

Distribución espacial del descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) en dos bosques de alta montaña del centro de México

Spatial distribution of bark beetle *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in two high mountain forests of central Mexico



Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

*ANGEL ROLANDO ENDARA-AGRAMONT, ROSA LAURA HEREDIA-BOBADILLA, LUIS ANTONIO GARCÍA, ALMA ABIGAIL LUNA, JOSÉ JONATHAN AGUIRRE

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario #100 Colonia Centro, C.P. 50000, Toluca, México.

*Autor correspondiente:

Angel Rolando Endara-Agramont
arendaraa@uaemex.mx

Editor responsable: Alfredo Ramírez-Hernández

Cómo citar:

Endara-Agramont, A. R., Heredia-Bobadilla, R. L., García, L. A., Luna, A. A., Aguirre, J. J. (2023) Distribución espacial del descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) en dos bosques de alta montaña del centro de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 39, 1–17.
10.21829/azm.2023.3912569
elocation-id: e3912569

Recibido: 06 septiembre 2022
Aceptado: 01 marzo 2023
Publicado: 15 marzo 2023

RESUMEN. El descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897, es una especie parásita de los bosques de *Pinus hartwegii* y sus poblaciones van en aumento, esto implica una amenaza para esta especie de pino. En este trabajo se determinó la distribución espacial de *D. adjunctus* en dos áreas naturales protegidas del centro de México. Se establecieron 1,621 unidades de muestreo (UM) en 12,924 ha de bosque de pino en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) y 634 UM en 10,008 ha de Monte Tláloc (MT). Se registraron las características dendrométricas de todos los árboles ≥ 7.5 cm de DAP, así como el nivel de infestación del hospedero y la presencia de plantas parásitas. El 19 % del total de sitios muestreados

presentan infestación por el descortezador en altitudes de 3,600 a 3,900 m y categorías diamétricas de 30 a 55 cm. La distribución espacial de los descortezadores está influenciada por la exposición, altitud, pendiente y la presencia simultánea con muérdagos enanos (*Arceuthobium* spp.).

Palabras clave: densidad; descortezador; *Pinus hartwegii*; plaga

ABSTRACT. The bark beetle *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897, is a parasitic species of *Pinus hartwegii* forests and its populations are increasing, which implies a threat to this pine species. In this work, the spatial distribution of *D. adjunctus* in two natural protected areas of central Mexico was determined. 1,621 sampling units (UM) were established in 12,924 ha of pine forest in the Nevado de Toluca Flora and Fauna Protection Area (APFFNT) and 634 UM in 10,008 ha of Mount Tlaloc (MT). The dendrometric characteristics of all the trees ≥ 7.5 cm DBH were recorded, as well as the level of infestation of the host and the presence of parasitic plants. 19 % of the total sampled sites present bark beetle infestation, at altitudes of 3,600 to 3,900 m and diameter categories of 30 to 55 cm. The spatial distribution of bark beetles is influenced by exposure, altitude, slope and the simultaneous presence with dwarf mistletoe (*Arceuthobium* spp.).

Key words: density; bark beetle; *Pinus hartwegii*; plague

INTRODUCCIÓN

Los bosques templados de alta montaña de México se distribuyen a lo largo de las cadenas montañosas: Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra de Chiapas y la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) (Velázquez *et al.*, 2002; Challenger & Soberón, 2008; SEMARNAT, 2015). Estos bosques poseen un alto valor ecológico y socioeconómico (Granados-Sánchez *et al.*, 2007), y enfrentan amenazas como la tala ilegal, tráfico de especies, incendios, contaminación y el cambio climático, siendo este último el que se prevé sea el causante de severas disminuciones de los bosques templados (Sáenz-Romero *et al.*, 2020; Sierra, 2022).

Los bosques de la FVT, debido a su cercanía a ciudades con alta densidad poblacional, sufren fuertes presiones de tipo antrópico. El cambio en el uso del suelo con fines agrícolas y ganaderos, aprovechamientos clandestinos, sobrepastoreo y asentamientos humanos, contribuyen a un desequilibrio ecológico, lo cual ha sido una de las causas del aumento de poblaciones de parásitos; por ejemplo, los muérdagos enanos y los insectos descortezadores (Cibrián *et al.*, 2007; Pineda *et al.*, 2009; Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Nava *et al.*, 2010; Gochez-López *et al.*, 2015).

En este sentido, las infestaciones de descortezadores suelen ser comunes en sitios donde también está presente el muérdago (*Arceuthobium* spp.), por lo que es probable que exista una relación directa entre ambas plagas (Stevens & Flake, 1974; McCambridge *et al.*, 1982; Hawksworth, 1983; Parker *et al.*, 2006; Kenaley *et al.*, 2008; Ramírez & Porcayo, 2010).

Los descortezadores son elementos del ecosistema que cumplen una función primordial en el ciclo de nutrientes como degradadores de materia orgánica; por lo tanto, influyen en la dinámica y permanencia de los bosques, participando como agentes biológicos reguladores del bosque al atacar árboles viejos, debilitados o enfermos que permiten la sucesión vegetal y el flujo de energía (Salinas-Moreno *et al.*, 2010; del-Val & Sáenz-Romero, 2017).

Perturbaciones tales como el aumento de la temperatura, cambios en la densidad del bosque y la incidencia de incendios (Lucht *et al.*, 1974; Ruiz-González *et al.*, 2018; Bale *et al.*, 2002; Williams *et al.*, 2008; Fettig *et al.*, 2010; Salinas-Moreno *et al.*, 2010; Castellano *et al.*, 2013) alteran la dinámica en las comunidades de los descortezadores con el bosque (Torres & Sánchez, 2006; Mendoza *et al.*, 2011; Duran & Poloni, 2014). Por esta razón, también se les considera indicadores del estado de salud del bosque (Sánchez & Torres, 2004; Salinas-Moreno *et al.*, 2010).

Los descortezadores del género *Dendroctonus* Erichson, 1836, se distribuyen desde el oeste de Canadá hasta Nicaragua. En México habitan en los principales sistemas montañosos, entre éstos la FVT, estableciéndose exitosamente en climas templados a fríos entre los 1,700 y 4,000 msnm (Fig. 1) (Zúñiga *et al.*, 2002; Salinas-Romero *et al.*, 2010) y destacan por tener la capacidad de colonizar y matar árboles en poco tiempo (Armendáriz-Toledano *et al.*, 2018).

Son coleópteros pequeños (1–6 mm) y endófitos, es decir, cavan galerías debajo de la corteza de los árboles para alimentarse y ovipositar, los juveniles cavan túneles y forman galerías donde crece un hongo con el que tienen una asociación mutualista que les proporciona alimento (Cibrián-Tovar *et al.*, 1995; del Val & Sáenz-Romero, 2017). El aumento de sus poblaciones puede llegar a eliminar grupos de árboles y afectar grandes extensiones, ocasionando una mortalidad significativa (cerca del 85 % de los árboles afectados mueren), en México la superficie afectada por estos organismos es de 48 mil ha (Chansler, 1967; Gillette *et al.*, 2001; Zúñiga *et al.*, 2002; Macías *et al.*, 2004; Torres & Sánchez, 2005; Williams *et al.*, 2008; Vega, 2022).

En la FVT se ha reportado un gran número de brotes, presencia y sobreposición de especies del género *Dendroctonus*, principalmente en los estados de Jalisco, Michoacán, Morelos y el Estado de México; en este último se reporta la presencia de brotes de *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897, en el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) y el Parque Nacional Iztapa Zoquiapan y Anexas, donde se encuentra Monte Tláloc (MT) (Zúñiga *et al.*, 2002; del-Val & Sáenz-Romero, 2017).

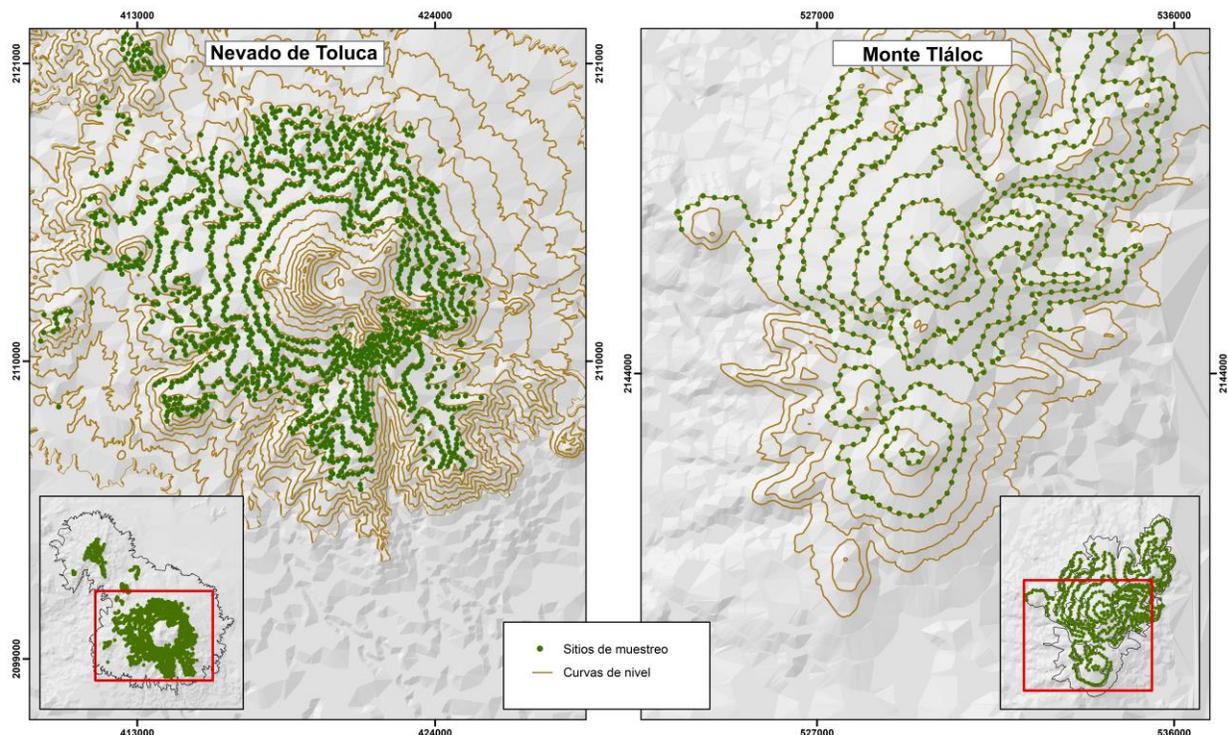


Figura 1. Diseño de muestreo.

Ambas Áreas Naturales Protegidas (ANPs) albergan al pino de las alturas (*Pinus hartwegii* Lindl. 1839), que se caracteriza por demarcar el límite superior de la vegetación arbórea, pues es la especie que se distribuye a mayor altitud en México (3,500–4,100 m), formando bosques monoespecíficos en ecotono con el pastizal de alta montaña y con el oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham). Es una especie adaptada al fuego y a bajas temperaturas (-20° C) (Musálem & Solís, 2000; Rodríguez-Trejo, 2001; Endara et al., 2013).

Los bosques de *P. hartwegii* del APFFNT y MT están sujetos a pastoreo y tala, lo que genera fragmentación de las masas forestales (Galicia & García-Romero, 2007; Endara & Herrera, 2015); además, se ha registrado un aumento de plagas y enfermedades forestales en ambos sitios (Endara et al., 2013; Queijeiro-Bolaños et al., 2013; Sosa-Díaz et al., 2018). Al ser una especie adaptada a temperaturas frías extremas, es muy probable que el pino de las alturas sea una de las especies que más resienta los efectos de cambio climático (Sáenz-Romero et al., 2020), por lo que es una especie primordial para la conservación de los ecosistemas de alta montaña. Por esto, es importante llevar a cabo estudios que permitan entender su dinámica. La presencia de *D. adjunctus* ha sido reportada en ambas ANPs, siendo escasa la información con respecto a la ecología de estos insectos en dichas áreas. Por lo que, el objetivo de este estudio fue determinar la distribución espacial de *D. adjunctus* y los factores asociados a su presencia en poblaciones de *P. hartwegii*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó en el APFFNT y MT, el primero se localiza en el centro-poniente del Estado de México (19° 6.5' N, -99° 42.3' O) y MT se ubica al occidente del valle de México en los límites del Estado de México y Puebla (19° 25' N, -98° 43.7' O). El tipo de vegetación predominante es el bosque de coníferas, donde destacan especies como: *P. hartwegii* Lindl., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* Lamb. y *Abies religiosa* Kunth Schltdl. et Cham; y especies de latifoliadas como *Quercus laurina* Humb et. Bonpl. y *Alnus jorullensis* Humb Bonpl y Kunth. (Fig. 1). Estas forman poblaciones y comunidades forestales altamente diversas (INEGI, 2010; Astudillo et al., 2017) contribuyendo así a la existencia de abundante variabilidad genética de especies de animales y plantas. *Pinus hartwegii* en particular posee bajos niveles de diversidad genética que podrían contribuir al ataque de descortezadores (Heredia-Bobadilla et al., 2012; Heredia-Bobadilla et al., 2016; Sunny et al., 2019). Sin embargo, a pesar de tratarse de dos ANPs, el deterioro en ambas regiones es constante, siendo la tala clandestina, el cambio de uso de suelo, la sobreexplotación de los mantos hídricos y los incendios forestales las perturbaciones antrópicas más comunes (Arriola-Padilla et al., 2015).

Muestreo y toma de datos. Se establecieron 1,621 unidades de muestreo (UM) temporales en 12,924 ha de bosque de pino del APFFNT y 634 UM en 10, 008 ha de bosque de pino de MT por encima de la cota altitudinal de los 3,000 y 3,500 m, respectivamente. Se diseñó un método donde se utilizaron las curvas de nivel como líneas de acceso al bosque (Duaber, 1995), sobre cada una de éstas se instalaron las UM con una separación altitudinal de 100 m, esto debido a la variabilidad climática asociada a la altitud (Mayer & Ott, 1991).

Las UM fueron circulares de 0.1 ha (17.86 m de radio), distribuidas de forma sistemática sobre las curvas de nivel y a una equidistancia de 200 m (APFFNT) y 300 m (MT), para así alcanzar la intensidad mínima de muestreo (Duaber, 1995).

En cada UM se registraron las variables dasonómicas de los árboles con diámetro superior a 7.5 cm (para abarcar todas las categorías diamétricas), tales como: diámetro normal (DN), altura total y afectación por *D. adjunctus* con la escala propuesta por Billings y Espino (2005). Se determinó la *presencia* (< a tres árboles con presencia de grumos blandos, de acuerdo con la

NOM-019) y brotes (\geq a tres árboles con presencia de grumos blandos, NOM-019) de descortezador en cada UM (SEMARNAT, 2015). El muestreo se realizó entre febrero de 2019 y noviembre de 2021, ya que un año es el período necesario para que el descortezador complete una generación (Lucht *et al.*, 1974).

Se registraron variables abióticas de cada UM: pendiente y exposición ($^{\circ}$), realizada con una brújula (Suunto Tandem) y la altitud se registró con un GPS (Garmin GPSMAP 66i). Se registraron también variables bióticas: la presencia de muérdagos enanos (*Arceuthobium globosum* Hawksw. & Wiens y *A. vaginatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) J.Presl) y grado de infestación con la escala propuesta por Hawksworth (1977), porcentaje de cobertura de suelo por estratos herbáceo y arbustivo, densidad del arbolado mediante el conteo de árboles adultos ($DAP \geq 7.5$), y el número de árboles muertos. Con el objetivo de determinar cuáles de estas variables pudieran influir en la presencia de brotes de descortezador, se analizaron las variables mediante el análisis factorial de componentes principales (ACP; Kaiser, 1974). Se realizaron gráficos exploratorios para determinar algún patrón de distribución del descortezador según la altitud y la categoría diamétrica de los pinos, para estos análisis se utilizó el programa Statgraphics Centurion XVI v.16.1.03 (StatPoint Technologies Inc., 2009).

Para determinar la densidad del arbolado en cada UM y analizar si influye en la presencia de descortezador, se utilizó como base la investigación de Endara *et al.* (2013), quien clasifica al bosque como denso, semidenso, fragmentado y árboles aislados. Por tanto, el número de individuos por condición se determinó utilizando el estadístico de percentiles. Esta última condición se utilizó la definición de bosque, donde se menciona que se necesita un mínimo de 10 % de cobertura por unidad de superficie para considerarlo así (FAO, 2015); de acuerdo con este concepto, se utilizó el número de árboles para obtener el porcentaje mínimo de cobertura, siendo 194 árboles/ha el promedio.

Identificación de descortezadores. Debido a la sobreposición de especies de *Dendroctonus* en la FVT, se realizó una identificación taxonómica. En sitios con brotes activos se realizaron colectas manuales de descortezadores adultos en árboles con presencia de grumos nuevos de coloración transparente a blanca sobre la corteza. Los organismos colectados fueron preservados en alcohol etílico al 70 % (Macías *et al.*, 2004) para su posterior identificación en laboratorio. Se siguieron dos criterios: 1) las claves taxonómicas propuestas por Wood (1982) y Cibrián *et al.* (1995), y 2) la observación de la varilla seminal (Perusquía, 1978; Lanier *et al.*, 1988). Además, se adaptó la técnica de genitalia (Yélamos, 1994), elevando la concentración de hidróxido de potasio (KOH) de 10 a 40 % para acelerar la desintegración de los tejidos, de 24 horas a 15 min. Una vez terminado el proceso, se observaron en un microscopio estereoscopio LEICA y un óptico MOTIC (40X), para finalmente hacer una comparación de los edeagos obtenidos con los publicados por Camacho (2012) y Cibrián (2014).

RESULTADOS

Distribución espacial de Dendroctonus adjunctus. Los resultados muestran que en el APFFNT el 19 % de las UM presentan algún nivel de infestación del escarabajo descortezador, mientras que en MT está presente en el 18 % de las UM, y en ambos casos el 3 % corresponden a brotes activos (Fig. 2). Se observó un patrón muy disperso que se manifiesta con la presencia de *D. adjunctus* en toda el área de estudio.

El 52 % de los sitios con descortezador registraron también muérdago enano en el APFFNT, mientras que en MT fue el 57 %. Esta variable, junto con la altitud, exposición y pendiente fueron las relacionadas positivamente con su presencia, según lo soportó el análisis de componentes

principales. Para el APFFNT las variables que más contribuyeron al modelo fueron la presencia de muérdago con un peso de 0.4548, exposición (0.4822), altitud (0.01715) y pendiente (0.1720), estos componentes explicaron el 65 % de la variabilidad de los datos. En MT la presencia de muérdago con un peso de 0.2852, exposición (0.4830), altitud (-0.1967) y pendiente (0.6227), estos cuatro componentes explicaron el 60 % de la variabilidad de los datos (Fig. 3).

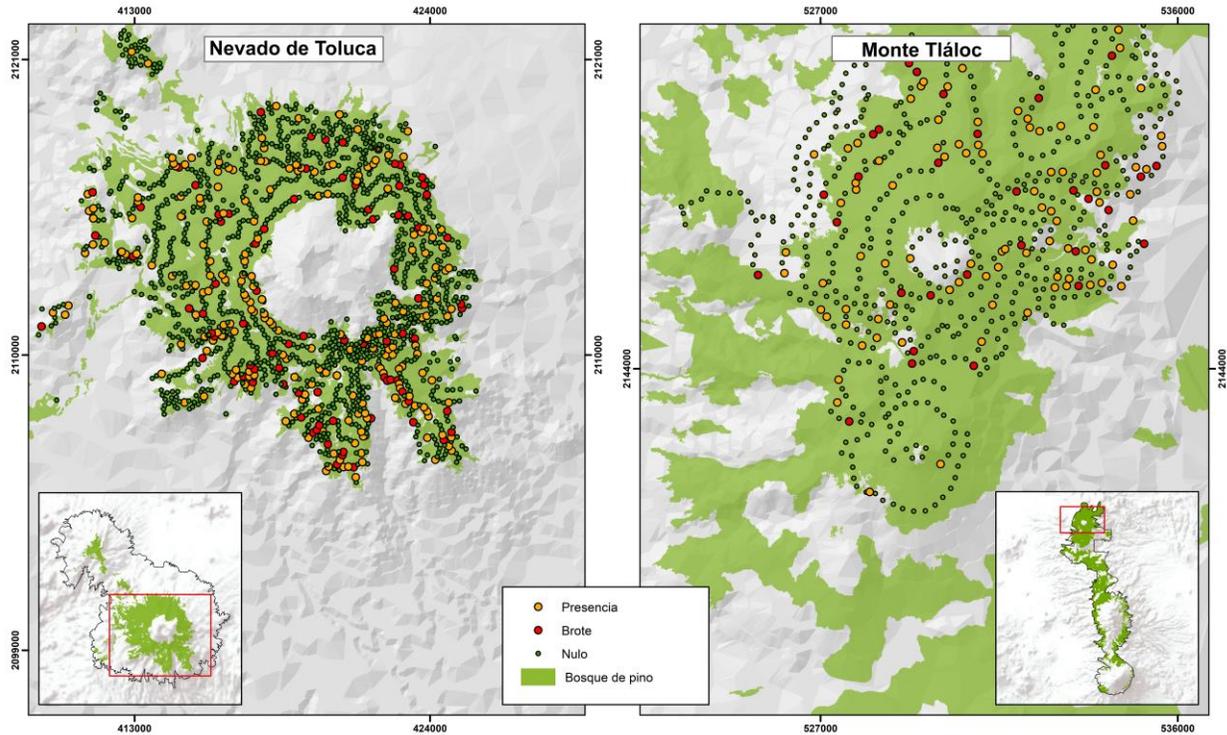


Figura 2. Distribución espacial de *Dendroctonus adjunctus* Blanchard, 1897.

Según el estadístico de percentiles, se obtuvieron cuatro categorías de densidad: árboles aislados, fragmentado, semidenso y denso; el total de árboles registrados fue de 38,542 y se reclasificó la densidad del bosque de la siguiente manera: denso (≥ 363), semidenso (155–362), fragmentado (20–154) y árboles aislados (≤ 19). Los registros del descortezador en forma de brotes y presencia estuvieron mayormente concentrados en el bosque fragmentado y semidenso de ambas montañas (Fig. 4).

El 57 % de la presencia y brotes de *D. adjunctus* se distribuyó entre los 3,600 y 3,900 msnm en el APFFNT y 3,400 y 4,000 msnm en MT (Fig. 5). Las categorías diamétricas afectadas de *P. hartwegii* se concentran entre los 30 y 55 cm en el APFFNT y 10 y 55 cm en MT, aunque hubo registro de árboles atacados desde los 10 cm y hasta los 70 cm en ambas montañas (Fig. 6).

Dendroctonus adjunctus: especie identificada. Se recolectaron 516 coleópteros adultos (350 en el APFFNT y 166 en MT), de los cuales, sólo el 10 % de los individuos presentaron características adecuadas para su identificación taxonómica (Cuadro 1) mediante la técnica de extracción de genitalia (Fig. 7). Cabe destacar que el 90 % de los individuos recolectados fueron de árboles con niveles de infestación bajo y medio, así como del primer tercio del árbol.

DISCUSIÓN

La distribución de *D. adjunctus* obedece a la presencia de su hospedero y a su gran capacidad de dispersión (Salinas-Moreno *et al.*, 2004), lo que concuerda con este estudio, ya que se distribuye en todas las laderas y altitudes donde está presente *P. hartwegii*. Sin embargo, los patrones de exposición y pendiente también influyen en su abundancia. Éstos pueden relacionarse con la temperatura, ya que es un factor determinante para la distribución de esta especie y su éxito reproductivo, siendo las épocas con mayores registros de temperatura donde se pueden encontrar a los descortezadores formando brotes activos (Chansler, 1967; Ruiz-González *et al.*, 2018; Santana-Zarza *et al.*, 2020).

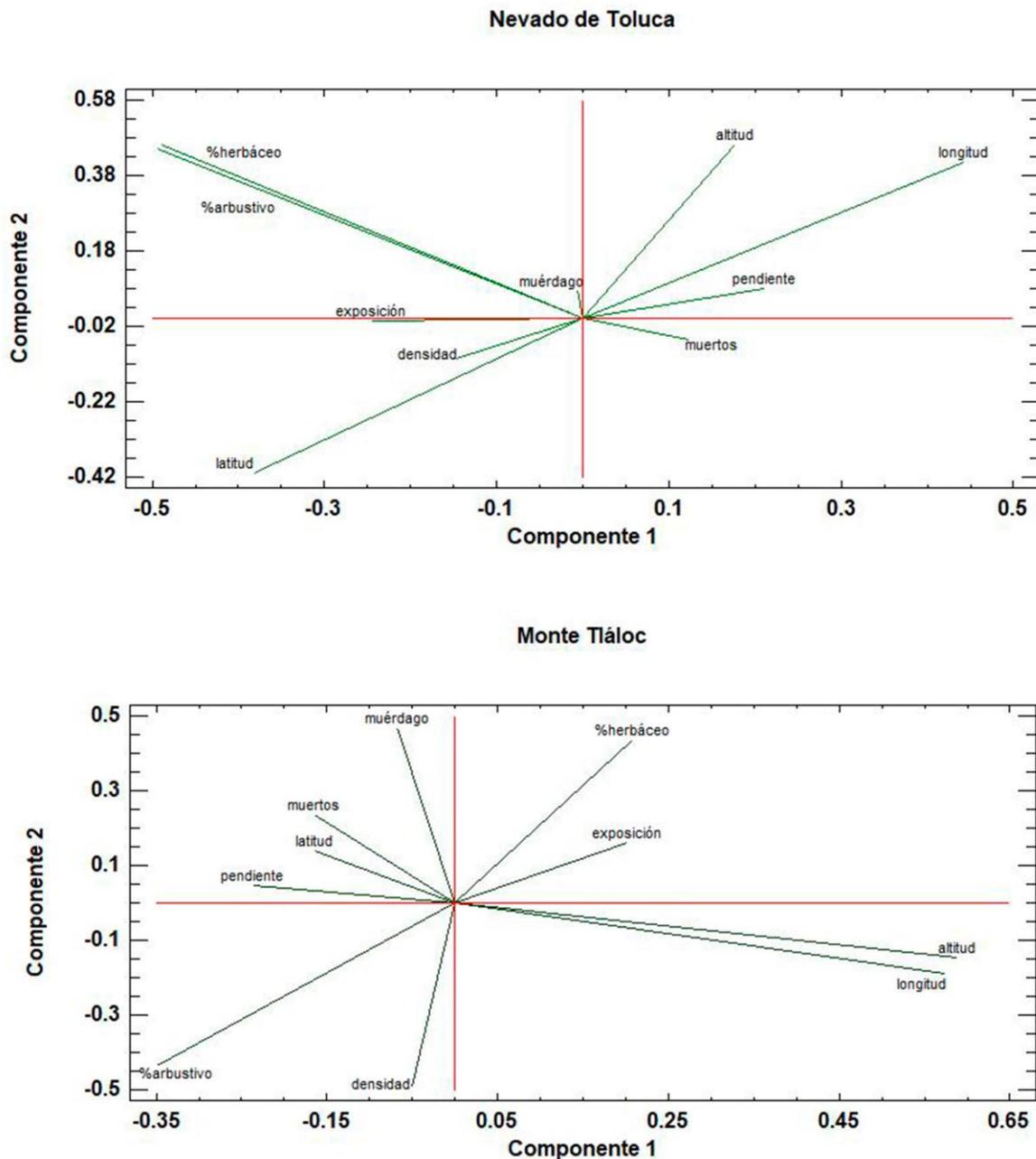


Figura 3. Gráfico de componentes principales (las variables más cercanas a las líneas de referencia hacen la mayor contribución a los componentes).

Cuadro 1. Número total de *Dendroctonus adjunctus* adultos recolectados en árboles de *Pinus hartwegii* del APFFNT y Monte Tláloc.

Nivel de infestación	Descripción del ataque	Individuos recolectados	Individuos identificados
Bajo	Árbol con copa color verde, presencia de grumos blandos blancos y transparentes distribuidos en menos del 20 % del fuste	276	26
Medio	Árbol con copa color alimonado, presencia de grumos blandos blancos y duros marrones distribuidos en más del 20 % del fuste	128	20
Alto	Árbol con copa rojiza, presencia de grumos duros marrones distribuidos en más del 20 % del fuste con caída de corteza	87	4
Muerto	Árbol con copa color marrón, presencia de grumos duros marrones distribuidos en más del 20 % del fuste con caída de corteza	25	1

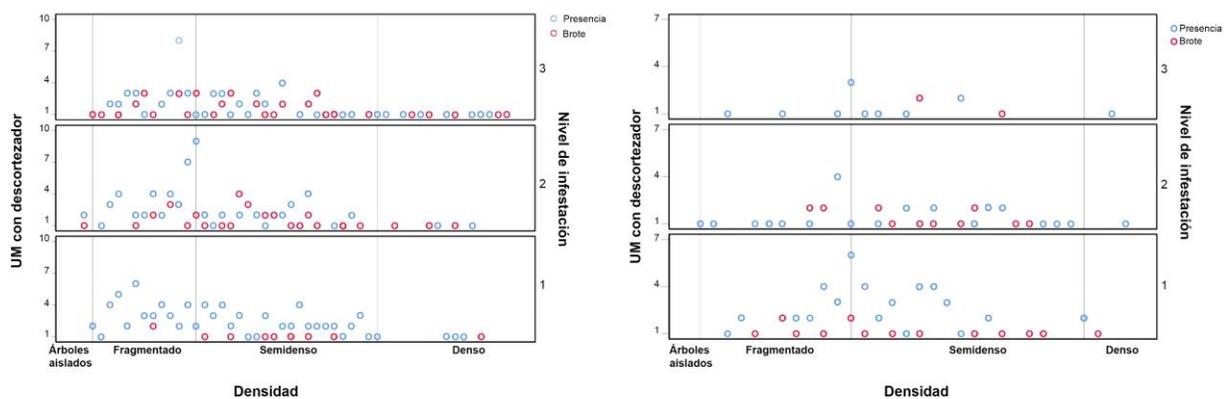


Figura 4. Distribución de *Dendroctonus adjunctus* (presencia y brotes) de acuerdo con la densidad del bosque de *Pinus hartwegii*. Dispersión de las UM con descortezador (Presencia= azul; Brote= rojo), de acuerdo con el nivel de infestación (eje Z). En el eje Y se muestra la densidad del bosque, donde: denso (≥ 363), semidenso (155–362), fragmentado (20–154) y árboles aislados (≤ 19).

La actividad de los organismos de sangre fría, como los insectos, está directamente correlacionada con las condiciones microclimáticas de su hábitat, por lo que, la altitud influye directamente sobre la presión atmosférica, a mayor altitud la presión atmosférica disminuye y la temperatura también (Ritter-Ortiz *et al.*, 1993). Información que se afirma con esta investigación, ya que la presencia y brotes de descortezador disminuye drásticamente en ambas montañas a los 3,900 msnm.

Con respecto a cómo influye la baja densidad del bosque en la presencia de descortezadores, en este estudio se encontró que los bosques semidensos y fragmentados se concentran en la ladera oeste (con pendientes ligeras $< 15^\circ$) de ambas montañas. Esto concuerda

con Ruiz-González (2018), quien sugiere que la exposición y pendiente de ladera favorecen la dispersión y establecimiento del descortezador. La reducción del número de árboles por unidad de superficie implica una mayor cantidad de luz al interior del bosque. Esto corrobora lo reportado por Ritter-Ortiz *et al.* (1993), quienes evidencian que una zona infestada por descortezador presenta mayor cantidad de insolación (debido a la fragmentación del dosel arbóreo) en comparación con una zona sana, y comprueba el supuesto de que la disminución de la densidad del bosque está directamente relacionada con el incremento de las poblaciones de coleópteros (Ryall *et al.*, 2005; Rubín-Aguirre *et al.*, 2015).

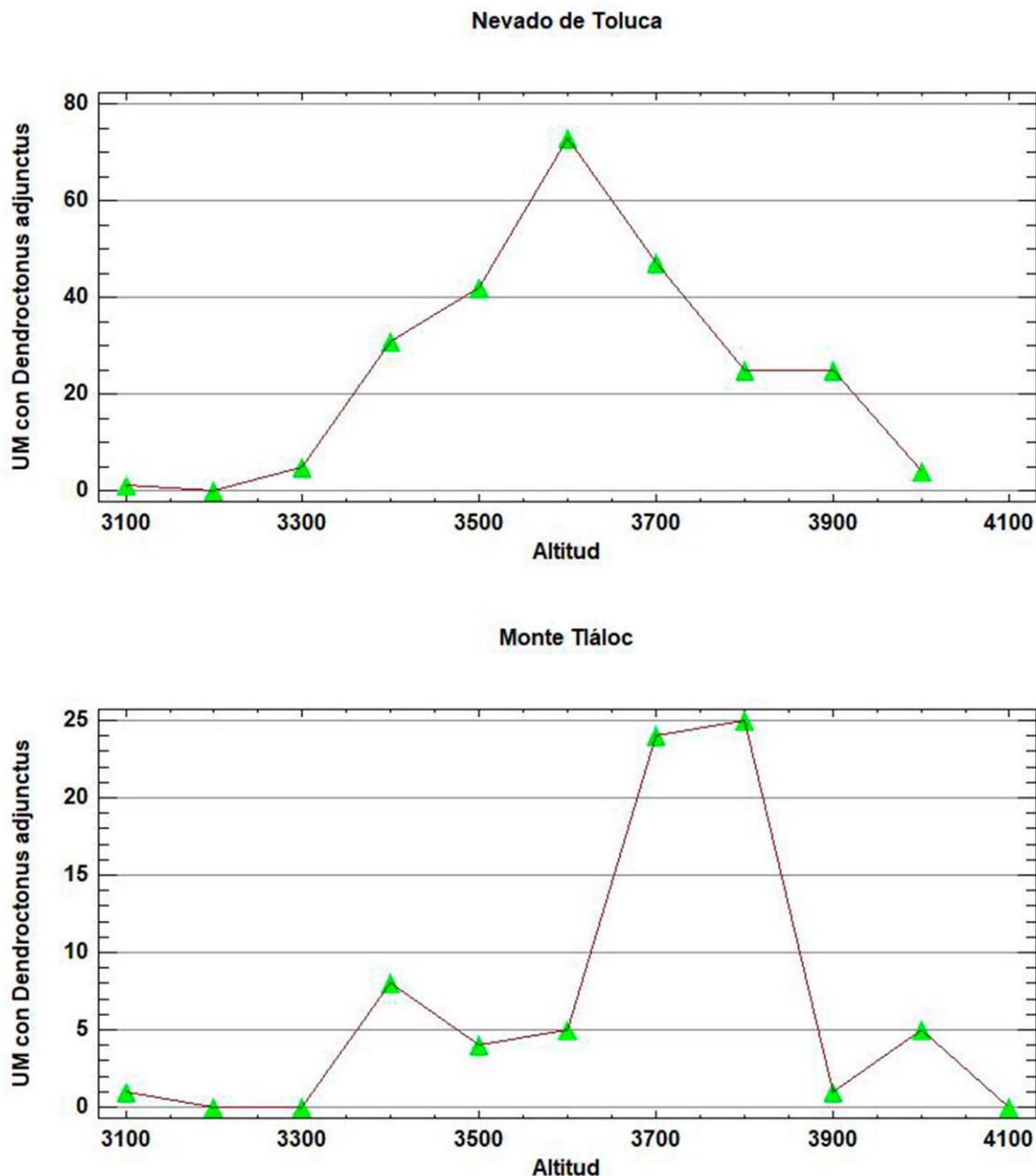


Figura 5. Distribución de *Dendroctonus adjunctus* por altitud.

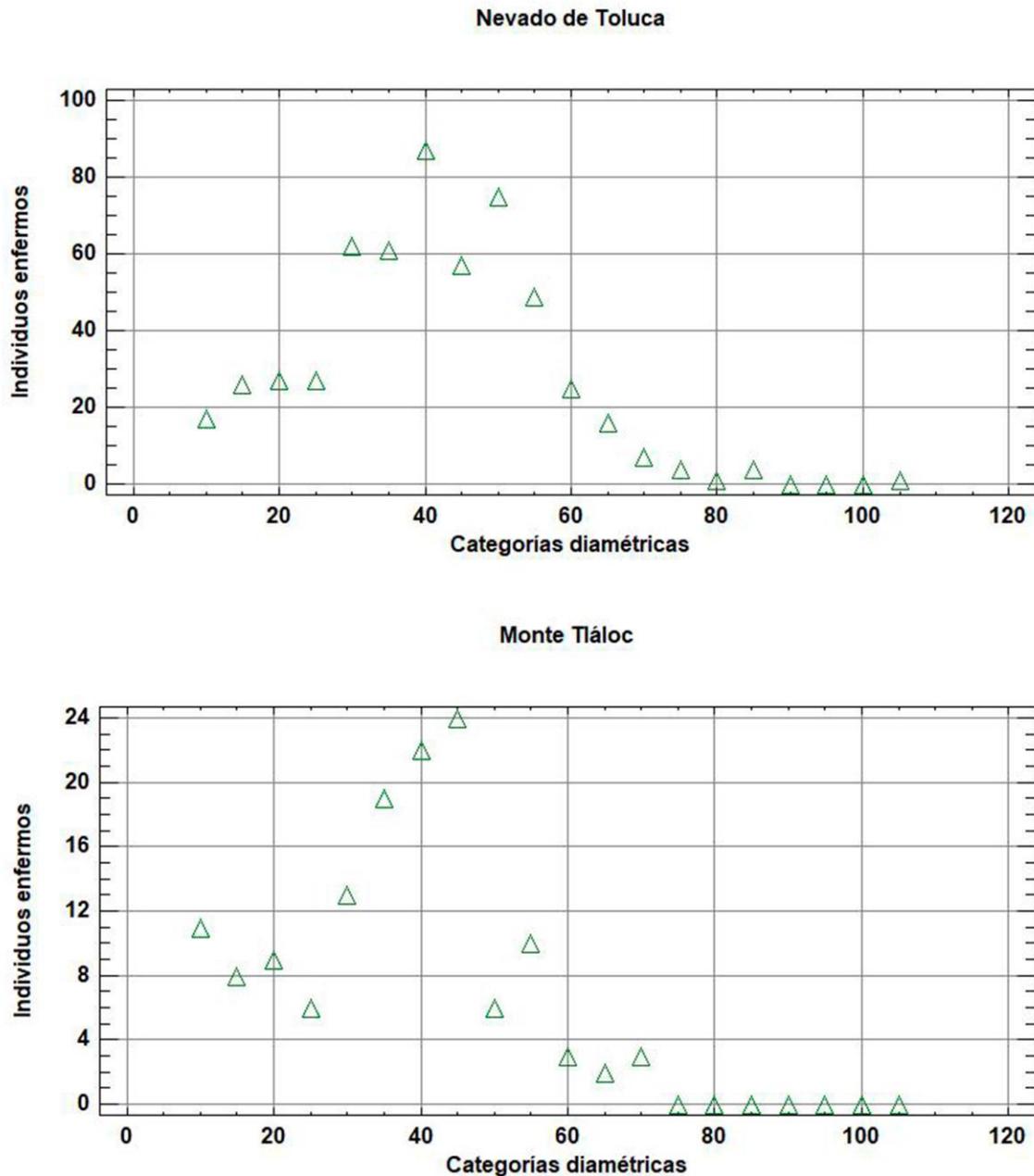


Figura 6. Distribución de *Dendroctonus adjunctus* por categoría diamétrica.

La presencia de muérdagos enanos cobra relevancia porque predisponen a los árboles al ataque de descortezadores (Cedillo, 2017; Santana-Zarza *et al.*, 2020). Esto concuerda con lo reportado por Parker *et al.* (2006) y Aflitto *et al.* (2015), quienes reportan la presencia de muérdago enano y descortezadores de manera simultánea. Todo lo anterior se confirma en este trabajo, ya que más del 50 % de sitios reportan la presencia de ambas plagas.

Por otra parte, la dinámica poblacional de los descortezadores está altamente influenciada por el diámetro del árbol (Graf *et al.*, 2011). Cole y Amman (1969) reportan que *D. ponderosae* Hopkins, 1915 prefiere hospederos de la categoría diamétrica de 45 cm, mientras que Zhang y Seide (1999) afirman que *D. frontalis* ataca categorías que oscilan entre 5 y 20 cm. Al respecto, un

árbol joven puede producir una mayor cantidad de compuestos defensivos (oleoresina); sin embargo, no provee suficiente cantidad de alimento ni de espacio para una colonia porque su corteza interna es delgada, mientras que un árbol maduro tiene una corteza interna gruesa que limita la entrada de los coleópteros (Zhang & Seide, 1999; Graf *et al.*, 2011). Probablemente, por estas razones las categorías diamétricas que prefiere *D. adjunctus* son más bien intermedias (entre los 30–55 cm en el APFFNT y 10–55 cm en MT).

En este mismo sentido Lahr y Sala (2014) sugieren que, a mayor altura y diámetro del árbol, la cantidad de recursos almacenados (nitrógeno, fósforo, lípidos y carbohidratos) incrementa sus capacidades de defensa y resistencia, a esto se puede atribuir que, en el presente estudio, *D. adjunctus* afecta a categorías diamétricas no mayores a 55 cm, ya que tienen la capacidad de defensa.

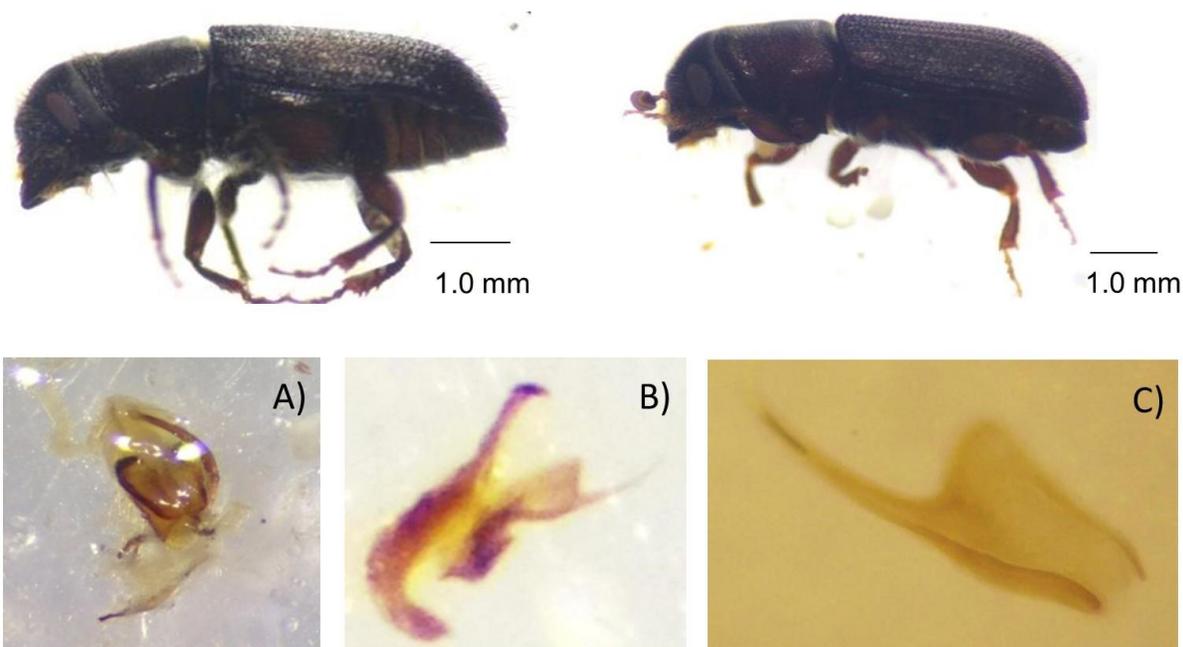


Figura 7. Identificación morfológica de *Dendroctonus adjunctus*: A) eedeago, B) varilla seminal, C) genitalia.

Aunque Sánchez-Sánchez *et al.* (2012) reportan que *D. approximatus* también se distribuye en el APFFNT, en esta investigación sólo se registró *D. adjunctus*, lo cual coincide con Gochez-López *et al.* (2015). Esto obedece a que el muestreo se realizó exclusivamente sobre poblaciones de *P. hartwegii*.

Dendroctonus adjunctus es una plaga que afecta a las poblaciones de *Pinus hartwegii* en el APFFNT y MT. Aproximadamente, el 20 % de las UM evidencian la presencia de *D. adjunctus*, esto aunado al ataque de muérdagos enanos (*Arceuthobium globosum* y *A. vaginatum*) y la disminución del número de árboles por hectárea contribuyen a la reducción de la masa forestal del bosque de pino en las dos montañas a través de la muerte gradual de los árboles infestados por ambas plagas.

Aunque la distribución espacial del descortezador mostró un patrón disperso en las áreas de estudio, la exposición oeste, pendientes ligeras y altitudes entre 3,600 y 3,900, generan condiciones óptimas para el establecimiento de *D. adjunctus*.

AGRADECIMIENTOS. A la Comisión Nacional Forestal, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, a los Ejidos de Santa María del Monte y Contadero del Municipio de Zinacantepec, México.

LITERATURA CITADA

- Aflitto, N., DeGomez, T., Hosftetter, R., Anhold, J., Mcmillin, J., Wagner, M., Schneider, E. (2015) Pine bark beetle and dwarf mistletoe infestation in a remnant old-growth stand. *Western North American Naturalist*, 75 (3), 281–290.
<https://doi.org/10.3398/064.075.0305>
- Armendáriz-Toledano, F., Zúñiga, G., García-Román, L. J., Valerio-Mendoza, O., García-Navarrete, P. G. (2018) *Guía ilustrada para identificar a las especies del género Dendroctonus presentes en México y Centroamérica*. Instituto Politécnico Nacional. México, CDMX, México, 117 pp.
- Arriola-Padilla, V., Estrada-Martínez, E., Medellín-Jiménez, R., Gijón-Hernández, A., Pichardo-Segura, L., Pérez Miranda, R., Ortega-Rubio, A. (2015) *Áreas Naturales Protegidas del centro de México: degradación y recomendaciones. Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México*. México. Centro de Investigaciones Científicas del Noreste SC, La Paz, BCS, 337 pp.
- Astudillo-Sánchez, C. C., Villanueva-Díaz, J., Endara-Agramont, A. R., Nava-Bernal, G. E., Gómez-Albores, M. A. (2017) Climatic variability at the treeline of Monte Tlaloc, Mexico: a dendrochronological approach. *Trees*, 31 (2), 441–453.
<https://doi.org/10.1007/s00468-016-1460-z>
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M. C., Symrnioudis, I., Watt, A., Whittaker, J. B. (2002) Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8, 1–16.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x>
- Billings, R., Espino, J. V. (2005) *El gorgojo descortezador del pino (Dendroctonus frontalis): cómo reconocer, prevenir y controlar plagas*. Servicio Forestal de Texas, Publ. 0605/15000, 19 pp.
- Camacho, P. A. (2012) El género *Ips* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en México. Tesis doctoral, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Colegio de Postgraduados.
- Castellano, B., Ruiz, M., Gómez, C., González, C. (2013) *Guía metodológica para combatir plagas de descortezadores de pino en el sur de México*. Publicación especial Núm. 12. Santo Domingo Barrio Bajo, Villa de Etla, Oaxaca, México. INIFAP, 43 pp.
- Cedillo, A. (2017) Análisis espacial del nivel de infestación por muérdago enano en el bosque de pino del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Challenger, A., Soberón, J. (2008) Los ecosistemas terrestres. Pp. 87–108. En: J. Soberón, G. Halffter, J. Llorente-Bousquets (Eds.). *Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México.
- Chansler, J. F. (1967) Biology and life history of *Dendroctonus adjunctus* (Coleoptera: Scolytidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 60 (4), 760–767.
<https://doi.org/10.1093/aesa/60.4.760>
- Cibrián, T. D. (2014) *Guía para el monitoreo de plagas forestales a nivel comunitario, adecuada al contexto de la Sierra Rarámuri*. USAID, Alianza México-REDD+. México, Distrito Federal, 44 pp.

- Cibrián, T. D., Alvarado, R., García, D. (2007) *Enfermedades forestales en México / Forest Diseases in México*. Universidad Autónoma Chapingo; CONAFOR-SEMARNAT, México; Forest Service USDA, EUA; NRCAN Forest Service, Canadá y Comisión Forestal de América del Norte. COFAN, FAO. Chapingo, México, 587 pp.
- Cibrián, T. D., Méndez, J. T., Campos, R., Yates, H. O., Flores, J. (1995) *Insectos Forestales de México*. Publicación No. 6. Universidad Autónoma Chapingo, México, 453 pp.
- Cole, W. E., Amman, G. (1969) Mountain pine beetle infestations in relation to lodgepole pine diameters, USDA. *Forest Service*, 95, 1–7.
- del-Val, E., Sáenz-Romero, C. (2017) Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: problemática actual y perspectivas en los bosques templados. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 20 (2), 53–60.
<https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.006>
- Duaber, E. (1995) *Guía práctica y teórica para el diseño de un Inventario Forestal de reconocimiento*. BOLFOR, Santa Cruz la Sierra, Bolivia, 24 pp.
- Duran, E., Poloni, A. (2014) Escarabajos descortezadores: diversidad y saneamiento en bosques de Oaxaca. *Biodiversitas*, 7–12. Disponible en: <https://docplayer.es/38519533-Escarabajos-descortezadores-diversidad-y-saneamientos-en-bosques-de-oaxaca.html> (consultado 23 diciembre, 2022).
- Endara, A. A. R., Herrera, T. F. (2015) Deterioro y conservación de los bosques del Nevado de Toluca y el rol de los actores locales. *Ciencia ergo-sum*, 23 (3), 247–254. Disponible en: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7367> (consultado 23 diciembre, 2022).
- Endara, A. A., Calderón, R., Nava, G., Franco, S. (2013) Analysis of fragmentation processes in high-mountain forests of the center of Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 697–704.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2013.43A088>
- Fettig, C., Borys, R., Dabney, C. (2010) Effects of fire and fire surrogate treatments on bark beetle caused tree mortality in the Southern Cascades, California. *Forest Science*, 56, 60–73.
<https://doi.org/10.1093/forestscience/56.1.60>
- Galicia, L., García-Romero, A. (2007) Land use and land cover change in highland temperate forests in the Izta-Popo National Park, Central Mexico. *Mountain Research and Development*, 27, 48–57.
[https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2007\)27\[48:LUALCC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2007)27[48:LUALCC]2.0.CO;2)
- Gillette, N., Owen, D. R., Stein, J. H. (2001) Interruption of semiochemical mediated attraction of *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Scolytidae) and selected nontarget insects by verberone. USA. *Environmental Entomology*, 30, 837–841.
<https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.5.837>
- Gochez-López, E., Arriola-Padilla, V. J., Perea-Alcalá, A., Reséndiz-Martínez, J. F., Camacho, A. D. (2015) Insecticidas sistémicos para el control de *Dendroctonus adjunctus* Blandford, 1897 en El Nevado de Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6 (27), 50–63.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.280>
- Graf, M., Reid, M., Aukema, B., Lindgren, B. (2011) Association of tree diameter with body size and lipid content of mountain pine beetles. *The Canadian Entomologist*, 144 (3), 467–477.
<https://doi.org/10.4039/tce.2012.38>
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G., Hernández-García, M. (2007) Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13 (1), 67–83. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913110> (consultado 06 enero, 2023).

- Hawksworth, F. G. (1977) *The 6 class dwarf mistletoe rating system*. General Technical Report RM-48. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 7 pp.
- Hawksworth, F. G., Kendall, L. C., Cahill, D. B. (1983) Phloem thickness in lodgepole pine: its relationship to dwarf mistletoe and mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology*, 12 (5), 1447–1448.
<https://doi.org/10.1093/ee/12.5.1447>
- Heredia-Bobadilla, R. L., Gutiérrez-González, G., Franco-Maass, S., Arzate-Fernández, A. M. (2012) Genetic variability of sacred fir (*Abies religiosa*) in the Nevado de Toluca National Park. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 4 (3), 130–136. Disponible en: <http://www.academicjournals.org/IJBC> (consultado 23 diciembre, 2022).
- Heredia-Bobadilla, R. L., Monroy, V. O., Zarco, G. M. M., Martínez, G. D., Mendoza, M. G., Sunny, A. (2016) Genetic structure and diversity in an isolated population of an endemic mole salamander (*Ambystoma rivulare* Taylor, 1940) of central Mexico. *Genetica*, 144, 689–698.
<https://doi.org/10.1007/s10709-016-9935-9>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2010) Conjunto de datos vectoriales de información topográfica E14A47 Volcán Nevado de Toluca escala 1:50 000 serie III. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/> (consultado 23 diciembre, 2022).
- Kaiser, H. F. (1974) Little Jifty, Mark IV. *Educational and Psychology Measurement*, 34, 111–117.
<https://doi.org/10.1177/001316447403400115>
- Kenaley, S., Mathiasen, R., Harner, E. (2008) Mortality associated with a bark beetle outbreak in dwarf mistletoe-infested ponderosa pine stands in Arizona. *Western Journal of Applied Forestry*, 23, 113–120.
<https://doi.org/10.1093/wjaf/23.2.113>
- Lahr, E. C., Sala, A. (2014) Species, elevation, and diameter affect whitebark pine and lodgepole pine stored resources in the sapwood and phloem: implications for bark beetle outbreaks. *Canadian Journal of Forest Research*, 44 (11), 1312–1319.
<https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0063>
- Lanier, G. N., Hendrichs, J. P., Flores, J. E. (1988) Biosystematics of the *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae) Complex. *Annals of the Entomological Society of America*, 81 (3), 403–418.
<https://doi.org/10.1093/aesa/81.3.403>
- Lucht, D. D., Frye, R. H., Schmid, J. M. (1974) Emergence and attack behaviour of *Dendroctonus adjunctus* Blandford near Clouderoft, New Mexico, *Annals of the Entomological Society of America*, 67 (4), 610–612.
<https://doi.org/10.1093/aesa/67.4.610>
- Macías, S., Domínguez, A., López, J., Mérida, R. (2004) *Monitoreo de descortezadores y sus depredadores mediante el uso de semioquímicos: Manual operativo*. Ecosur-Conafor. CONANP-USDA Forest Service. Tapachula, Chiapas, México, 27 pp.
- Mayer, H., Ott, E. (1991) *Gebirgswaldabau-Schutzwaldpflege: ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz (Silviculture in Mountain forest Management of protection forest: A silvicultural contribution to landscape ecology and environmental protection)*, 2nd revised Ed. Gustav Fischer, Stuttgart.
- McCambridge, W., Hawksworth, F., Edminster, C., Laut, J. (1982) *Ponderosa pine mortality resulting from a mountain pine beetle outbreak*. Res. Pap. RM-RP-235. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 7 pp.

- Mendoza, M. G., Salinas, Y., Olivo, A., Zúñiga, G. (2011) Factors influencing the geographical distribution of *Dendroctonus rhizophagus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the Sierra Madre Occidental, México. *Environmental Entomology*, 40 (3), 549–559.
<https://doi.org/10.1603/EN10059>
- Musálem, S. M. A., Solís, M. A. (2000) *Monografía de Pinus hartwegii*. INIFAP. México, 74 pp.
- Nava, B. G., Endara, A. R., Regil, H. H., Estrada, C., Arriaga, C. M., Franco, S. (2010) *Los bosques y selvas del Estado de México*. Universidad Autónoma del Estado de México. México, 143 pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] Programa de Evaluación de los Recursos Forestales [FRA] (2015) Documento de Trabajo de la Evaluación de los Recursos Forestales No. 180: FAO, 253 pp.
- Parker, J., Karen, M., Mathiasen, L. R. (2006) Interactions among fire, insects and pathogens in coniferous forests of the interior western United States and Canada. *Agricultural and Forest Entomology*, 8, 167–189.
<https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2006.00305.x>
- Perusquía, O. J. (1978) *Descortezador de los pinos Dendroctonus sp. Taxonomía y distribución*. Boletín Técnico. No. 55. SARH, DGICF, México, 31 pp.
- Pineda, N. B., Bosque, J. S., Gómez, M. D., Plata, R. (2009) Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 69, 33–52. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004&lng=es&tlng=es (consultado 05 enero 2023).
- Queijeiro-Bolaños, M., Cano-Santana, Z., Castellanos-Vargas, I. (2013) Does disturbance determines the prevalence of dwarf mistletoe (*Arceuthobium*, Santalales: Viscaceae) in Central Mexico? *Revista Chilena de Historia Natural*, 86, 181–190.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2013000200007>
- Ramírez, J. F., Porcayo, E. (2010) Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México, utilizando el Método de SADIE. *Madera y Bosques*, 15 (2), 93–111.
<https://doi.org/10.21829/myb.2009.1521193>
- Ritter-Ortiz, W., Mercado, R. P., Pérez, M. C. (1993) Microclimatology and forest plague (*Dendroctonus adjunctus*) in central Mexico. *GeoJournal*, 30 (4), 479–481.
<https://doi.org/10.1007/BF00807231>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2001) Ecología del fuego en el ecosistema de *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7 (2), 145–151. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/rodriguez-2001.pdf> (consultado 23 diciembre, 2022).
- Rubín-Aguirre, A., Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R., del-Río-Mora, A. A., Tena-Morelos, C. A., Campos-Bolaños, R., del-Val, E. (2015) Bark beetle pests 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>
- Ruiz-González, C. G., Méndez-González, J., Cambrón-Sandoval, H., García-Aranda, A., Montoya-Jiménez, C., Sosa-Díaz, L. (2018) Distribución altitudinal y estacional de *Dendroctonus adjunctus* Blandford y *Dendroctonus brevicomis* Leconte en Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41 (4-A), 519–526.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4-A.519-526>

- Ryall, K. L., Fahrig, L., Eriksson, O. (2005) Habitat loss decreases Predator-Prey ratios in a Pine-Bark Beetle System. *Oikos*, 110 (2), 265–270.
<https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13691.x>
- Sáenz-Romero, C., Mendoza-Maya, E., Gómez-Pineda, E., Blanco-García, A., Endara-Agramont, A. R., Lindig-Cisneros, R., López-Upton, J., Trejo-Ramírez, O., Wehenkel, C., Cibrián-Tovar, D., Flores-López, C., Plascencia-González, A., Vargas-Hernández, J. J. (2020) Recent evidence of Mexican temperate forest decline and the need for ex situ conservation, assisted migration, and translocation of species ensembles as adaptive management to face projected climatic change impacts in a megadiverse country. *Canadian Journal of Forest Research*, 50 (9), 843–854.
<https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0329>
- Salinas-Moreno, Y., Mendoza, C., Barrios, M. A., Cisneros, R., Macías-Sámamo, J. Zúñiga, G. (2004) Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) in Mexico. *Journal of Biogeography*, 31, 1163–1177.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01110.x>
- Salinas-Moreno, Y., Vargas, C., Zúñiga, G., Víctor, J., Ager, A., Hayes, J. L. (2010) *Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género Dendroctonus (Curculionidae: Scolytinae) en México*. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), México, 90 pp.
- Sánchez, S., Torres, E. (2004) *Manejo del descortezador Dendroctonus pseudotsugae Hopkins en los bosques de Coahuila*. CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 15. Coahuila, México, 23 pp.
- Sánchez-Sánchez, H., López-Barrera, G., Peñaloza-Ramírez, J. M., Rocha-Ramírez, V., Oyama, K. (2012) Phylogeography reveals routes of colonization of the bark beetle *Dendroctonus approximatus* dietz in Mexico. *Journal of Heredity*, 103 (5), 638–650.
<https://doi.org/10.1093/jhered/ess043>
- Santana-Zarza, D. M., Barraza-Domínguez, J. E., Castillo-Jiménez, I. (2020) Distribución potencial del género *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae) en el municipio de Amanalco, estado de México. *Entomología Mexicana*, 7 (1), 348–354.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2015) Biodiversidad. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/05_serie/yelmedioambiente/3_biodiversidad_v08.pdf (consultado 23 diciembre, 2022).
- Sierra, P. Y. (2022) “Los bosques templados en México van a sufrir una reducción muy grande”: Daniel Piñero, Mongabay, periodismo ambiental independiente en Latinoamérica.
- Sosa-Díaz, L., Méndez, G. J., García, A. M. A., Cambrón, S. V. H., Villareal, Q. J. A., Ruiz, G. C. G., Montoya, J. J. (2018) Distribución potencial de barrenadores, defoliadores, descortezadores y muérdagos en bosques de coníferas de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (47), 187–208.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.159>
- StatPoint Technologies Inc. (2009) Statgraphics Centurion. Warrenton: StatPoint Technologies Inc., Sp.
- Stevens, R. E., Flakes, H. (1974) *A roundheaded pine beetle outbreak in New Mexico: associated stand conditions and impact*. Fort Collins, USDA For. Serv. Res. Rocky Mt. For. and Range Exp. Stn, 4 pp.
- Sunny, A., Duarte-de Jesus, L., Aguilera-Hernández, A., Ramírez-Corona, F., Suárez-Atilano, M., Percino-Daniel, R., Manjarrez, J., Monroy, O., González-Fernández, A. (2019) Genetic

- diversity and demography of the critically endangered Roberts' false brook salamander (*Pseudoeurycea robertsi*) in Central Mexico. *Genetica*, 147, 149–164.
<https://doi.org/10.1007/s10709-019-00058-2>
- Torres E., Sánchez, S. (2006) *Principales insectos descortezadores en los bosques de coníferas del Estado de Coahuila*. Folleto Técnico Núm. 21. Saltillo, Coahuila: INIFAP, 20 pp.
- Torres, E., Sánchez, S. (2005) *Manejo integrado del escarabajo descortezador *Dendroctonus adjunctus* Blandford en los bosques de *Pinus rudis* en el estado de Coahuila*. Saltillo, INIFAP, 22 pp.
- Vega, A. (2022) "Bosques más vulnerables a plagas: un efecto del cambio climático que ya se observa en México" Mongabay, periodismo ambiental independiente en Latinoamérica. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2022/01/bosques-mas-vulnerables-a-plagas-un-efecto-del-cambio-climatico-mexico/> (consultado 23 diciembre, 2022).
- Velázquez, A., Mas, J., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga, R., Alcántara, C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra E., Palacio, J. L. (2002) *Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México*. Gaceta 62, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México D.F., 37 pp.
- Williams, K. K., Mcmillin, J. D., Degomez, T. E., Clancy, K. M., Miller, A. (2008) Influence of elevation on bark beetle (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) community structure and flight periodicity in ponderosa pine forests of Arizona. *Environmental Entomology*, 37 (1), 94–109.
[https://doi.org/10.1603/0046-225X\(2008\)37\[94:IOEOBB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37[94:IOEOBB]2.0.CO;2)
- Wood, S. L. (1982) The bark Ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae) A taxonomic Monograph. *Great Basin Naturalist Memoirs*, 6, 1–1359.
- Yélamos, T. (1994) Descripción de un nuevo género de *Acritini* Wenzel, 1944, de la península ibérica y de una nueva especie endógena (Coleoptera, Histeridae). *Bolletín de la Société Entomologique de France*, 99, 491–496.
- Zhang, Y., Seide, B. (1999) Which trees and stands are attacked by the southern pine beetle? *Southern Journal Applied Forest*, 23 (4), 217–223.
<https://doi.org/10.1093/sjaf/23.4.217>
- Zúñiga, G., Cisneros, R., Hayes, J., Macías, S. (2002) Karyology, geographic distribution and the origin of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Scolytidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 95, 267–275.
[https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0267:KGDAOO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0267:KGDAOO]2.0.CO;2)