

Suplemento XXI Simposio Nacional de Parasitología Forestal

## Manejo forestal y control de escarabajos descortezadores en Santa Catarina Lachatao, Oaxaca

*Forest management and bark-beetle control in  
Santa Catarina Lachatao, Oaxaca*

Tania Alhelí Cruz-Mejía y Ek del-Val\*

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Antigua Carretera a Pátzcuaro Núm. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de La Huerta, 58190 Morelia, Michoacán, México

\*Autor para correspondencia: ekdelval@iies.unam.mx (E. del-Val)

Recibido: 09 noviembre 2024; aceptado: 09 abril 2025

### Resumen

El cambio climático ha favorecido el incremento de las poblaciones de escarabajos descortezadores del género *Dendroctonus* en los bosques de pino debido al aumento de temperaturas e incidencia de sequías. En México, estos brotes han causado la muerte de millones de pinos, afectando la economía forestal y los ecosistemas silvestres. Algunas comunidades mitigan estos impactos mediante sus esquemas de manejo forestal. En este estudio, con un enfoque participativo, evaluamos la presencia de escarabajos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, con el objetivo de describir su diversidad y los factores ambientales que la determinan, así como el estado fitosanitario del bosque. Además, se evaluó el contexto político y social en torno al manejo forestal. Se reporta una amplia diversidad de escarabajos del género *Dendroctonus* representada por 6 especies (*D. adjunctus*, *D. frontalis*, *D. mexicanus*, *D. approximatus*, *D. parallelcollis* y *D. valens*). Los resultados indican que el bosque de Santa Catarina Lachatao se encuentra en buenas condiciones fitosanitarias gracias al manejo forestal implementado, a pesar de los brotes de *Dendroctonus*. La participación activa de la comunidad en la investigación subraya la importancia de la gestión forestal comunitaria para conservar un bosque sano y resiliente.

*Palabras clave:* Bosque templado; *Dendroctonus*; Manejo comunitario; *Pinus*; Scolytinae

### Abstract

Climate change has favored the increase of bark beetle populations of the genus *Dendroctonus* in pine forests due to rising temperatures and droughts. In Mexico, these outbreaks have caused the death of millions of pine trees, affecting both the forestry economy and natural ecosystems. Some communities mitigate these impacts through their forest management schemes. In this study, using a participatory approach, we assessed the presence of bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the forest of Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, with the aim

of describing their diversity and the environmental factors that determine it, as well as the forest's phytosanitary condition. Additionally, we evaluated the political and social context surrounding forest management. We report a wide diversity of *Dendroctonus* species, represented by 6 species (*D. adjunctus*, *D. frontalis*, *D. mexicanus*, *D. approximatus*, *D. parallelocollis*, and *D. valens*). The results indicate that the forest of Santa Catarina Lachatao is in good phytosanitary condition thanks to the implemented forest management, despite the presence of *Dendroctonus* outbreaks. The active participation of the community in the research highlights the importance of community-based forest management for maintaining healthy and resilient forests.

**Keywords:** Temperate forests; *Dendroctonus*; Local management; *Pinus*; Scolytinae

## Introducción

Los bosques templados tienen una gran importancia ecológica y económica debido a los servicios que proveen a las personas, como protección de suelos, regulación y provisión hídrica, mitigación de daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos, hábitat de vida silvestre y conectividad biológica, preservación de áreas para recreación, valores rituales y del paisaje (Challenger y Soberón, 2008; Díaz et al., 2015). Asimismo, son reservorios de carbono por lo que son fundamentales en la mitigación del cambio climático (Challenger y Soberón, 2008; Chapela y Merino, 2019).

México es el centro de origen y diversificación del género *Pinus*, cuantificando 50% del total de especies conocidas del género (Challenger, 2003; Challenger y Soberón, 2008; Koleff et al., 2004). Los bosques mexicanos son relevantes en términos mundiales por la alta biodiversidad que albergan, así como por la experiencia de manejo forestal mediante esquemas comunitarios (Chapela y Merino, 2019).

En México 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 solo abarcan 5.2 millones de hectáreas en el país (INEGI, 2005; INEGI-Conabio-INE, 2007).

El cambio climático ha incidido sobre algunas poblaciones de animales y les ha permitido aumentar su intervalo de distribución latitudinal y altitudinal en los bosques templados (Bale et al., 2002; Gitai et al., 2002; Jepsen et al., 2008). En particular, las sequías y altas temperaturas que se han experimentado en los últimos años han favorecido a las poblaciones de las especies del género *Dendroctonus* especialistas del género *Pinus* (Cudmore et al., 2010; FAO, 2010; Marini et al., 2012; Safrayik y Wilson, 2006). Esto tiene mayor relevancia, ya que dentro de este género se encuentran especies con comportamiento agresivo, capaces de matar árboles sanos a diferentes escalas ecológicas, y por lo tanto considerarse

plagas (Armendáriz-Toledano et al., 2018; Castellanos-Bolaños et al., 2013; Raffa et al., 2015).

Se han documentado incrementos poblacionales en varias especies agresivas de *Dendroctonus*, así como un aumento en el número de generaciones que pueden tener por año (Biedermann et al., 2019; Hart et al., 2014; Ning et al., 2021). Específicamente, en Norteamérica se están experimentando daños severos por incremento de la frecuencia de infestaciones en lugares donde estos escarabajos eran escasos y en áreas fuera de su distribución nativa (Creeden et al., 2014; Weed et al., 2013). En México, se han reportado casos en los que brotes recientes de escarabajos descortezadores han ocasionado importantes pérdidas en los bosques de coníferas (Conafor, 2014).

Aunque los pinos han interactuado históricamente con los escarabajos descortezadores, las disruptivas climáticas recurrentes han afectado su salud. El aumento de temperatura induce estrés fisiológico, debilitando sus defensas y favoreciendo los brotes de algunas especies de descortezadores (Boyd et al., 2013; Dukes et al., 2009; Weed et al., 2013). Cuando los árboles están debilitados, producen menos resina o dejan de hacerlo, al reducirse en los ductos del xilema, los insectos acceden al floema con facilidad, provocando la muerte de los pinos (Dukes et al., 2009; Gaylord et al., 2015; Raffa et al., 2008). Sin embargo, es evidente que aún se requieren investigaciones sobre la resiliencia de los ecosistemas ante el cambio climático, que permitan realizar predicciones más precisas. El aumento de brotes de *Dendroctonus* en México también ha impactado al estado de Oaxaca. En el periodo de 2004 a 2009 brotes de las especies primarias *D. adjunctus*, *D. mexicanus* y *D. frontalis* afectaron alrededor de 6,300 ha de bosque, cuantificando un volumen aproximado de madera de 957,400 m<sup>3</sup> (Castellanos-Bolaños et al., 2013). Aunado a ésto, la precipitación anual e índice de infiltración disminuyeron considerablemente en los bosques de Oaxaca como consecuencia del cambio climático, lo que ocasionó incendios forestales con mayor frecuencia, disminución de la cubierta forestal y proliferación del escarabajo descortezador (Rivera-Jiménez et al., 2019).

Oaxaca es considerado como un centro de diversificación de pinos en el país, donde se reportan 14 especies de *Pinus* (Del-Castillo et al., 2004) y 7 especies de escarabajos del género *Dendroctonus* (Salinas-Moreno et al., 2010). Dadas estas características y aunado a las recientes sequías recurrentes, se ha considerado que varias regiones del estado presentan un alto riesgo de brotes de escarabajos descortezadores lo que significa una amenaza potencial para sus bosques (Cibrian et al., 1995; Durán y Poloni, 2014; Farjon, 1996; Salinas-Moreno et al., 2010). Aunque el impacto de estos escarabajos 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 control de *Dendroctonus* y los avances tecnológicos para monitorear las plagas, la vía más exitosa para su control sigue siendo la remoción mecánica de los árboles infestados (Castellanos-Bolaños et al., 2013; Cibrián-Tovar et al., 1995, 2015; Durán y Polini, 2014).

En este contexto, el manejo forestal comunitario resulta fundamental para enfrentar dichos desafíos (Cibrián-Tovar y Macías-Sámano, 2021). En este estudio, este tipo de manejo forestal se entiende como un conjunto integral de prácticas comunitarias, basadas en conocimientos tradicionales y adaptadas a las condiciones ecológicas y culturales locales. Dentro de este enfoque, la recolección de leña, el ecoturismo y los saneamientos forestales se incorporan como componentes de un mosaico de actividades, lo que permite una gestión flexible y adaptativa del ecosistema forestal. Asimismo, el manejo forestal comunitario integra la conservación, el aprovechamiento sostenible y el uso diversificado de los recursos, facilitando la resiliencia y el mantenimiento de los bosques (Toledo, 2013; Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

El 85% de los bosques de Oaxaca está en tierras de propiedad social, por ello, el saneamiento forestal y el manejo deben considerar aspectos socioculturales e institucionales, así como a las comunidades y actores involucrados (Bray, 2013). En el estado, los esquemas de gobernanza local sólidos han permitido experiencias exitosas de manejo, aprovechamiento maderero y conservación (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 (Bray et al., 2012; Mathus-Alonso et al., 2010). En las comunidades y ejidos forestales se ha optado por el control de plagas forestales bajo esquemas de gobernanza de múltiple

escala, lo que implica la confluencia de distintos actores interesados en resolver dicha problemática. Los actores externos (local, gubernamental, académico, conservacionista) suman esfuerzos con las comunidades y ejidos forestales para aportar a través de capacitaciones, investigaciones, difusión de información y otras actividades que, en conjunto con el manejo forestal comunitario, fortalecen el conocimiento y las prácticas dirigidas a mantener bosques saludables (Durán y Polini, 2014; Gasca-Zamora, 2014; Mathus-Alonso et al., 2010).

Durante el periodo de 2004 a 2009 se registraron afectaciones importantes por ataques de escarabajos del género *Dendroctonus* en 98 comunidades. La región de Pueblos Mancomunados, conformada por los municipios de Santa Catarina Lachatao, Amatlán y Yavesía fue la más afectada. (Castellanos-Bolaños et al., 2013). Dado que los datos disponibles en la literatura científica y en los informes institucionales oficiales son muy generales (Pacheco-Aquino y Durán, 2023), se seleccionó a la comunidad de Santa Catarina Lachatao como estudio de caso para este proyecto. Esta comunidad manifestó un interés activo por disponer de información detallada que contribuyera a mejorar el manejo forestal y el control de plagas. En consecuencia, el presente proyecto se diseñó desde un enfoque participativo en el que la comunidad se involucró en el desarrollo de la investigación. El objetivo fue documentar y evaluar la eficiencia del manejo forestal comunitario para el control del escarabajo descortezador en Santa Catarina Lachatao en parcelas de bosque bajo diferente manejo, así como la cuantificación de la abundancia de *Dendroctonus frontalis*, *D. mexicanus* y *D. adjunctus*.

## Materiales y métodos

Santa Catarina Lachatao (SCL) se encuentra al este del estado de Oaxaca entre las coordenadas 17°05'-17°17' N, 96°27'-96°33' O, en un gradiente altitudinal entre 1,800 y 3,200 m snm. La temperatura media promedio oscila entre 10 y 20 °C, con un rango de precipitación total anual de 800 a 1,200 mm. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (95.84%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano (2.31%) y templado húmedo con abundantes lluvias en verano (1.85%) (Fernández et al., 2013; INEGI, 2010). La cubierta de la comunidad es bosque templado, el cual se compone de asociaciones mixtas de pino-encino y encino-pino. La tenencia de la tierra es comunal y se rigen por el sistema de gobierno por usos y costumbres (Fernández et al., 2013; INEGI, 2010).

SCL 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 ha y los comuneros de las 8 poblaciones eran poseedores de los recursos naturales dentro del área. Sin embargo, cada comunidad tenía un área determinada de la que tenía que hacerse responsable (DOF, 1961; Rojas-Serrano y Martínez-Corona, 2017).

Pueblos Mancomunados era considerado una comunidad indivisible; sin embargo, algunos municipios comenzaron a manifestar su desacuerdo con esta figura colectiva, debido a diferencias en la gestión y el manejo de los recursos naturales. Por ello, en 1961 se les reconocen los bienes comunales a Santa Catarina Lachatao, Amaflán y Yavesía, ésto ha derivado en tensiones y conflictos intracomunitarios recurrentes (DOF, 1961). Actualmente, se encuentran delimitando el territorio que correspondería a cada municipio, agencias municipales y agencias de policía.

En la comunidad de SCL, 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 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 ésta se distribuyen las tareas entre las personas de la comunidad y se asignan a las personas que ocuparán cargos comunales y cargos de autoridades (Bello-Cervantes, 2015; Rojas-Serrano y Martínez-Corona, 2017).

Con la finalidad de conocer el manejo forestal en la comunidad de SCL, así como las medidas para el control de las poblaciones de las especies de escarabajo descortezadores reportadas en la región, se realizaron 15 entrevistas semiestructuradas entre marzo y julio de 2019. Entre las personas entrevistadas se encontraba el encargado comunal del bosque, representantes comunales vigentes durante el periodo de muestreo, autoridades anteriores, guías turísticos y personas que realizaban alguna actividad en el bosque.

Los sitios para evaluar la presencia y abundancia de escarabajos descortezadores se eligieron en conjunto con la comunidad, seleccionando los sitios en los que los habitantes habían identificado brotes de descortezadores atípicos. Se seleccionaron 6 sitios separados entre sí por lo menos por 1,500 m y en un gradiente altitudinal entre 1,937 y 2,755 m snm (tabla 1).

Para el muestreo de las comunidades de escarabajos descortezadores, se siguió la metodología empleada por Rubín-Aguirre et al. (2015). En cada uno de los sitios seleccionados se colocaron trampas Lindgren de 12 unidades sobre una estaca de metal y en claros en donde el pino más cercano estuviera, mínimo, a 10 metros de distancia de la trampa, para evitar la invasión a pinos cercanos. En cada trampa se agregó frontalina (feromonas) + alfa/beta-pineno (kairomona) y endo-brevicomina como atrayentes de escarabajos descortezadores, con especial énfasis en capturar especies agresivas de descortezadores (Macías-Sámano y Niño-Domínguez, 2016). En la base de cada trampa se colocó un contenedor plástico con anticongelante diluido al 50% con agua, con la finalidad de preservar los insectos capturados. Los insectos se recolectaron en conjunto con la comunidad, durante la época de secas cada 3 semanas por 5 meses, de marzo a julio de 2019, se preservaron en alcohol al 70% y se identificaron en el laboratorio con 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).

En cada sitio de muestreo, se evaluó el estado fitosanitario de las especies de pino utilizando la metodología descrita por del Río-Mora (2011), la cual se fundamenta en los indicadores sugeridos por Innes (1993) y Berryman (1986). El diseño de muestreo consistió en marcar 2 parcelas circulares de 25 m<sup>2</sup> cada una a 25 m de distancia de la trampa en cada sitio. Se optó por este diseño para maximizar la relevancia práctica, dada la realización del muestreo en conjunto con la comunidad.

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 se evaluó el vigor de los pinos.

Tabla 1  
Localidades de estudio con su altitud correspondiente.

Nombre del sitio	Altitud (m snm)
El Llano	1,937
Sin nombre	2,200
Yalahui	2,263
Cuatro Caminos	2,385
Loma de Ocote	2,628
Lodiu	2,755

Este último 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. En el contexto del presente estudio participativo, se adoptó esta metodología por su facilidad de aplicación al permitir que las personas de la comunidad evaluaran el estado fitosanitario del bosque sin requerir conocimientos técnicos especializados. Se registró si los árboles presentaban síntomas de ataque por *Dendroctonus* en el momento de la evaluación (p. ej., grumos de resina sobre la corteza) o si presentaba marcas de haber sufrido un ataque anterior (p. ej., orificios con aserrín o galerías en la corteza sin escarabajos). Esta aproximación integrada facilita la interpretación de los datos y el seguimiento de la dinámica de infestaciones en un marco de manejo forestal comunitario.

Para analizar si había diferencias en el vigor de los pinos entre sitios de muestreo, se realizó una prueba de  $X^2$  que comparó las categorías del arbolado. También se efectuó un análisis de componentes principales (PCA) como herramienta exploratoria para categorizar los tipos de manejo y observar si existía algún tipo de agrupación entre los sitios muestreados; las variables utilizadas en el PCA fueron: extracción de leña, actividades de ecoturismo, sin manejo actual, saneamiento oportuno y saneamiento inoportuno. Adicionalmente, se aplicó una regresión lineal utilizando las 2 primeras dimensiones del PCA con el fin de determinar si los distintos tipos de manejo forestal influían en la abundancia de los escolítidos del género *Dendroctonus*. Este enfoque combinado (PCA + regresión) brinda una manera de explorar patrones en los datos y probar si dichos patrones tienen un efecto estadísticamente significativo en la abundancia de los descortezadores.

## Resultados

El 2003 fue el primer año en el que se identificaron los brotes de plaga de escarabajos descortezadores en 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, la Conafor trató de llegar a acuerdos con 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 2009, debido a la preocupación general de la comunidad de Lachatao, cuando las mismas personas comenzaron a controlar la plaga sin intervención de expertos. 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 2010 en Cuatro Caminos (2,385 m snm) contrataron a una empresa privada para que realizara el saneamiento, debido a que la plaga estaba muy propagada. En este sitio, se consideró que el saneamiento fue 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 fueron demandados 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 y por la Norma Oficial Mexicana NOM-019-RECNAT-2006, que establece los lineamientos técnicos para el combate y control de los insectos descortezadores de las coníferas, por lo que se les impidió hacer uso de esa madera. El sitio se dejó sin manejo y no se intentó reforestar en los años siguientes; para el 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, a pesar de que en su momento fue considerado inoportuno.

En 2013, en Loma de Ocote (2,628 m snm), se detectó un rebrote de la plaga. Aprendiendo de su experiencia anterior, los habitantes de SCL iniciaron las acciones de control inmediatamente derribando los pinos afectados y notificando a Conafor. Esto se consideró un saneamiento oportuno sin pérdidas mayores. Ese mismo año, también fue el último en el que se tomaron acuerdos entre las comunidades que conformaban Pueblos Mancomunados para extraer madera sana y dañada del área correspondiente a SCL. Estos hechos confirmaron la importancia de una visión ya arraigada en la comunidad: en SCL, 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 del mismo. Con respecto al manejo forestal comunitario, se identificaron 3 principales actividades de los sitios de muestreo establecidos para este estudio en SCL: extracción de leña, ecoturismo, saneamiento forestal de plaga del escarabajo descortezador (con 2 categorías: oportuno e inoportuno) y se agregó una cuarta categoría, sin manejo actual.

La extracción de leña se realiza en 3 sitios: El Llano, Yalahui y Lodiú (1,937, 2,263 y 2,755 m snm, respectivamente) y es para consumo local, solo extraen personas de la comunidad de Lachatao y de la comunidad de Yavesía. El Llano (1,937 m snm) fue el único sitio donde se realizan actividades de ecoturismo. Se le otorgó la categoría de saneamiento oportuno al control que se

realizó inmediatamente después de identificar el brote en Yalahui (2,628 m snm). Por otro lado, el saneamiento inoportuno se definió como aquel que se demoró en controlar la plaga y se propagó al punto de tener que realizar un saneamiento más agresivo en Cuatro Caminos (2,385 m snm). A la fecha del muestreo se encontraron 3 sitios sin manejo, es decir, donde no se realiza ninguna actividad forestal: Sin nombre, Cuatro Caminos y Yalahui (2,200, 2,385 y 2,628 m snm, respectivamente).

Durante los 5 meses de muestreo se recolectaron 13,948 insectos que fueron clasificados a nivel de orden, de los cuales 4,477 individuos pertenecen a géneros de escarabajos descortezadores. El género más abundante y para el que se identificaron a una categoría de especie los individuos recolectados, fue *Dendroctonus* ( $n = 4,033$ ). Se reportaron 3 especies primarias: *D. mexicanus* ( $n = 2,080$ ), *D. frontalis* ( $n = 1,249$ ) y *D. adjunctus* ( $n = 493$ ), y la presencia de 3 especies secundarias: *D. valens*, *D. parallelcollis* y *D. approximatus*.

Con respecto a los diferentes sitios estudiados, la abundancia de *Dendroctonus* varió de entre 2 y 6 especies; en El Llano se encontraron únicamente 2 especies, en Sin nombre, Yalahui, Cuatro Caminos y Loma de ocote se encontraron 4 especies y en Lodiú 6 especies (tabla 2). Las especies que estuvieron presentes en más sitios fueron *D. mexicanus*, *D. valens* y *D. approximatus* (5 sitios), mientras que *D. adjunctus* estuvo presente en 4 sitios, *D. frontalis* en 3 y *D. parallelcollis* en un solo sitio. En términos de abundancia de escarabajos, *Dendroctonus* tuvo una variación significativa ( $\bar{X} = 670 \pm 945$ ), el sitio con mayor abundancia presentó 2,433 individuos (Cuatro Caminos), mientras que en el sitio Sin nombre se registraron únicamente 57 individuos.

Se identificaron 3 especies de *Pinus*: *P. teocote*, *P. pseudostrobus* y *P. patula*. El sitio con mayor riqueza de especies fue Lodiú (2,755 m snm), donde se encontraron las 3 especies de *Pinus*, en el sitio Sin nombre

(2,200 m snm) se encontraron 2 especies (*P. teocote* y *P. pseudostrobus*), al igual que en Cuatro Caminos (2,385 m snm) (*P. teocote* y *P. patula*), en El Llano, Yalahui y Loma de Ocote (1,937, 2,263 y 2,628 m snm, respectivamente) solo se identificó 1 especie (*P. teocote*). En las parcelas estudiadas encontramos un rango de abundancias de *Pinus* entre 32 y 12 individuos por parcela. El Llano (1,937 m snm) presentó la mayor abundancia mientras que Cuatro Caminos y Loma de Ocote (2,385 y 2,628 m snm, respectivamente) fueron los sitios con menor abundancia donde se realizó saneamiento para controlar la plaga por descortezador.

En cuanto al vigor del arbolado, se observa que la mayoría de los pinos se encuentra dentro de las primeras 3 categorías de vigor, pero hubo diferencias significativas entre sitios ( $X^2 = 86.3$ ,  $gl = 25$ ,  $p = 0.05$ ), particularmente en Cuatro Caminos y Loma de Ocote que son los sitios con saneamiento (2,385 y 2,628 m snm) no hay árboles muy dañados (categorías de vigor 5 y 6; fig. 1).

Finalmente, los resultados del PCA muestran que 79% de la variación observada en los sitios muestreados está fuertemente asociada con el tipo de manejo forestal que se realiza. En este sentido, se identificó que las prácticas de extracción de leña y la ausencia de manejo actual son las principales variables que explican la diferenciación de los sitios, seguidas por el saneamiento forestal, mientras que el ecoturismo tuvo una contribución menor (fig. 2). Para evaluar si el manejo llevado a cabo en SCL se relaciona con las abundancias de escarabajos descortezadores, analizamos la abundancia total de *Dendroctonus* y la abundancia de *D. mexicanus* con respecto a la dimensión 1 del PCA. Encontramos que los análisis no evidencian una relación significativa entre el manejo forestal y la abundancia total de *Dendroctonus* cuando se consideran todas las especies juntas ( $D^1 = F_{1,4} = 3.4$ ,  $p = 0.14$ ). En contraste, *D. mexicanus*, la especie más abundante sí muestra una relación positiva con la dimensión 1 del PCA; en particular, los sitios en donde se ha realizado manejo presentan una mayor abundancia de esta especie ( $D^1 = F_{1,4} = 31.17$ ,  $p = 0.005$ ,  $R^2 = 0.88$ ; fig. 3).

## Discusión

Los escarabajos descortezadores cumplen una función ecológica clave al eliminar árboles adultos y permitir la regeneración de los pinos al facilitar la entrada de luz al sotobosque. Sin embargo, algunas especies tienen un alto potencial de convertirse en plagas forestales, por lo que es crucial monitorear sus poblaciones para evitar crecimientos descontrolados (Castellanos-Bolaños et al., 2009; Durán y Poloni, 2014; Equihua-Martínez et al., 2011; Raffa et al., 2008). El manejo forestal es fundamental para

Tabla 2

Riqueza de especies de los sitios de estudio.

Nombre del sitio	Altitud (m snm)	Riqueza de <i>Dendroctonus</i>	Riqueza de <i>Pinus</i>
El Llano	1,937	2	1
Sin nombre	2,200	4	2
Yalahui	2,263	4	1
Cuatro Caminos	2,385	4	2
Loma de Ocote	2,628	4	1
Lodiú	2,755	6	3

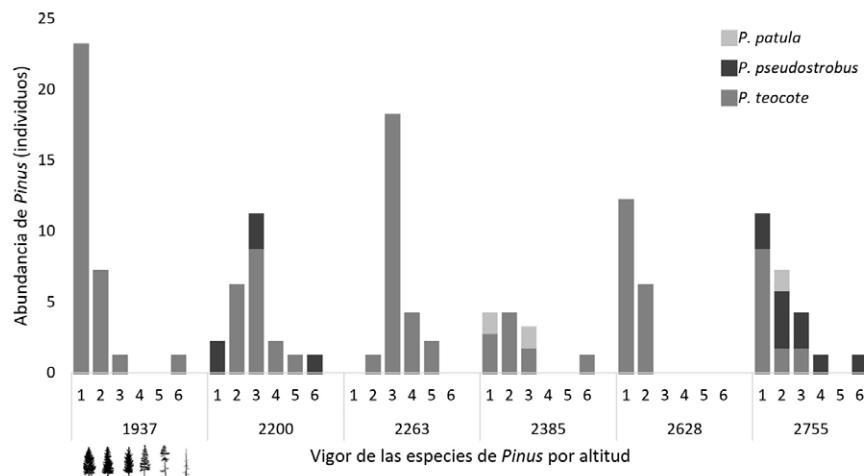


Figura 1. Vigor del arbolado por categorías en los 6 sitios de muestreo seleccionados en el bosque de Santa Catarina Lachatao, Oaxaca, donde 1 representa a un árbol en perfecto estado y 6 representa a un árbol muerto.

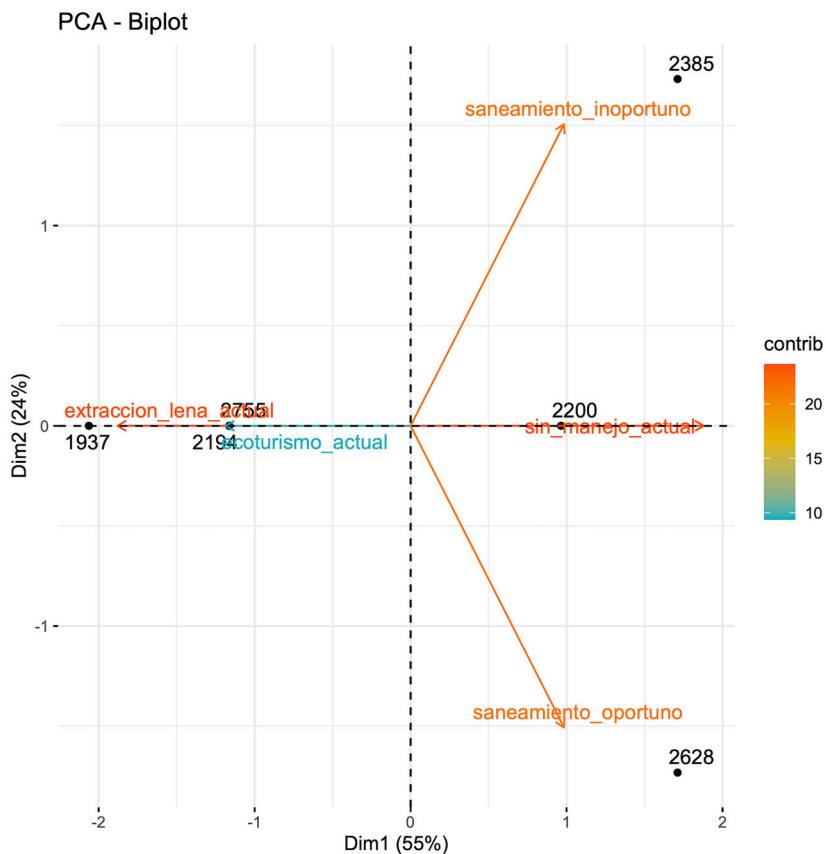


Figura 2. Análisis de componentes principales, donde se observa la agrupación de los sitios de estudio. Cada sitio está representado por su altitud. El color de la flecha refleja la contribución de cada variable al análisis.

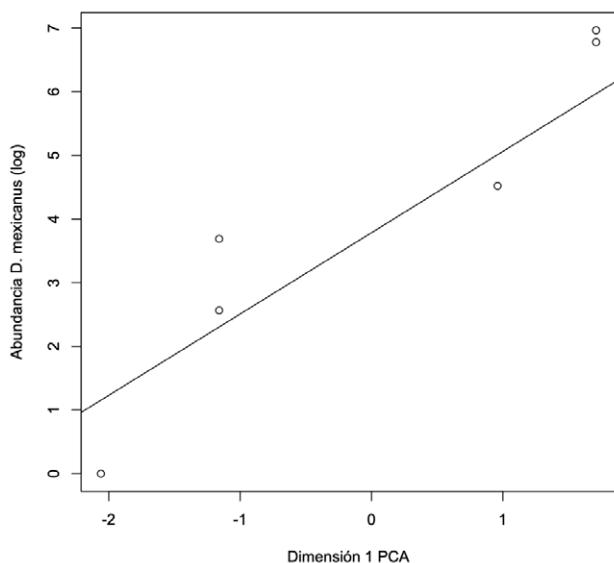


Figura 3. Relación entre la dimensión 1 del PCA y la abundancia de *Dendroctonus mexicanus* por sitio (escala logarítmica).  $D^1 = F_{1,4} = 31.17$ ,  $p = 0.005$ ,  $R^2 = 0.88$ .

la detección y control oportuno de plagas. Conocer estas especies permite identificarlas a tiempo, destacando la importancia del monitoreo y saneamiento en colaboración con comunidades y ejidos forestales (Castellanos-Bolaños et al., 2013; Conafor, 2018). En este estudio, en SCL se encontraron 6 de las 7 especies de *Dendroctonus* reportadas para Oaxaca (Cibrián-Tovar et al., 1995; Salinas-Moreno et al., 2010) y se registraron 3 especies de *Pinus*, por lo que se puede decir que hay una alta riqueza de estos escarabajos. Dentro de esta diversidad se encontraron 3 especies agresivas o capaces de matar árboles sanos (*D. adjunctus*, *D. frontalis*, *D. mexicanus*) y 3 que muestran una baja capacidad de agregación de adultos, una baja tolerancia a las defensas del hospedador y son incapaces de matar árboles sanos (Payne et al., 1973): *D. approximatus*, *D. parallelcollis*, *D. valens*; de tal manera que no todos los congénéricos registrados en SCL se deberían considerar como especies susceptibles a tratamientos fitosanitarios.

La abundancia total de escarabajos descortezadores encontrados y específicamente la abundancia de las especies de importancia fitosanitaria en SCL (4,033 individuos, de los que 3,822 son especies agresivas, de los cuales 1,249 eran *D. frontalis*, 2,080 eran *D. mexicanus* y 493 eran *D. adjunctus* recolectados en 5 meses) es menor en comparación con la reportada en otros sitios, ~ 50,000 en 9 meses en Zimapán, Hidalgo (Soto-Correa et al., 2019), ~ 134,000 en 10 meses en la Reserva de la

Biosfera de la Sierra Gorda (López-Gómez et al., 2017), y similar a los ~ 40,000 descortezadores en 11 meses al norte del estado de Querétaro (Morales-Rangel et al., 2018). Esta comparación debe interpretarse con cautela, dado que las diferencias en las condiciones del bosque, los períodos de muestreo y la composición de los atractantes utilizados dificultan establecer comparaciones directas. Debido a la falta de una línea base en el contexto local, estos resultados deben tomarse más a modo preliminar. En este contexto, pareciera que las abundancias actuales no están indicando un problema importante en ninguno de los sitios muestreados. Sin embargo, es fundamental mantener un monitoreo comunitario activo (Cibrián-Tovar y Macías-Sámano, 2021).

El brote masivo de escarabajos descortezadores reportado en las entrevistas realizadas en SCL coincide con los períodos reportados en los informes generales en que se presentaron grandes brotes en más comunidades en la sierra Norte de Oaxaca. En el período de 2004 a 2009, más de 6,300 ha de bosques de pinos de Oaxaca fueron atacadas por los insectos descortezadores *D. adjunctus*, *D. mexicanus* y *D. frontalis* (Castellanos-Bolaños et al., 2009). Además, en el período de 2009 a 2014, Pueblos Mancomunados fue reportado como la región con mayor devastación de bosques causada por la plaga del escarabajo descortezador (Castellanos-Bolaños et al., 2013; Salinas-Moreno et al., 2010; Sosa-Díaz et al., 2018). Con lo anterior y aunado a la percepción local, se confirma 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, evitaron que el brote epidémico siguiera propagándose. Existen reportes de que en varios casos, el manejo efectivo de esta plaga se ha visto menguado por la existencia de conflictos comunitarios, 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., 2009; Conafor, 2018).

En varias comunidades con manejo forestal maderero donde se promueve el crecimiento de una o pocas especies maderables, en épocas recientes se han visto impactos más severos de los brotes de especies de descortezadores agresivas, debido a la poca diversidad tanto de especies como de generaciones de pinos (Castellanos-Bolaños et al., 2009; Conafor, 2014; Sánchez-Martínez et al., 2007). Sin embargo, el manejo forestal comunitario 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, únicamente para autoconsumo.

Rojas-Serrano y Martínez-Corona (2017) encontraron que en la comunidad de SCL se cree que la supervivencia del pueblo depende de la conservación del bosque. Gracias al monitoreo constante de los pobladores, el manejo tiene un bajo impacto en las dinámicas del ecosistema, lo que permite que el bosque conserve su capacidad de resistencia y recuperación ante disturbios naturales.

El hecho de haber encontrado una relación entre las prácticas de manejo forestal y las abundancias del descortezador *D. mexicanus* pone de manifiesto que las áreas previamente saneadas deberían continuar bajo monitoreo comunitario activo, puesto que tienen el mayor potencial de generar nuevos brotes. Debido a que después de los saneamientos el bosque presenta árboles con tallas menores, estas áreas podrían ser menos susceptibles como se ha demostrado en otros estudios, donde comparan la susceptibilidad de ataque de árboles pequeños y grandes (Doak, 2004; Hutchinson y Reid, 2022; Koontz et al., 2021), no obstante, es fundamental continuar con el monitoreo comunitario para detectar los brotes nuevos de manera oportuna.

Debido a que la predicciones del cambio climático apuntan a un incremento en las temperaturas máximas y en las condiciones de sequía para México (Sáenz-Romero et al., 2010), y a que se ha demostrado que estas condiciones pueden influir en la dinámica poblacional de *Dendroctonus* —de forma que sus poblaciones tienen mayor tasa de supervivencia y reproducción (Billings, 2011; Sáenz-Romero et al., 2023)— a la par de un incremento en la susceptibilidad y estrés por parte de los pinos (Creeden et al., 2014; Raffa et al., 2008), es fundamental fortalecer y mantener un monitoreo de las poblaciones de descortezadores y evaluar continuamente la salud del bosque (Billings, 2011; Cibrián-Tovar y Macías-Sámano, 2021). Si bien el ecosistema posee mecanismos de resiliencia que pueden modular la respuesta de las poblaciones de insectos descortezadores ante cambios ambientales, los desafíos sin precedentes asociados al cambio climático requieren estrategias de manejo sustentable, adaptativo y comunitario. En este sentido, el enfoque participativo adoptado —que combinó la evaluación fitosanitaria con el conocimiento local— permitió una comprensión más integral de los efectos de los brotes de escarabajos descortezadores (Pacheco-Aquino y Durán, 2023). Asimismo, este enfoque resalta la importancia de la implementación de saneamientos oportunos (p. ej., en SCL) como una herramienta clave para mitigar el impacto de los descortezadores y contribuir a la conservación de los bosques en escenarios de variabilidad climática.

Los resultados de esta investigación nos indican que el bosque de Santa Catarina Lachatao presenta buenas condiciones fitosanitarias y refleja su resiliencia gracias al manejo comunitario y las acciones de control aplicadas tras el brote de escarabajos descortezadores entre 2003 y 2009, con un rebrote en 2013. Aunque las especies más abundantes del género *Dendroctonus* (*D. mexicanus*, *D. frontalis* y *D. adjunctus*) son consideradas las más agresivas para los sistemas forestales mexicanos, su tamaño poblacional en esta comunidad está muy alejado al de otras zonas que presentan brotes considerables de descortezadores. Sin embargo, es crucial mantener un monitoreo activo y participativo debido a su potencial epidémico, especialmente ante el aumento de sequías y estrés hídrico previsto por el cambio climático, lo que podría incrementar las infestaciones. Estos hallazgos subrayan la importancia de un manejo comunitario adaptativo para enfrentar futuros brotes en un contexto de cambio climático.

### Agradecimientos

A los pobladores y autoridades de la comunidad de Santa Catarina Lachatao por permitirnos trabajar en su territorio y compartir sus experiencias de manejo con nosotras. En particular a la familia Santiago Hernández, que fue crucial para el buen desempeño de la investigación. Todas las personas entrevistadas dieron su consentimiento para realizar el estudio.

### Referencias

- 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*. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional.
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K. et al. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8, 1–16.
- Bello-Cervantes, E. (2015). *Evaluación del deterioro ambiental del territorio Pueblos Mancomunados, Oaxaca: estudio con miras de restauración (Tesis de maestría)*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Biedermann, P. H. W., Müller, J., Grégoire, J., Gruppe, A., Hagge, J., Hammerbacher, A. et al. (2019). Bark beetle population dynamics in the Anthropocene: challenges and solutions. *Trends in Ecology & Evolution*, 34, 914–924. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.06.002>

- Billings, R. F. (2011). Mechanical control of southern pine beetle infestations. En R. N. Coulson y K. D. Klepzig (Eds.), *Southern pine beetle II. Gen. Tech. Rep. SRS-140* (pp. 399-413). Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station.
- Boyd, I. L., Freer-Smith, P. H., Gilligan, C. A. y Godfray, H. C. J. (2013). The consequence of tree pests and diseases for ecosystem services. *Science*, 342, 1235773. <https://doi.org/10.1126/science.1235773>
- 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. <https://doi.org/10.1353/lag.2013.0003>
- Bray, D. B., Durán, 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, 151-178.
- Castellanos-Bolaños, J. F., Maldonado-Arango, O., Piñeiro-Márquez, F., Hernández-Hernández, J. y Gómez-Cárdenas, M. (2009). Condición de los bosques afectados por insectos descortezadores en el estado de Oaxaca, México. *Memorias del XV Simposio Nacional de Parasitología Forestal*. Oaxaca, México.
- Castellanos-Bolaños, J. F., Ruiz-Martínez, E. O., Gómez-Cárdenas, M. y González-Cubas, R. (2013). *Fundamentos técnicos para el control de insectos descortezadores de pinos en Oaxaca. Folleto Técnico Núm. 40*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias/ Centro de Investigación Regional Pacífico Sur/ Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Villa de Etila, Oaxaca, México.
- 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* (pp. 17-44). Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología.
- Challenger, A. y Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En J. Soberón, G. Halffter y J. Llorente-Bousquets (Eds.), *Capital natural de México. Vol. I. Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 87-108). México D.F.: Conabio.
- 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*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cibrián-Tovar, D. y Macías-Sámano, J. E. (2021). Marco conceptual y desarrollo del manejo integrado de plagas MIPF. En D. Cibrián-Tovar (Ed.), *Fundamentos para el manejo de plagas forestales MIPF* (pp. 3-12). Texcoco: Universidad Autónoma Chapingo.
- Cibrián-Tovar, D., Méndez, J. T., Campos, R., Yates III, O. y Flores, J. (1995). *Insectos forestales de México*. Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo,
- Cibrián-Tovar, D., Quiñonez-Favila, S. A., Quiñonez-Barraza, S., Olivo-Martínez, J. A., Robles-Uribe, S., Hernández-
- Villa, L. et al. (2015). *Manual para la identificación y manejo de insectos descortezadores del pino: guía práctica para la identificación y manejo de los descortezadores del pino*. Ciudad de México: Conafor.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal). (2014). *Resultados del mapeo aéreo fitosanitario*. Oaxaca: Gerencia Estatal Oaxaca, Comisión Nacional Forestal.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal). (2018). *Programa Institucional de la Comisión Nacional Forestal 2014-2018. Avance y Resultados 2018*. México D.F.: Comisión Nacional Forestal, Gobierno de México.
- Creeden, E. P., Hicke, J. A. y Buotte, P. C. (2014). Climate, weather, and recent mountain pine beetle outbreaks in the western United States. *Forest Ecology and Management*, 312, 239-251.4 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.051>
- Cudmore, T.J., Björklund, N., Carroll, A. L. y Staffan-Lindgren, B. (2010). Climate change and range expansion of an aggressive bark beetle: evidence of higher beetle reproduction in native host tree populations. *Journal of Applied Ecology*, 47, 1036-1043. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01848.x>
- Del-Castillo, R. F., Pérez-de la Rosa, J. A., Vargas-Amado, G. y Rivera-García, R. (2004). Coníferas. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 141-158). México D.F.: Instituto de Biología, UNAM/ Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza/ World Wildlife Fund.
- del Río-Mora, A. (2011). *Manejo integrado de plagas forestales: un enfoque ecológico para la sustentabilidad de los ecosistemas forestales*. México D.F.: INIFAP.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N. et al. (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>
- Doak, P. (2004). The impact of tree and stand characteristics on spruce beetle (Coleoptera: Scolytidae) induced mortality of white spruce in the Copper River Basin Alaska. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 810-816 <https://doi.org/10.1139/x03-256>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (1961, 20 de octubre). Tomo CCXLVIII, núm. 41. Gobierno de México. <https://www.dof.gob.mx/>
- Dukes, J. S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J. R., Rodgers, V. L., Brazee, N. et al. (2009). Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict? *Canadian Journal of Forest Research*, 39, 231-248 <https://doi.org/10.1139/X08-171>
- Durán, E. y Poloni, A. (2014). Escarabajos descortezadores: diversidad y saneamiento en bosques de Oaxaca. Conabio. *Biodiversitas*, 117, 7-12
- Equihua-Martínez, A., Estrada-Venegas, E. G. y Burgos-Solorio, A. (2011). Descortezadores y barrenadores (Insecta: Coleoptera: Scolytidae). En A. Cruz Aragón (Ed.), *La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado* (pp. 367-370). México D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y

- Uso de la Biodiversidad/ Gobierno del Estado de Veracruz/ Universidad Veracruzana/ Instituto de Ecología, A.C.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2010). *Global forest resources assessment 2010 (Vol. 163)*. Rome: FAO.
- Farjon, A. (1996). Biodiversity *Pinus* (Pinaceae) in Mexico: speciation and palaeoendemism. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 121, 365–384. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1996.tb00762.x>
- Fernández, E. A., Romero, C. R. y 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>
- Gasca-Zamora, J. (2014). Gobernanza y gestión comunitaria de recursos naturales en la Sierra Norte de Oaxaca. *Región y Sociedad*, 26, 89–119. <https://doi.org/10.22198/rys.2014.60.a11>
- Gaylord, M. L., Kolb, T. E. y McDowell, N. (2015). Mechanisms of piñon pine mortality after severe drought: a retrospective study of mature trees. *Tree Physiology*, 35, 806–816. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv038>
- Gitai, H., Suárez, A., Watson, R. T. y Dokken, D. J. (2002). *Climate change and biodiversity*. Ginebra: IPCC Technical paper V. IPCC.
- Hart, S. J., Veble, T. T., Eisenhart, K. S., Jarvis, D. y Kulakowski, D. (2014). Drought induces spruce beetle (*Dendroctonus rufipennis*) outbreaks across northwestern Colorado. *Ecology*, 95, 930–939. <https://doi.org/10.1890/13-0230.1>
- Hutchinson, I. K. y Reid, M. L. (2022). Phloem and defense traits in relation to tree size and age: implications for host selection by bark beetles. *Forest Ecology and Management*, 513, 120183. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120183>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2005). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1 : 250 000. Serie III (continuo nacional)*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática)-Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad)-INE (Instituto Nacional de Ecología). (2007). *Ecorregiones de México, nivel IV, escala 1 : 1 000 000*. México D.F.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Instituto Nacional de Ecología.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2010). *Información Nacional por entidad federativa y municipios*. México D.F.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Innes, J. L. (1993). Methods to estimate forest health. *Silva Fenica*, 27, 145–157.
- Jepsen, J. U., Hagen, S. B., Ims, R. A. y Yoccoz, N. G. (2008) Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology*, 77, 257–264. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01339.x>
- Koleff, P., Soberón, J. y Smith, A. (2004). Madrean pine oak woodland. En R. A. Mittermeier, P. Robles-Gil, M. Hoffmann, J. D. Pilgrim, T. A. Brooks, C. G. Mittermeier et al. (Eds.), *Hotspots (Biodiversidad amenazada II). Nuevas ecorregiones terrestres prioritarias del mundo* (pp. 291–293). Monterrey, México: Cemex/ Agrupación Sierra Madre.
- Koontz, M. J., Latimer, A. M., Mortenson, L. A., Fettig, C. J. y North M. P. (2021). Cross-scale interaction of host tree size and climatic water deficit governs bark beetle-induced tree mortality. *Nature Communications*, 12, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20455-y>
- López-Gómez, V., Torre-Huerta, B., Reséndiz-Martínez, J. F., Sánchez-Martínez, G. y Gijón-Hernández, A. R. (2017) Influence of climatic parameters on the population fluctuations of the complex *Dendroctonus frontalis* Zimmerman, 1869 and *Dendroctonus mexicanus* Hopkins, 1909. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8, 7–29. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.668>
- Macías-Sámano, J. E. y Niño-Domínguez, A. (2016). *Protocolo para monitoreo de descorzadores de coníferas mediante el uso de atrayentes y semioquímicos: para México y Centroamérica*. San Cristóbal de Las Casas: ECOSUR.
- Marini, L., Ayres, P. M., Battisti, A. y Faccoli, M. (2012). Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change*, 115, 327–341. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0463-z>
- Mathus-Alonso, M., López-Pardo, G., Gasca-Zamora, J. y Villavicencio, B. P. (2010). *La gestión comunitaria de recursos naturales y ecoturísticos en la Sierra Norte de Oaxaca*. Ciudad de México: IIE, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morales-Rangel, A., Cambrón-Sandoval, V. H., Soto-Correa, J. C., Jones, R. W. y 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. <https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412141>
- Ning, H., Tang, M. y Chen, H. (2021). Impact of climate change on potential distribution of chinese white pine beetle *Dendroctonus armandi* in China. *Forests*, 12, 544. <https://doi.org/10.3390/f12050544>
- Pacheco-Aquino, G. y Durán, E. (2023). Tree canopy patterns in a temperate forest in Oaxaca, Mexico after bark beetle outbreaks: Implications for ecological resistance and resilience. *Forest Ecology and Management*, 542, 121099. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121099>
- Raffa, K. F., Aukema, B. H., Bentz, B. J., Carroll, A. L., Hicke, J. A., Turner, M. G. et al. (2008). Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience*, 58, 501–517. <https://doi.org/10.1641/B580607>

- Raffa, K. F., Grégoire, J. y Lindgren, B. S. (2015). Natural history and ecology of bark beetles. En F. E. Vega y R. W. Hofstetter (Eds.), *Bark beetles* (pp. 1–40). Oxford, UK: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-417156-5.00001-0>
- Rivera-Jiménez, E., Regino-Maldonado, J., Pérez-Rosas, B., Luis-Santiago, M., García-Hernández, J., Lázaro-Juárez, E. et al. (2019). La plaga por descortezador en Oaxaca, México: análisis con ecuaciones estructurales. *Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca*, 3, 27–35 <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22272.17922>
- Rojas-Serrano, C. y Martínez-Corona, B. (2017). Transformaciones y continuidades en el manejo y concepción del bosque y las relaciones de género en Santa Catarina Lachatao, Oaxaca. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14, 451–478. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6151954>
- Rubín-Aguirre, A., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R., del Río-Mora, A. A., Tena-Morelos, C. A., Campos-Bolaños, R. et al. (2015). Bark beetle pest in an altitudinal gradient of a Mexican managed forest. *Forest Ecology and Management*, 343, 73–79 <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2015.01.028>
- Sáenz-Romero, C., Cambrón-Sandoval, V. H., Hammond, W., Méndez-González, J., Luna-Soria, H., Macías-Sámano, J. E. et al. (2023). Abundance of *Dendroctonus frontalis* and *D. mexicanus* (Coleoptera: Scolytinae) along altitudinal transects in Mexico: Implications of climatic change for forest conservation. *Plos One*, 18, e0288067. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288067>
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Duval, P. y Beaulieu, J. (2010). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change*, 102, 595–623. <http://doi.org/10.1007/s10584-009-9753-5>
- Salinas-Moreno, Y., Ager, A., Vargas, C. F., Hayes, J. L. y Zúñiga, G. (2010). 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.029>
- 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. Aguascalientes: INIFAP/CIRNOC/ Campo Experimental Pabellón.
- Sosa-Díaz, L., Méndez-González, J., García-Aranda, M. A., Cambrón-Sandoval, V. H., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Ruiz-González, C. G. et al. (2018). Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas de México Librado. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9, 187–208
- Soto-Correa, J. C., Avilés-Carrillo, I., Girón-Gutiérrez, D. y Cambrón-Sandoval, V. H. (2019). Abundancia altitudinal de *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae) en relación a variables climáticas en Hidalgo, México. *Revista de Biología Tropical*, 67, 370–379. <https://doi.org/10.15517/RBT.V67I3.34436>
- Toledo, V. M. (2013). Indigenous peoples and biodiversity conservation: the case of Mexico. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 26, 983–1000.
- Toledo, V. M. y Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona: Icaria Editorial.
- 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. <https://doi.org/10.1890/13-0160.1>
- Wood, S. L. (1982). The bark Ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae): a taxonomic monograph. *Great Basin Naturalist*, 6, 1–1359.