manejo forestal en la repoblación de *Pinus* spp. en la Sierra Norte de Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 6(32), 49–62.
- Sosa-Díaz, L., Méndez-González, J., García-Aranda, M. A., Cambrón-Sandoval, V. H., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Ruiz-González, C. G., y Montoya-Jiménez, J. C. (2018). Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas de México Librado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 187–208
- Weed, A.S., Ayres, M.P. y Hicke, J.A. (2013). Consequences of climate change for biotic disturbances in North American Forests, *Ecological Monographs* 83: 441-470.
- Wood, S. L. (1982). The Bark Ambrosia Beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae): a taxonomic monograph. *Great Basin Nat.* 6: 1–1359.
- Yan, Z., Sun, J. D. O., y Zhang, Z. (2005). The red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Scolytidae): an exotic invasive pest of pine in China. *Biodivers. Conserv.* 14: 1735–1760.
- Zacarías Eslava, Y., Castillo, R. F. D. (2010) Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, (87), 13–28.
- Zúñiga, G., Mendoza Correa, G., Cisneros, R., y Salinas-Moreno, Y. (1999). Zonas de sobreposición en las áreas de distribución geográfica de las especies mexicanas de *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae) y sus implicaciones ecológicoevolutivas. *Acta Zoológica Mexicana*, 77:1-22.
- Vega, F.E. & Hofstetter, R.W. (eds.), Bark Beetles, Biology and Ecology of Native and Invasive Species. Elsevier, CA, USA.

## ANEXOS

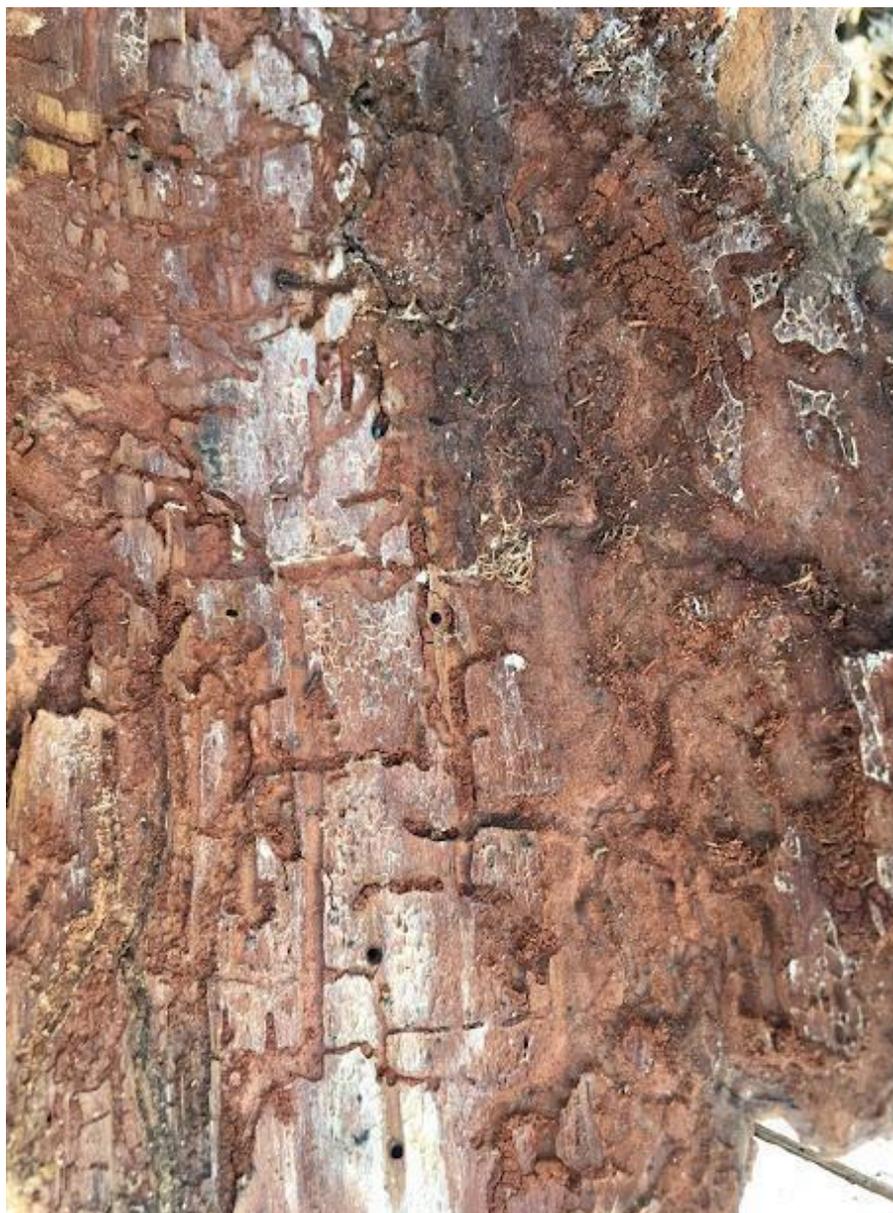
Anexo 1. Trampa Lindgren de 12 unidades para el muestreo de escarabajos descortezadores en el bosque de Santa Catarina Lachatao durante el periodo de marzo a agosto de 2019.



Anexo 2. Evidencia de pino atacado por descortezador, donde se aprecian grumos de resina la cual es arrojada por el pino como mecanismo de defensa contra ataques de estos insectos.



Anexo 3. Evidencia de pino atacado por descortezador, donde se aprecian galerías con aserrín hechas por las larvas de escarabajo descortezador cuando se alimentan del floema del pino.



#### Anexo 4. Guion de la entrevista semiestructurada.

La entrevista semiestructurada se dividió en dos secciones:

##### **1) Organización y contexto social de Santa Catarina Lachatao:**

¿Qué es pueblos Mancomunados?

¿Cuál es el propósito de pertenecer a Pueblos Mancomunados?

¿Desde hace cuánto pertenecen a Pueblos Mancomunados?

¿Cómo se organizan las comunidades que pertenecen a Pueblos Mancomunados?

¿Cómo se organizan en Santa Catarina Lachatao?

¿Quiénes participan en la toma de decisiones en Santa Catarina Lachatao?

##### **2) Manejo forestal en Santa Catarina Lachatao:**

Esta sección, a su vez se dividió en dos partes;

###### **a) Tipos de manejo**

¿Cómo se le conoce a este sitio?

¿Realizan actividades aquí?

¿Cuáles y quiénes las realizan?

¿Desde hace cuánto las realizan?

###### **b) Plaga del escarabajo descortezador**

¿Conoce la plaga del escarabajo descortezador?

¿Este sitio ha tenido plaga del escarabajo descortezador?

¿Hace cuánto vieron que el sitio tenía plaga?

¿Hicieron algo para controlar la plaga?

¿Quiénes participaron en el control de la plaga?

Anexo 5. Cuatro caminos, sitio con mayor daño por plaga de escarabajo descortezador en el bosque de Santa Catarina Lachatao.



Anexo 6. Loma de Ocote, sitio con reincidencia de plaga de escarabajo descortezador en el bosque de Santa Catarina Lachatao.



Anexo 5. Vista dorsal de los escarabajos descortezadores encontrados en el bosque de Santa Catarina Lachatao. A la izquierda se pone referencia de su tamaño, a la derecha en miniatura se aprecia el margen de variación en su tamaño (imagen modificada de Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018).

