



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ASOCIACIÓN DEL MUÉRDAGO ENANO  
(*Arceuthobium* spp.) Y LA MARIPOSA RESINERA  
(*Synanthedon cardinalis*) EN *Pinus hartwegii* DE  
ZOQUIAPAN, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**ANDREA NAVARRETE ALFONZO**



**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. MÓNICA ELISA QUEIJEIRO BOLAÑOS**

**Ciudad Universitaria, CDMX 2017.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## Hoja de datos del jurado

### 1. Datos del alumno

Navarrete  
Alfonzo  
Andrea  
55 14 68 24  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
306267895

### 2. Datos del tutor

Dra.  
Mónica Elisa  
Queijeiro  
Bolaños

### 3. Datos del sinodal 1

M. en C.  
Irene  
Pisanty  
Baruch

### 4. Datos del sinodal 2

M. en C.  
Omar  
Ávalos  
Hernández

### 5. Datos del sinodal 3

Dr.  
Víctor  
López  
Gómez

### 6. Datos del sinodal 4

Dr.  
Zenón  
Cano  
Santana

### 7. Datos del trabajo escrito

Asociación del muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) y la mariposa resinera (*Synanthedon cardinalis*) en *Pinus hartwegii* de Zoquiapan, Estado de México, México.  
61 p.  
2017

*“El éxito no es la clave de la felicidad.*

*La felicidad es la clave del éxito.*

*Si amas lo que haces, triunfarás”*

Albert Schweitzer

*A mis padres y  
a mi hermana.*

## AGRADECIMIENTOS

A la máxima casa de estudios de México, la UNAM, por brindarme una educación de calidad, por darme grandes recuerdos y experiencias que siempre llevaré a donde quiera que vaya. “Por mi raza hablará el espíritu”.

A la Facultad de Ciencias, por permitirme estudiar esta gran carrera, por todos los apoyos y recursos brindados a lo largo de mi formación.

A la Dra. Mónica Queijeiro, por sumergirme en el mundo de los muérdagos, por compartirme sus conocimientos, por guiarme y apoyarme a lo largo de este proceso. Por ser una excelente tutora, por toda la paciencia, la dedicación y por confiar en mí. Muchas gracias.

Al Dr. Zenón Cano, por todo su apoyo, sus consejos, su confianza y conocimiento.

Al Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos, por todas las facilidades que me brindaron para el desarrollo de este trabajo.

A mis sinodales, Irene Pisanty, Omar Ávalos, Zenón Cano y Víctor López por sus valiosos comentarios y aportaciones para este trabajo.

A todos los que me apoyaron en el trabajo de campo: Gaby, Eli, Alma, Adri, Valeria, sin su ayuda no hubiera sido lo mismo. Gracias por aguantar las caminatas, los calores, pero sobretodo los fríos.

A todos mis profesores de la Facultad de Ciencias que pusieron su granito de arena en mí y que hicieron que amara el universo de la biología. Al Dr. Héctor Benavides Meza por permitirme descubrir el mundo del manejo forestal, por inculcarme el amor y cuidado de los árboles, gracias.

Agradezco especialmente a mis amigos entrañables que estuvieron siempre pendientes de mí: a Diana Isolda, por ser una gran amiga y confidente todos estos años, por estar siempre en los mejores y peores momentos de mi vida, por escucharme y compartir

conmigo momentos tan importantes como este, gracias; a Antonio Kuri, por ser un gran amigo, por apoyarme, por todas las aventuras, por escuchar y compartir todas las frustraciones y alegrías de la vida, gracias; a Laura y Samantha, por apoyarme y demostrarme que una amistad puede sobrevivir a pesar de los años; a Gabriela Pastrana, por todas las aventuras dentro y fuera de la escuela, por ser una gran prima, comadre, compañera de fiestas, amiga y consejera; a Blanca Lorena, por ser mi amiga del kínder y por apoyarme siempre; a Cecilia y Libertad, porque a pesar de la distancia sé que siempre estarán ahí, por apoyarme y porque forman parte de un momento especial de mi vida.

A mis amigos de la facultad, por hacer este camino más ligero y divertido, por todo el aprendizaje, las risas y momentos que compartí con cada uno de ustedes, gracias.

A mis padres, por darme la vida, por ser los mejores papás del mundo, por todo su amor y cariño, por apoyarme incondicionalmente y por confiar en mí durante todo este camino, por darme la dicha de tener una carrera maravillosa, pero sobre todo por enseñarme que no existen las limitaciones. Los amo.

A mi hermana, por ser siempre más que eso, por ser un ejemplo a seguir, por estar siempre conmigo, por guiarme, apoyarme y creer en mí durante todo este camino, por todos tus consejos y regaños, al final todo ha rendido frutos. Te quiero mucho.

A toda mi familia, por apoyarme y estar siempre pendiente del progreso de mi formación, especialmente a mi abuelita por estar conmigo y creer en mí.

A Jesús, por estar en mi vida durante tantos años en todas las modalidades, por todas tus palabras y tu apoyo en este largo camino, sin ti no hubiera sido igual. Gracias por confiar y creer siempre en mí, por tus consejos, tu paciencia, por las enseñanzas y sueños compartidos. Te amo.

A Dios, por ponerme en este camino lleno de aprendizajes, por darme la valentía y el coraje para siempre seguir adelante y no darme por vencida, por permitirme rodearme de personas grandiosas, pero, sobre todo, por ponerme en manos de una familia maravillosa.

## ÍNDICE

RESUMEN	1
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
1.1 Enfermedades y plagas forestales	3
1.2 Plantas parásitas y muérdagos	4
1.3 Insectos Forestales	6
1.4 Insectos que se alimentan de floema y cambium	8
1.5 Asociación del muérdago enano con insectos que se alimentan de floema y cambium	10
1.6 Justificación	13
1.7 Objetivos e hipótesis	14
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>15</b>
2.1 Sitio de estudio	15
2.2 Especies de estudio	16
2.3 Métodos	20
2.4 Análisis de datos	24
<b>III. RESULTADOS.</b>	<b>27</b>
3.1 Descripción del sitio y de las infestaciones por los parásitos	27
3.2 Relación entre el muérdago enano y la mariposa resinera	30
3.3 Relación de los parásitos y la debilidad del árbol	31
3.4 Variables relacionadas con el ataque de la mariposa resinera	37
<b>IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.</b>	<b>41</b>
4.1 Relación entre el muérdago enano y la mariposa resinera	41
4.2 Relación de los parásitos y la debilidad del árbol	43
4.3 Variables relacionadas con el ataque de la mariposa resinera	44
<b>LITERATURA CITADA.</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>60</b>



Navarrete-Alfonzo, A. 2016. Asociación del muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) y la mariposa resinera (*Synanthedon cardinalis*) en *Pinus hartwegii* de Zoquiapan, Estado de México, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 61 pp.

## RESUMEN

Los sistemas forestales de México se encuentran sujetos a condiciones de deterioro ambiental debido a diversos factores abióticos, antropogénicos y bióticos. Los factores bióticos generan plagas y enfermedades forestales, entre los que el muérdago enano y los insectos que se alimentan de floema y cambium son dos de los grupos patógenos de mayor importancia en nuestro país. En Zoquiapan (Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl) se ha observado la presencia de la mariposa resinera (*Synanthedon cardinalis* Dampf.) en individuos de *Pinus hartwegii* Lindl. parasitados por dos especies de muérdago enano (*Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule* Hawksworth y Wiens y *A. vaginatum* subsp. *vaginatum* Willd.) que coexisten en esta localidad; sin embargo, actualmente no se conoce la relación que existe entre el muérdago enano y la mariposa resinera. El objetivo de este estudio es conocer la relación que existe entre la infestación por *A. globosum* y *A. vaginatum* (solos y en conjunto), y la infestación por la mariposa resinera en *P. hartwegii*, así como los factores relacionados con el ataque de *S. cardinalis*. Para esto, se seleccionaron de forma dirigida 10 parcelas de 100 x 100 m que mostraran evidencia de la presencia de *S. cardinalis*. En cada una de ellas se registró la altura, el diámetro a la altura del pecho, el volumen de la copa y el grosor de la corteza en individuos de *P. hartwegii*; además se evaluó el nivel de infestación por muérdago enano y por la mariposa resinera, así como el nivel de debilidad de cada árbol. Se registró un total de 1009 árboles de *P. hartwegii*, de los cuales 38.2% presentaron infestación por *A. vaginatum* y 8.8% por *A. globosum*. El 13.9% del total de árboles presentó infestación por *S. cardinalis* y por *A. globosum*, *A. vaginatum* o por ambas especies de muérdago. Se encontró que hay una asociación significativa y positiva entre el MDMR de *A. vaginatum* y la mariposa resinera cuando el nivel de debilidad del hospedero es media y muy débil; para *A. globosum* se encontró una asociación significativa entre el MDMR y la mariposa resinera que será positiva en hospederos de debilidad baja, y negativa en árboles con

debilidad media; para ambos muérdagos enanos en coexistencia se observó una asociación significativa y positiva entre MDMR y la mariposa resinera en hospederos de debilidad media. Los ataques de la mariposa resinera tienen una asociación significativa y positiva con el nivel de debilidad del árbol. El diámetro a la altura del pecho es el mejor predictor para el ataque de la mariposa, ya que provee los mejores recursos para su desarrollo y supervivencia, lo anterior coincide con la preferencia de *A. globosum* por estos árboles, por lo que ambos parásitos podrían estar compitiendo por los hospederos, y dada la abundancia de *A. vaginatum*, es posible que ésta última no esté interactuando con la mariposa. Se sugieren mayores estudios respecto a la presencia del insecto y enfocados en las características fisiológicas del hospedero, así como en los factores abióticos que puedan estar interviniendo en el favorecimiento del ataque por muérdago enano y la mariposa resinera.

**Palabras clave:** Facilitación, parasitismo, plagas forestales, planta parásita, debilidad de los árboles.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Enfermedades y plagas forestales

Los bosques cubren un 30.3% de la superficie emergida del planeta y son hábitat de una gran cantidad de organismos, además de que proveen de beneficios y servicios a los humanos (Ciesla, 2011). Los bosques tienen un gran valor económico al ser una fuente de productos maderables y no maderables, y por su función protectora de suelos y cuencas hidrográficas, así como por su importancia como sitios de recreación y espiritualidad (Ciesla, 2011; Ruíz *et al.*, 2007); recientemente se ha revalorado el papel de los bosques debido a su capacidad de almacenar el exceso de carbono de la atmósfera de la Tierra (Ciesla, 2011). Es por esto que los servicios ambientales de los bosques son una de las razones más importantes para conservarlos o para administrarlos con más cuidado (Bishop y Landel-Mills, 2006)

La superficie territorial del país es de 196.4 millones de hectáreas, de las cuales, 144 millones, equivalentes al 74% de la superficie nacional total (Cibrián y Cibrián, 2007), tiene gran potencial forestal (CONABIO, 2008). De hecho, México se encuentra en el lugar número 12 en cuanto a la superficie forestal mundial (CONABIO, 2008).

Lamentablemente, esta superficie forestal se encuentra sujeta a condiciones de deterioro debido a tres factores principales (Cibrián y Cibrián, 2007; Ciesla 2011): 1) agentes abióticos, que son aquellos cambios en las condiciones físicas y químicas del ambiente que causan alteraciones fisiológicas cuando se presentan en rangos fuera de lo normal, así como estrés en los individuos e incluso la muerte; 2) agentes antropogénicos, tales como la falta de un manejo adecuado y la explotación severa de éstas áreas; y 3) agentes bióticos, como aquellos insectos, hongos, virus, bacterias, nemátodos, fitoplasmas y plantas parásitas, que son causantes de plagas y enfermedades en árboles. Este último factor se considera como una de las causas principales de disturbio en los bosques de México, pues es el causante de los problemas más serios en la salud de los árboles (Ortega *et al.*, 1951).

En los bosques naturales se reconocen los siguientes grupos de patógenos de importancia: muérdagos enanos, muérdagos verdaderos, royas, pudrición de duramen y pudriciones de la raíz (Cibrián y Cibrián, 2007). Los muérdagos enanos son los de mayor importancia económica, ya que en nuestro país las infecciones por estos agentes se encuentran en más de 1.8 millones de hectáreas; las principales áreas afectadas son los bosques bajo manejo y parques nacionales, localizados principalmente en el centro del país (Cibrián y Cibrián, 2007). De acuerdo con datos de la CONAFOR (2010), en México, hasta el año de 1998, la tasa de infestación de superficie afectada por plagas y enfermedades era de 23 mil ha/año debido principalmente a la acción de descortezadores, defoliadores, barrenadores y muérdago, y entre 1990 y 2009 la tasa se incrementó en promedio a 35 mil hectáreas, de los cuales, el año 2006 fue el de mayor afectación.

## **1.2 Plantas parásitas y muérdagos**

El parasitismo es un tipo de interacción negativa donde una especie se beneficia de otra al extraerle sus recursos vitales (Musselman y Press, 1995). Se estima que el 1% de las angiospermas son parásitas y que hay alrededor de 3000 especies distribuidas en 17 familias (Walters, 2011), que varían tanto en el grado de dependencia al hospedero como en su capacidad para fotosintetizar (Musselman y Press, 1995). Las familias de plantas parásitas más relevantes por su distribución e importancia económica, son: Loranthaceae (que incluye a los muérdagos), Viscaceae (donde se encuentran los muérdagos enanos), Santalace (representada principalmente por el sándalo), y Scrophulariaceae (con el género *Striga* que es una hierba que daña cultivos en África y Asia) (Manion, 1991).

Pocas son las plantas parásitas que provocan enfermedades de importancia en los bosques (Alvarado-Rosales, 2009), pero en México, los muérdagos enanos del género *Arceuthobium* son el problema patológico más importante y generan pérdidas anuales por más de 2 millones de m<sup>3</sup> de madera, ocasionan la muerte del arbolado y su predisposición

a otros agentes de destrucción, tales como insectos y hongos (Cibrián, 2007; Alvarado-Rosales, 2009).

Casi todas las plantas parásitas carecen de raíces verdaderas y en ocasiones de hojas fotosintéticas, pues establecen conexiones con el sistema vascular de la planta hospedera mediante el desarrollo de órganos especializados llamados haustorios, que son estructuras similares a raíces, pero que carecen de cubierta radical y sus pelos radicales son muy reducidos (Cibrián, 2007; Alvarado-Rosales, 2009). En este tipo de plantas, el floema está reducido o ausente y compuesto en su mayor parte por elementos del vaso; a partir de los cuales se conecta el sistema vascular a la planta hospedera para obtener agua, nutrientes inorgánicos y compuestos orgánicos (Musselman y Press, 1995; Blanchard y Tattar, 1997). Esta interacción afecta en consecuencia el crecimiento y la fecundidad de la planta hospedera al originar desórdenes fisiológicos graduales, que dependen de la severidad de la infección (Alvarado-Rosales, 2009).

Las plantas parásitas se pueden clasificar de dos formas: 1) por la parte que atacan del hospedero, y 2) por la presencia o ausencia de clorofila. Se consideran parásitos de raíz a aquéllos que presenten el haustorio por debajo de la tierra, y si se encuentra arriba, parasitando ramas y tallos, se consideran parásitos aéreos; por el contenido de clorofila, se distinguen dos tipos de plantas parásitas: las holoparásitas, que dependen completamente del hospedero al carecer o tener bajas concentraciones de clorofila; y las hemiparásitas, las cuales no dependen completamente del hospedero al ser fotosintéticamente activas (Musselman y Press, 1995), aunque, son incapaces de tomar directamente del suelo el agua y las sales minerales que requieren para llevar dicho proceso (Marchal, 2009).

Los muérdagos enanos (*Arceuthobium* spp.; Santalales: Viscaceae) son arbustos hemiparásitos que atacan los tallos aéreos de plantas vasculares, presentan hojas reducidas, por lo que la fotosíntesis es transferida a los tallos, y sus frutos poseen una capa de viscina (Geils y Vázquez-Collazo, 2002; Heide-Jorgensen, 2008). En México se conocen 22 especies de este tipo de muérdago y es de los más extendidos en el país; se

considera como uno de los patógenos más relevantes de coníferas, en particular de los géneros *Pinus* y *Abies* (Cibrián, 2007; Heide-Jorgensen, 2008).

El género *Arceuthobium* presenta características únicas entre los muérdagos como es la reducción extrema en tamaño (desde 0.5 cm hasta 70 cm de alto) y el desarrollo de un mecanismo balístico de dispersión de semillas altamente efectivo (Hawksworth y Wiens, 1996; Hawksworth *et al.* 2002); también presentan varias modificaciones anatómicas que facilitan su dispersión, tales como el pedicelo de su fruto y una sustancia pegajosa llamada viscina que le permite a las semillas adherirse al hospedero, cuando la semilla es expulsada, llega a alcanzar una velocidad de casi  $24 \text{ ms}^{-1}$ , y ésta se desplaza horizontalmente distancias de entre 5 y 15 metros (Hawksworth *et al.*, 2002).

Dada su afinidad por las coníferas, esta planta parásita se encuentra asociada a daños severos en sistemas forestales ya que afecta árboles de cualquier edad y reduce su tamaño en altura de 50 a 80%, esto le causa deformidades al hospedero como las “escobas de brujas” e incluso les provoca la muerte (Agrios, 2005), además, la calidad de la madera se reduce al presentar nudos y al ser granulosa y esponjosa (Riches y Parker, 1995;). Las infecciones severas por muérdago enano debilitan a los árboles, los predisponen a pudriciones y facilitan el surgimiento de enfermedades y plagas de tallo o raíz, así como su caída o la ruptura de sus partes por acción del viento (Agrios, 2005).

### **1.3 Insectos forestales**

En los sistemas forestales, la mayoría de los insectos residentes son poco abundantes (Ciesla, 2011); sin embargo, cuando el tamaño poblacional de los insectos que consumen una parte determinada de una o varias especies vegetales aumenta significativamente y son capaces de ocasionar daños considerables, se les denomina plaga forestal (Gutiérrez, 1989; Dajoz, 2001). Mientras existen, literalmente, miles de tipos de insectos en un bosque, muchos de los cuales utilizan a los árboles como su hogar, solo unas pocas especies provocan un daño suficiente que requiere de su control (Stoddard, 1968).

Ya que los insectos atacan diferentes partes del árbol y tienen hábitos diferentes, para propósitos forestales, estos se han clasificado con base en la forma en que atacan al árbol (Stoddard, 1968). Cibrián *et al.* (1995) clasificaron a los insectos herbívoros en nueve categorías: 1) insectos descortezadores, 2) insectos barrenadores de la madera húmeda, 3) insectos barrenadores de la madera seca, 4) insectos defoliadores, 5) insectos chupadores de savia, 6) insectos que se alimentan de brotes y yemas, 7) insectos de conos y semillas, 8) insectos formadores de agallas, e 9) insectos de la raíz. Los seis primeros son los de mayor importancia ya que incluyen a los insectos más destructivos; sin embargo, es importante considerar que la infestación que se presenta en cada sistema forestal es distinta (Stoddard, 1968).

La mayoría del daño se da durante la temporada de crecimiento, usualmente a principios o mediados del verano (Stoddard, 1968). Los daños causados por insectos en ecosistemas forestales incluyen la depreciación de las cualidades de la madera, pérdidas en la producción forestal ligada a la reducción de crecimiento de los árboles, la modificación de la arquitectura de los árboles (deformaciones, ausencia o escasez de conos), aumento en la sensibilidad al ataque de otras especies de insectos, ser vectores de virus o de hongos patógenos e incluso pueden provocar la muerte de los árboles por ataques masivos (Dajoz, 2001; Ciesla, 2011).

La naturaleza en muchos de los casos proporciona control sobre los insectos a través de parásitos, aves que se alimentan de insectos y otros depredadores naturales (Stoddard, 1968). Sin embargo, cuando las condiciones se vuelven favorables para una plaga en particular, el número de individuos aumenta y ocurren epidemias que requieren de controles artificiales como métodos silviculturales, controles químicos y métodos de control directo (Stoddard, 1968).

#### 1.4 Insectos que se alimentan de floema y cambium

Estos insectos constituyen el grupo más importante y dañino dentro de los insectos forestales que atacan a las coníferas, ya que las larvas se alimentan del cambium y del floema que están debajo de la corteza de árboles de todas las edades (Cibrián *et al.* 1995; Sauvard, 2004; Ciesla, 2011). Dentro de estos insectos se reconocen dos órdenes principales, Coleoptera y Lepidoptera (Cibrián *et al.* 1995).

Una de las especies de importancia forestal en México es *Synanthedon cardinalis* Dampf (Lepidoptera: Sesiidae) o mariposa resinera, la cual se ha visto que afecta a varias especies de pinos como *Pinus patula* Schl. & Cham, *P. radiata* D. Don, *P. hartwegii* Lindl., *P. leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham., *P. montezumae* Lam. y *P. lawsonii* Roetzl ex Gordon (Cibrián *et al.*, 1995). La mariposa resinera es atraída por sustancias volátiles, como la resina de los pinos, que fluyen al exterior de la corteza (Hernández, 1983; Del Río, 1990). Los árboles atacados por esta especie se reconocen por la presencia de grumos de resina de un tamaño que varía de uno a 15 centímetros de diámetro por un centímetro de profundidad, así como por la decoloración del follaje, que puede ser de tonalidades entre color verde oscuro hasta el café, cuando el árbol muere (Hernández, 1983; Cibrián *et al.* 1995; CONAFOR, 2014).

En el centro de México, su presencia es común en el arbolado maduro y con infecciones de muérdago enano, pero como el insecto no se encuentra asociado con hongos, por lo general, no causa la muerte de los árboles (Hernández, 1983). Los daños ocasionados por *S. cardinalis*, pueden considerarse principalmente como secundarios, debido a que la mayor parte de sus ataques se asocian con daños primarios causados fundamentalmente por podas mal manejadas, aprovechamientos clandestinos, cánceres, así como por incendios; aunque también se comporta como insecto que ataca en forma primaria, ya que se hospeda también en árboles sanos e incluso bien conformados (Del Río, 1990). Los daños de las larvas se encuentran a lo largo de todo el fuste, se congregan preferentemente en determinados sitios, como alrededor de ramas podadas o tumores de cánceres (Del Río, 1990). Al principio de los ataques se notan ligeros escurrimientos de



resina cristalina apenas visible sobre la corteza externa que dejan las larvas recién eclosionadas, pero a medida que crecen éstas, sus daños se perciben en el tronco como grandes grumos de resina; el punto de ubicación de los grumos indica también el final de la galería que forma el insecto (Del Río, 1990). Además, estos escurrimientos de resina, debido a su alto contenido de terpenos, pueden funcionar como atrayentes para otras especies de insectos, entre ellos, los descortezadores (CONAFOR, 2014). Este insecto tiene el hábito de reinfestar un mismo árbol generación tras generación hasta que lo mata; un árbol de plantaciones forestales que es atacado en la primera generación tiene una probabilidad de 50% de sobrevivir, al segundo ataque ésta baja al 25% y al tercero decae por completo, siempre y cuando los ataques se lleven a cabo por alrededor de 10 individuos por generación, equivalente al mismo número de grumos observados por árbol (Del Río, 1990).

La defensa de los hospederos involucra múltiples modalidades que incluyen componentes físicos, histológicos y bioquímicos, las cuales funcionan de una forma altamente integrada (Raffa *et al.*, 2015). La totalidad del funcionamiento de esos mecanismos está asociado con el vigor de la fisiología de la planta entera, por lo que alguna variación de estrés agudo y crónico perjudica la magnitud y velocidad de estas defensas (Raffa *et al.*, 2015). Se piensa que los árboles estresados, generalmente son más susceptibles a los ataques de estos insectos que perforan la madera, debido a que sus mecanismos de defensa son débiles; investigaciones han demostrado que la resistencia a las larvas de las polillas se desvanece conforme se desacelera la formación del callo, si las larvas se mueven más rápido que la formación del callo a través del tejido vascular, las larvas pueden vivir para completar su desarrollo (Frank y Mizell, 2006). Aunque el estrés causado por factores como la sequía, la mala calidad del suelo o poca luz puede reducir o debilitar la respuesta de las plantas a estos insectos, existen evidencias de que incluso hospederos no estresados pueden ser susceptibles a ciertos insectos, por lo que el estrés puede no tener efecto sobre la resistencia si los árboles son inherentemente susceptibles a una especie de insecto en particular (Frank y Mizell, 2006).

Para plantaciones forestales, los insectos que se alimentan de floema y cambium son percibidos como una plaga que daña los bosques. Ciertamente, a nivel de epidemia, arrasaron con grandes áreas en los bosques de coníferas, lo cual afecta drásticamente los aspectos ecológicos y la composición de las especies por un tiempo considerable (Byers, 2004). Sin embargo, en áreas naturales, estos insectos son una especie clave que fluctúa de manera natural en abundancia según la edad del bosque y la etapa sucesional en la que se encuentre (Byers, 2004).

### **1.5 Asociación del muérdago enano con insectos que se alimentan de floema y cambium**

Los efectos de la infección por muérdago presentan numerosas consecuencias para las especies asociadas a los hospederos, así como en varios procesos naturales (Geils y Hawksworth, 2002). El muérdago enano afecta la dinámica de las comunidades a través de su interacción con hongos, insectos y el fuego, además, tiene efectos sobre la vegetación y el uso por la fauna silvestre (Geils y Hawksworth, 2002).

Las infecciones severas por muérdago enano pueden debilitar a los árboles y provocar fácilmente su muerte a través de infestaciones secundarias de insectos (Hawksworth y Wiens, 1996). Las interrelaciones entre el muérdago enano e insectos descortezadores como causantes de la mortalidad de árboles han sido ampliamente debatidas (Hawksworth y Wiens, 1996); así como la relación entre la disminución en el vigor del arbolado a nivel individual, asociado con el muérdago enano, y la susceptibilidad al ataque de insectos descortezadores (Agne *et al.*, 2014).

En la literatura se puede encontrar que el ataque de los descortezadores se encuentra relacionado favorablemente con problemas fitosanitarios como royas, hongos y muérdago, donde estos primeros agresores debilitan al árbol, disminuyendo su resistencia natural (Lieutier, 2004). En muchos trabajos, desarrollados principalmente en Norteamérica, se ha sugerido que los escarabajos descortezadores son atraídos por

árboles infectados por muérdagos enanos (McGregor, 1978; McCambridge *et al.*, 1982; Rasmussen, 1987 Linhart *et al.*, 1994; Kenaley *et al.* 2006); sin embargo, esta relación ha sido poco comprendida (Agne *et al.*, 2014).

Parker y Stipe (1974) evaluaron la asociación del escarabajo de pino de montaña (*Dendroctonus ponderosae*) y el muérdago enano de *Pinus contorta* (*Arceuthobium americanum*), dónde encontraron que los árboles muertos por el escarabajo presentaban niveles de infestación por muérdago altos. Por su parte, Kenaley *et al.* (2006) realizaron un estudio en el que mostraron que existe una influencia de la severidad de muérdago enano (*A. vaginatum* subsp. *cryptopodum*) y la susceptibilidad de ataque por descortezadores del género *Ips* spp. en *Pinus ponderosa* en dos zonas del norte de Arizona, donde ocurrió una epidemia previa, concluyeron que los árboles muertos a causa de este descortezador presentaban niveles significativamente altos de infestación de muérdago enano comparados con aquellos que no murieron. De manera similar, McCambridge *et al.* (1982) encontraron que la mortalidad debida al escarabajo de pino de montaña era mayor en zonas donde el muérdago enano era más abundante; el porcentaje de pinos muertos por el insecto fue mayor en rodales infectados por el muérdago enano del suroeste (30.8%) que en rodales sin infección (20.5%). Además, las pérdidas del porcentaje de ramas muertas, el volumen de madera comercializable y el área basal debido al ataque por el insecto, eran significativamente mayores en los puntos donde había infestación por muérdago enano.

Ferrell (1974) estudió el estrés hídrico y el ataque de descortezadores en árboles infectados por el muérdago verdadero *Phoradendron bolleanum* subsp. *pauciflorum* en individuos de *Abies concolor* en California, encontró que debido a las infestaciones por muérdago se presenta un estrés hídrico mayor, lo que genera una menor resistencia a la penetración y formación de galerías por los descortezadores. Kulakowski y Jarvis (2013) estudiaron individuos de *Pinus contorta* en el Bosque Nacional Routt, Colorado, encontrando que los árboles que presentaban un vigor menor a causa de un disturbio, como lo es un incendio, los hace más propensos a sufrir algún ataque por

descortezadores, y que son preferidos debido a las capacidades de defensa bajas que presentan.

Aunque los estudios anteriores apoyan la idea de que los descortezadores prefieren hospederos previamente debilitados, también existen estudios que muestran la preferencia de los insectos descortezadores por hospederos sanos y aparentemente vigorosos, ya que presentan un floema grueso y son una mejor fuente de alimento, mientras que el floema de los árboles con infestaciones medias y altas de muérdago enano es significativamente más delgado (Roe y Amman, 1970). Además, aunque los árboles vigorosos representan un riesgo para los descortezadores al tener defensas superiores, al ser abundantes y más nutritivos, proveen un mejor recurso. (Raffa *et al.*, 2008)

En México se ha estudiado el efecto que causa el muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) sobre su hospedero de forma física (Gutiérrez, 1968; Berriel, 1983; Flores, 2008) y fisiológica (Andrade y Cibrián, 1980); sin embargo, no se ha estudiado su asociación con algún tipo de insecto que se alimente de floema y cambium. Valderrama y Medina (2002) presentaron un estudio en el cual se evaluó el muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) en rodales de pino (*Pinus* spp.) en la Estación Experimental Zoquiapan, donde reportaron individuos infestados con muérdago y la presencia o ausencia del descortezador *Dendroctonus adjunctus*, sin embargo, no se encontró una relación significativa entre estos dos organismos en su evaluación. Mencionan que esto se puede deber a un aprovechamiento de árboles infestados por descortezador realizado meses antes a su evaluación.

Hernández (1983) describe el ciclo de vida de *S. cardinalis* y contribuye con datos de distribución y hospederos del lepidóptero; ella menciona que la importancia del insecto se atribuye a que al alimentarse del cambium de los pinos causa la interrupción del flujo de nutrientes, por lo que el hospedero se debilita y puede llegar a morir; además la presencia de los muérdagos y royas en los pinos constituyen sitios en los cuales la mariposa resinera se establece y se alimenta, por lo que sugiere la asociación de la

mariposa con estos organismos. Se han publicado estudios en los que se ha identificado a la mariposa atacando nuevas especies de pinos en otros estados de la República, como en Aguascalientes (CONAFOR, 2014), Michoacán (Del Río, 1990) y Veracruz (Hernández y Equihua, 2000); en ninguna de estas publicaciones se observa la asociación con muérdago enano, sin embargo Hernández y Equihua (2000) mencionan que en Veracruz, en el Parque Nacional del Cofre de Perote, la mariposa parece guardar una relación con el muérdago *Phoradendron* spp.

## **1.6 Justificación**

Hay una falta de estudios sobre la interacción que mantienen los muérdagos enanos con la mariposa resinera a nivel mundial; el estudio de Hernández (1983) solamente sugiere su asociación. Por otro lado, además del estudio de su ciclo de vida (Hernández, 1983), la información existente sobre *S. cardinalis* se limita a datos sobre su presencia en ciertos estados de nuestro país (Del Río, 1990; Hernández y Equihua, 2000; CONAFOR, 2014), así como a su uso para consumo humano (Ramos-Elorduy, 2011). Lo anterior muestra que no existen investigaciones que arrojen mayor información sobre la dinámica e interacción que mantiene esta mariposa sobre su hospedero ni acerca de su relación con otros organismos.

La gran importancia que tienen los muérdagos enanos como causantes de pérdidas de masas forestales, así como el potencial que tiene la mariposa resinera para convertirse en una plaga capaz de debilitar y matar a sus hospederos, hace relevante el estudio de la ecología de su interacción, particularmente en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, que es un Área Natural Protegida que ofrece servicios ambientales importantes para la región (Torres, 2002).

## 1.7 Objetivos e hipótesis

El objetivo general de este trabajo es conocer la relación entre la infestación por dos especies de muérdago enano (*Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule* y *A. vaginatum* subsp. *vaginatum*) y la infestación por *Synanthedon cardinalis* en *Pinus hartwegii* de Zoquiapan, Estado de México. Los objetivos particulares derivados del anterior, son los siguientes:

- a) Conocer si el nivel de infestación por los dos muérdagos enanos (solos y en conjunto) está relacionado con el nivel de infestación por *S. cardinalis*.
- b) Conocer si la condición de debilidad del arbolado está relacionada con la infestación por los muérdagos enanos (solos y en conjunto) y por *S. cardinalis*.
- c) Conocer si las características dendrométricas de los árboles (altura, diámetro a la altura del pecho, volumen de la copa y grosor de la corteza) influyen en la infestación por *S. cardinalis*.

Dado que se ha observado que el muérdago enano debilita a los árboles permitiendo el ataque por otros insectos (McGregor, 1978; McCambridge *et al.*, 1982; Rasmussen, 1987 Linhart *et al.*, 1994; Kenaley *et al.* 2006), se espera que haya una relación positiva entre el nivel de infestación por los muérdagos enanos y la infestación por *S. cardinalis*. Respecto a la condición de debilidad de los pinos, se ha observado que la susceptibilidad de ataque por insectos descortezadores es mayor en árboles más débiles debido a que hay una reducción en sus métodos de defensa o que éstos no son completamente eficientes (Kulakowski y Jarvis, 2013), por lo que se esperaría ver que la relación entre la debilidad y la infestación por los muérdagos enanos y por *S. cardinalis* sea positiva; es decir, los árboles más débiles presentarán mayores ataques por los parásitos. Debido a que los árboles más grandes son un recurso más visible y abundante, así como una mejor fuente de alimento para el desarrollo de *S. cardinalis* (Roe y Amman, 1970; Raffa *et al.*, 2008), se espera que se presente una relación positiva entre el tamaño del hospedero y la infestación por el insecto.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1.1 Sitio de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la región de Zoquiapan (19 418 ha; 19°12'30'' a 19°20'00'' N, 98°42'30'' a 98°30'00'' O), municipio de Tlalmanalco, Estado de México, la cual forma parte del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (Rojas, 1983; Vargas, 1997; Fig. 1). Su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano [C(w''2)(w)(b')ig], con una temperatura media anual de 9.8°C y una precipitación anual de 972 mm con las lluvias concentradas en los meses de junio a septiembre (SMN, 2015).

Los suelos son andosoles mólicos de textura franco arenosa, que tienen un pH de entre 5.5 y 7.1; son profundos (65-90 cm) (Obieta y Sarukhán, 1981; Rojas, 1983) y tienen un alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, calcio, magnesio y bajo en fósforo (Valderrama y Medina, 2002). La región presenta una elevación de 2850 a 4150 m s.n.m. y pendientes que varían de 2 a 50% (Vargas, 1997)

Los tipos de vegetación que se encuentran en el sitio son bosques de *Pinus*, de *Abies* y de *Quercus*; en su flora hay una dominancia de *Pinus hartwegii* Lindl., aunque también se encuentran otras especies del género *Pinus*, *Cupressus*, *Quercus* y *Abies*; el sotobosque está representado principalmente por zacatonales de *Muhlenbergia macroura* (Kunth) Hitchc y *Festuca tolucensis* Kunt (Obieta y Sarukhán, 1981).

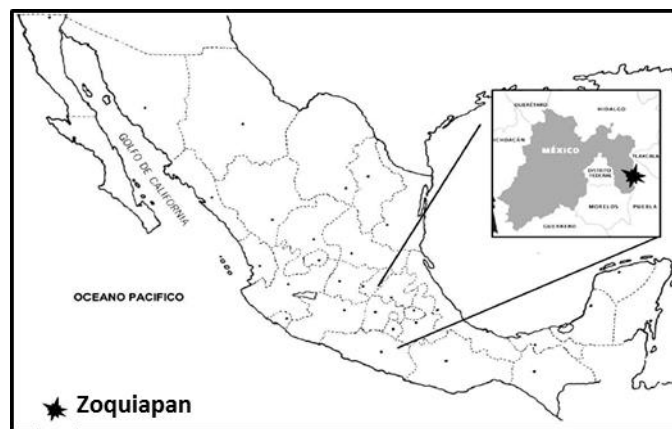


Figura 1. Ubicación de la región de Zoquiapan. Tomado de Chávez, 2013.

### 2.1.2 Especies de estudio

*Pinus hartwegii* Lindl. 1839 (Pinaceae), ha sido descrita en detalle por Martínez (1948), Matos (1995) y Narave y Taylor (1997), según se expone. Es una especie arbórea de 15 a 30 m de altura, piramidal, con diámetro a la altura del pecho de hasta 60 cm. Presenta una corteza pardo-rojiza a pardo grisácea-obscura, con fisuras longitudinales profundas y placas escamosas gruesas. Sus hojas son rígidas y erectas de color verde claro, generalmente dispuestas en fascículos de tres a cinco acículas. Sus acículas tienen de 7 a 16 cm de largo y de 1 a 1.4 mm de ancho. Sus conos son sésiles, de 5 a 10 cm de largo de color pardo-oscuro a negro y pueden ser cónicos u ovoides, algunas veces cilíndricos, con pedúnculos de no más de 10 mm, generalmente presentados en pares. Sus semillas son negras, aladas, triangular-elípticas, de 3 a 7 mm de largo. Se distribuye entre los 2850 a los 4200 m s.n.m, por lo que es llamado pino de altura. Se encuentra en Guatemala, Honduras y El Salvador, y en México se distribuye en Ciudad de México, Colima, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas. Es típico de zonas templadas con lluvias en verano y frecuentemente se encuentra formando pinares puros monoespecíficos como límite de la vegetación arbórea en las partes altas, en ecotono con bosques de *Abies religiosa* (Kunth) Schldl. & Cham. y *Alnus jorullensis* Humboldt, Bonpland & Kunth.

*Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule* Hawksworth y Wiens (Viscaceae), ha sido descrita en detalle por Hawksworth y Wiens (1996) y Hawksworth *et al.* (2002), según se expone. Es un arbusto de entre 18 y 50 cm de largo, amarillo verdoso, usualmente presenta un color pardusco en la base de los tallos más maduros y tiene ramas flabeladas (Fig. 2). El diámetro basal de sus ramas dominantes va desde de los 10 a los 48 mm. Sus flores son estaminadas tetrámeras de 5 mm de ancho, sus frutos maduros miden de 6 a 7 mm de largo y 3.5 mm de ancho y sus semillas miden 5 × 3 mm cada una. Su antesis se registra entre enero y mayo con un pico entre marzo y abril, sus frutos alcanzan la madurez entre julio y octubre; su periodo pre-reproductivo dura entre 16 y 18 meses, realiza la dispersión de sus semillas entre julio y octubre con un pico entre mediados de



agosto y mediados de septiembre. Esta subespecie infecta por lo menos a 12 especies de pinos mexicanos: *Pinus devoniana* Lindl., *P. douglasiana* Martínez, *P. durangensis* Ehren., *P. hartwegii* Lindl., *P. lawsonii* Roetzl ex Gordon, *P. maximinoi* H. E. Moore, *P. montezumae* Lam., *P. patula* Schl. & Cham., *P. pringlei* Shaw., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. teocote* Schl. & Cham. y *P. rudis* Endl. Se encuentra en Guatemala y Honduras, y en México se distribuye en Ciudad de México, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Su rango de distribución altitudinal es de 2450 a 4000 m s.n.m. Este muérdago es el más abundante en el centro de México.



Figura 2. *Arceuthobium globosum* subsp. *grandicaule* Hawksworth y Wiens. Foto: Mónica Queijeiro Bolaños

*Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* (Willd.), por su parte, también ha sido descrita en detalle por Hawksworth y Wiens (1996) y Hawksworth *et al.* (2002), según se expone. Es un arbusto de color oscuro o negro, en ocasiones rojizo, de 20 a 30 cm de alto del tallo principal, tiene una ramificación densa, flabelada y erecta, el diámetro basal del tallo dominante va de 4 a 20 mm (Fig. 3). Presenta flores estaminadas, mayormente

trímeras, de 1.6 mm de largo y 1.1 mm de ancho. Por su parte, las flores pistiladas miden 2.5 mm de largo y 1.5 mm de ancho. Sus frutos miden de 4 a 6 mm de largo y de 2 a 3 mm de ancho, tienen una forma elíptica u oval. Su antesis se observa de marzo a abril y sus frutos alcanzan la madurez en agosto del año siguiente a la polinización, el periodo pre-reproductivo dura entre 16 y 17 meses. Infecta a 13 especies, las principales son: *Pinus montezumae* Lam., *P. hartwegii* Lindl., *P. herrerae* Martínez, *P. lawsonii* Roetzl ex Gordon, *P. rudis* Endl., *P. cooperi*, *P. arizonica* vars. *arizonica* Engelm. y *stormiae* Martínez, *P. durangensis* Ehren., *P. engelmannii* Carr., y *P. patula* Schl. & Cham. Tiene un rango de distribución altitudinal de 2100 a 3900 m.s.n.m. En México se distribuye en Chihuahua, Ciudad de México Coahuila, Durango, Hidalgo, Jalisco, México, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas; este muérdago es el de mayor distribución en nuestro país

Los hospederos y requerimientos ecológicos de *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* y *A. globosum* subsp. *grandicaule* son similares, por lo que frecuentemente son simpátridos e incluso llegan a coexistir en el mismo árbol (Hawksworth y Wiens, 1996).



Figura 3. *Arceuthobium vaginatum* subsp. *vaginatum* (Willd.) infestando el fuste de *Pinus hartwegii*. Foto: Andrea Navarrete Alfonso.

*Synanthedon cardinalis* Dampf. (Lepidoptera: Sesiidae), ha sido descrita en detalle por Beutelspacher (1983), Hernández (1983) y Cibrián *et al.* (1995), según se expone. Los adultos son palomillas muy típicas que tienen una longevidad de 6 a 7 días; presentan un dimorfismo sexual marcado, hembras y machos miden 32 y 27 mm de expansión alar, respectivamente, las hembras son las más robustas (Fig. 4A). En ambos sexos, antenas, cabeza tórax, patas y abdomen son de color negro brillante, excepto el pronoto, que presenta un collar de escamas rojizas; las alas son escamosas color naranja rojizo y presentan la venación de color negro. Los huevos son de forma ovalada de color blanco perla y miden 2.27 mm de largo por 2.11 mm de ancho. Las larvas son eruciformes, de color blanco perla y con sedas muy finas en el cuerpo; la cápsula cefálica es de color café claro y presentan diez pares de pseudopatas abdominales (Fig. 4B). Los hospedantes conocidos de este lepidóptero son *Pinus patula* Schl. & Cham, *P. radiata* D. Don, *P. hartwegii* Lindl., *P. leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham y *P. lawsonii* Roehl ex Gordon. Se ha encontrado en un rango altitudinal de 2200 a 3370 m s.n.m (Hernández y Equihua, 2000). En México se distribuye en Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Ciudad de México, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Morelos, Tlaxcala y Sonora (Hernández, 1983). Recientemente, en el trabajo de Hernández y Equihua (2000), se encontró a esta especie en el estado de Veracruz, por lo que se agregan a la lista de hospederos a las especies *Pinus devoniana* Lindl., *P. douglasiana* Martínez, *P. montezumae* Lam., *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. rudis* Endl. De acuerdo a la CONAFOR (2014), también se ha encontrado la incidencia de este insecto en pinos de las especies *P. teocote* Schl. & Cham. y *P. lumholtzii* Robins & Fern en el Área Natural Protegida Sierra Fría, en la porción de Aguascalientes.

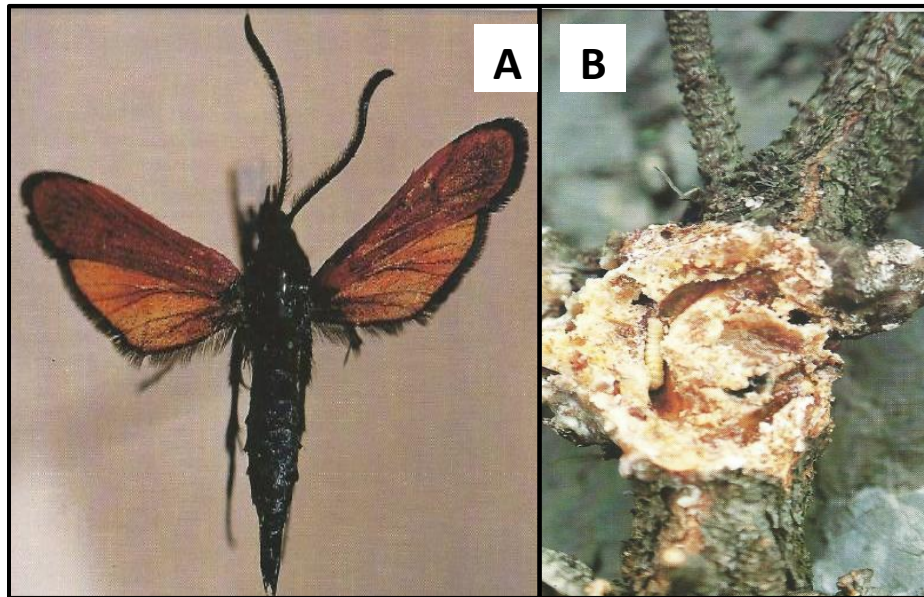


Figura 4. *Synanthedon cardinalis*. A. Adulto. B. Larva dentro de su túnel. Tomada de Cibrián *et al.* (1995).

### 2.1.3 Métodos

Se llevó a cabo un muestreo de marzo a junio de 2015, en el cual se seleccionaron de forma dirigida 10 parcelas de 100 x 100 m que mostraran evidencia de la presencia de *S. cardinalis*. En cada una de ellas, se trazaron al azar tres transectos de 60 x 10 m, en los cuales se registraron la altitud, la pendiente y la orientación, así como diversas mediciones para cada uno de los árboles dentro de los transectos, que presentaran un diámetro a la altura del pecho (DAP; a 1.30 m) mayor a 5 cm.

Para cada individuo arbóreo se registró el DAP, el diámetro más largo de la copa y el perpendicular a él, la altura total, la longitud de la copa (i.e., la distancia que va desde la primera ramificación hasta la punta del árbol), el grosor de la corteza, el nivel de infestación por muérdago (MDMR), el nivel de infestación por mariposa resinera (NIMR) y la debilidad.

Las alturas se tomaron con una pistola Haga, en tanto que el grosor de la corteza se obtuvo con un medidor de corteza marca Haglöf. El volumen de copa ( $V_c$ ) se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{\pi \cdot dc^2 \cdot hc}{12}$$

Donde  $dc$  = promedio de los diámetros de la copa, y  $hc$  = longitud de la copa, esta fórmula de volumen se basó en la que representa este parámetro para copas cónicas (Diéguez *et al.*, 2003).

El MDMR evalúa el nivel de infestación por muérdago en una escala de 0 a 18, para lo cual un árbol es dividido en tercios y en cada uno de ellos es medida la infestación de forma cualitativa con valores que van de 0 a 6 de acuerdo al porcentaje de ramas y de tronco infestados en el hospedero (ver Cuadro 1). Después, los valores obtenidos en cada tercio son sumados. Esta escala propuesta por Queijiro-Bolaños y Cano-Santana (2016) difiere de la propuesta por Hawksworth (1977) debido a que la primera está adaptada para su aplicación en pinos mexicanos y tiene la ventaja de poder ser utilizada en árboles pequeños y con ramificaciones irregulares, así como para árboles con copas bajas y fustes cortos; el MDMR considera la infestación en tronco, lo que es muy común en individuos de *P. hartwegii*, además de que distingue entre infecciones ligeras y severas, y no sobreestima las infecciones ligeras, lo cual ocurre en la de Hawksworth.

Además, se calculó el MDMR promedio de cada especie, a partir de la evaluación de todos los árboles, incluyendo infectados y no infectados (Hawksworth *et. al*, 2002). Utilizando el mismo proceso, se obtuvo la media del NIMR.

Cuadro 1. Categorías de infestación por muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) para cada tercio de un árbol hospedero (Nivel de infestación por muérdago; *MDMR*), según Queijeiro-Bolaños y Cano-Santana (2016). La suma de los *MDMR* de los tercios puede ir de 0 a 18.

<b>Categoría</b>	<b>Porcentaje de ramas y tronco infestados</b>
<b>0</b>	Sin infección
<b>1</b>	Un brote o hipertrofia
<b>2</b>	< 20%
<b>3</b>	21 - 30%
<b>4</b>	31 - 50%
<b>5</b>	51 - 70%
<b>6</b>	> 71%

Para evaluar el *NIMR*, el hospedero fue dividido en tercios y a cada uno de ellos se le asignó una categoría cualitativa de daño de entre 0 y 4 (Cuadro 2). La presencia y el nivel de daño de las larvas se reconoce fácilmente por la presencia de grumos de resina de color rosado sobre el fuste del árbol, los cuales pueden llegar a tener una extensión de entre 5 y 15 cm (Hernández, 1983; Cibrián *et al.*, 1995; CONAFOR, 2014; Fig. 5). Posteriormente, los niveles de daño en cada tercio fueron sumados, obteniendo una evaluación final por individuo que va de un rango de cero a 12. Esta escala es propuesta para este estudio con el fin de emular el sistema de clasificación de Hawksworth (1977).

Cuadro 2. Modo de asignación del nivel de infestación por mariposa resinera, *S. cardinalis* (*NIMR*) para cada tercio de un árbol hospedero. La suma de los *NIMR* de cada tercio puede ir de 0 a 12.

<b>Categoría</b>	<b>Porcentaje de evidencia del ataque en tronco</b>
<b>0</b>	Sin presencia o evidencia
<b>1</b>	<20%
<b>2</b>	21 - 50%
<b>3</b>	51 al 70%
<b>4</b>	>70%



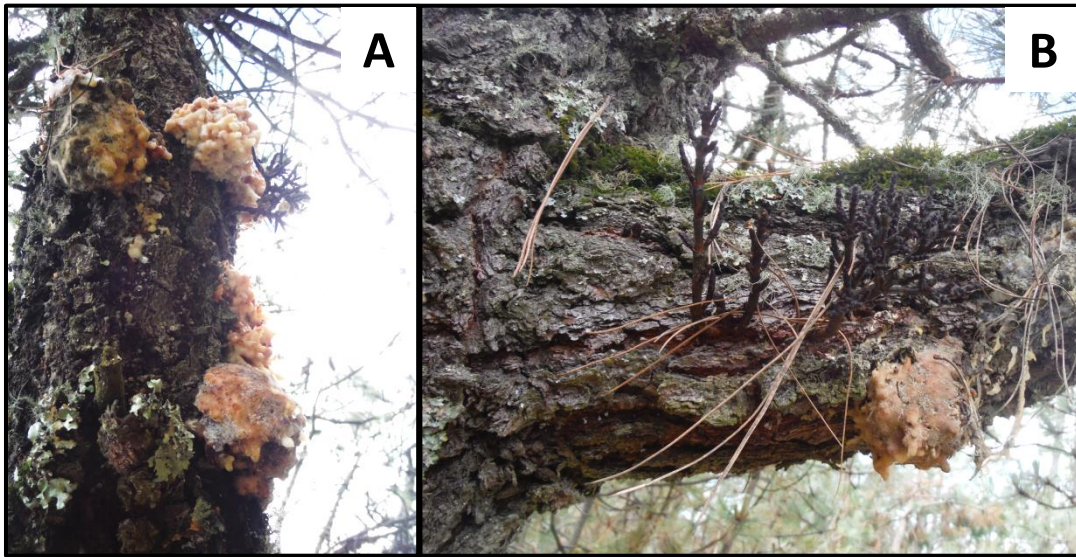


Figura 5. A. Grumos de resina por ataque de larvas de *S. cardinalis* en *P. hartwegii* a lo largo del fuste. B. Grumo de resina por ataque de larva de la mariposa resinera en una rama de *P. hartwegii*. Fotos: Andrea Navarrete Alfonzo.

Para evaluar la debilidad de los pinos se utilizó una categorización generada por Benavides (2015) para evaluar el arbolado de áreas verdes urbanas, la cual se modificó y se adaptó para su aplicación en los individuos de *Pinus hartwegii* del sitio de estudio. Se evalúa el aspecto físico del individuo, tomando en cuenta el porcentaje de follaje seco, la pérdida de acículas en ramas, la muerte de ramas primarias, secundarias o terciarias y el grado de inclinación del árbol (Cuadro 3); las categorías van de un rango de 1 a 5, en donde uno pertenece a la ausencia de debilidad, es decir, un nivel de vigor óptimo, y cinco pertenece a un nivel de alta debilidad, es decir vigor muy pobre.

Cuadro 3. Categorías de evaluación de debilidad de un árbol. Modificado de Benavides (2015).

Categoría	Descripción
1) Debilidad ausente	Desarrollo y color uniforme de acuerdo a la especie, con tronco y follaje en condiciones físicas óptimas.
2) Debilidad baja	Follaje seco en menos del 30% de la copa. Puntas muertas y ausencia moderada de acículas en ramas terciarias. Inclinación menor a 15°.
3) Debilidad media	Follaje seco entre un 31%-60% de la copa. Pérdida de acículas en ramas terciarias y acículas escasas en ramas secundarias. Ramas terciarias y puntas de las ramas secundarias muertas. Inclinación entre 16-30°.
4) Débil	Follaje seco entre un 61% a un 90% de la copa. Pérdida de las acículas en ramas secundarias y terciarias; acículas escasas en ramas primarias. Ramas terciarias, secundarias y puntas de ramas primarias muertas. Inclinación entre 31-50°.
5) Muy débil	Presencia de follaje entre un 5% a 10% de la copa. Brotes de yemas epicórmicas en la parte media y baja del tronco. Ramas terciarias, secundarias y primarias muertas. Inclinación mayor a 51°.

#### 2.1.4 Análisis de datos

Para conocer la relación entre la infestación por muérdago (sólo y en conjunto) y la infestación por *S. cardinalis*, se realizó una correlación de Spearman a nivel individuo entre MDMR y NIMR; además, para conocer la relación entre la debilidad de los árboles y la infestación por muérdago (sólo y en conjunto) y por *S. cardinalis*, se realizó una correlación de Spearman a nivel individuo entre el nivel de debilidad y MDMR, y NIMR (Zar, 2010).



Para conocer la posible asociación entre las especies, se calculó el índice de asociación ( $v$ ) entre los individuos con infestación de muérdago y *S. cardinalis*, el cual se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a + b)(c + d)(a + c)(b + d)}}$$

Donde  $a$ = individuos con muérdago y mariposa presentes,  $b$ = individuos con muérdago presente y mariposa ausente,  $c$ = individuos con muérdago ausente y mariposa presente, y  $d$ = individuos sin muérdago y sin mariposa. Se determinó si el índice de asociación difería significativamente de 0 con una prueba de  $\chi^2$  (Krebs, 1978).

Para conocer la relación entre la debilidad del arbolado, el MDMR de cada muérdago (solos y en conjunto) y el NIMR, se aplicó una prueba de  $\chi^2$  de independencia para cada parásito, para lo cual se calcularon las frecuencias esperadas con una tabla de contingencia tridimensional de 2 (presencia y ausencia de muérdago)  $\times$  2 (presencia y ausencia de *S. cardinalis*)  $\times$  5 (categorías de debilidad). Las diferencias entre frecuencias observadas y esperadas en cada casilla se evaluaron con una prueba de residuales de Pearson (Zar, 2010).

Para conocer los factores que influyen en el ataque de *S. cardinalis*, se realizó un modelo lineal generalizado (GLM; distribución de error tipo binomial negativa y función de ligamiento log) (Crawley, 2007A) del NIMR, en el cual se tomaron como factores el MDMR, el DAP, el volumen de la copa, el grosor de la corteza y las categorías de debilidad del árbol. Este análisis fue seleccionado debido a que la distribución binomial negativa es ideal para datos de conteo donde la varianza es mucho mayor a la media y tiene un sesgo fuertemente a la derecha, por lo que es utilizada para datos con muchos ceros (Crawley, 2007B) así que se ajusta a los datos del estudio.

Debido a la baja presencia de *A. globosum* y de pinos con las dos especies de muérdago en coexistencia, no se tuvieron suficientes datos para realizar los GLM de estas variables, por lo que se realizaron únicamente con el MDMR de la especie *A. vaginatum*.

Adicionalmente, se realizó un GLM del mismo tipo tomando en cuenta el MDMR de todos los muérdagos, sin hacer distinciones entre especies solas o en conjunto. Previamente se construyó una matriz de correlación de Spearman, para cada uno de los GLM, con el fin de identificar colinealidad entre los factores antes mencionados; se probaron, uno por uno, los modelos que no tuvieran variables correlacionadas entre sí

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Descripción del sitio y de las infestaciones por los parásitos

Las diez parcelas revisadas presentaron condiciones muy diversas de altitud, pendiente y orientación (Cuadro 4). Estas se encontraron en altitudes que van desde los 3271 a los 3419 m s.n.m y la pendiente varió entre 1 y 32°; del mismo modo, la orientación también fue muy variable. En todas las parcelas se encontraron presentes las especies *A. vaginatum* y *S. cardinalis*; sin embargo, solo en tres parcelas se observó la presencia de *A. globosum* y, por lo tanto, en estas mismas se encontraron ambas especies de muérdago enano en coexistencia dentro de un mismo árbol.

Se registraron un total de 1009 árboles de *Pinus hartwegii*, de los cuales, el 38.2% presentaron infestación por *A. vaginatum*, el 8.8% por *A. globosum* y el 17% por *S. cardinalis*. El 13.9% del total de árboles presentó infestación conjunta por *S. cardinalis* y por al menos una especie de muérdago (Cuadro 4).

Se observó que el porcentaje de árboles infestados por *A. globosum* por parcela varió de 0 a 31.1%, en tanto que para *A. vaginatum* varió entre de 12.2 y 62.5%, y por *S. cardinalis* de 11.1 a 32.1%. El porcentaje de árboles infestados por ambos muérdagos en coexistencia varió entre 0 y 26.7% entre parcelas, mientras que por *S. cardinalis* y alguna de las especies de muérdago fue de 0 a 26.8% (Cuadro 4).

Para el caso del muérdago, se observó que las categorías de infestación 2 y 4 son las más comunes (Fig. 6), con un MDMR promedio de 0.371 para *A. globosum* y 1.9 para *A. vaginatum*, mientras que, para ambos muérdagos en coexistencia la categoría más común fue 5 (Fig. 6), con un MDMR promedio de 0.391. Por otro lado, las categorías de infestación 1 y 2 fueron las más comunes para *S. cardinalis* (Fig. 7) con un NIMR promedio de 0.415.

Cuadro 4. Descripción de las parcelas y porcentajes de árboles infestados (AG: *A. globosum*, AV: *A. vaginatum*, SC: *S. cardinalis*). Se muestra la orientación de cada uno de los transectos por parcela.

Parcela	Altitud (m)	Pendiente (°)	Orientación (°)			Total de árboles	% árboles con AG	% árboles con AV	% árboles con ambos muérdagos	% árboles con SC	% árboles con AG y SC	% árboles con AV y SC	% árboles con ambos muérdagos y SC
			T1	T2	T3								
1	3383	2	200	200	200	198	16.67	23.23	7.07	11.11	2.53	5.56	2.02
2	3339	2-9	143	196	120	127	0	48.03	0	27.56	0	21.26	0
3	3337	3-32	160	83	23	80	0	62.50	0	21.25	0	12.50	0
4	3333	4-14	328	328	328	107	0	49.53	0	12.15	0	11.21	0
5	3301	6-10	106	87	82	65	0	44.62	0	13.85	0	12.31	0
6	3419	1	-	-	-	90	31.11	12.22	26.67	21.11	7.78	2.22	11.11
7	3303	12-15	40	30	51	56	0	58.93	0	32.14	0	26.79	0
8	3271	3-5	13	151	151	98	28.57	27.55	16.33	12.24	5.10	5.10	2.04
9	3323	1-15	111	111	70	98	0	42.86	0	11.22	0	9.18	0
10	3319	4	11	11	11	90	0	36.67	0	16.67	0	8.89	0
TOTAL						1009	8.82	38.16	5.35	16.95	1.68	10.60	1.59

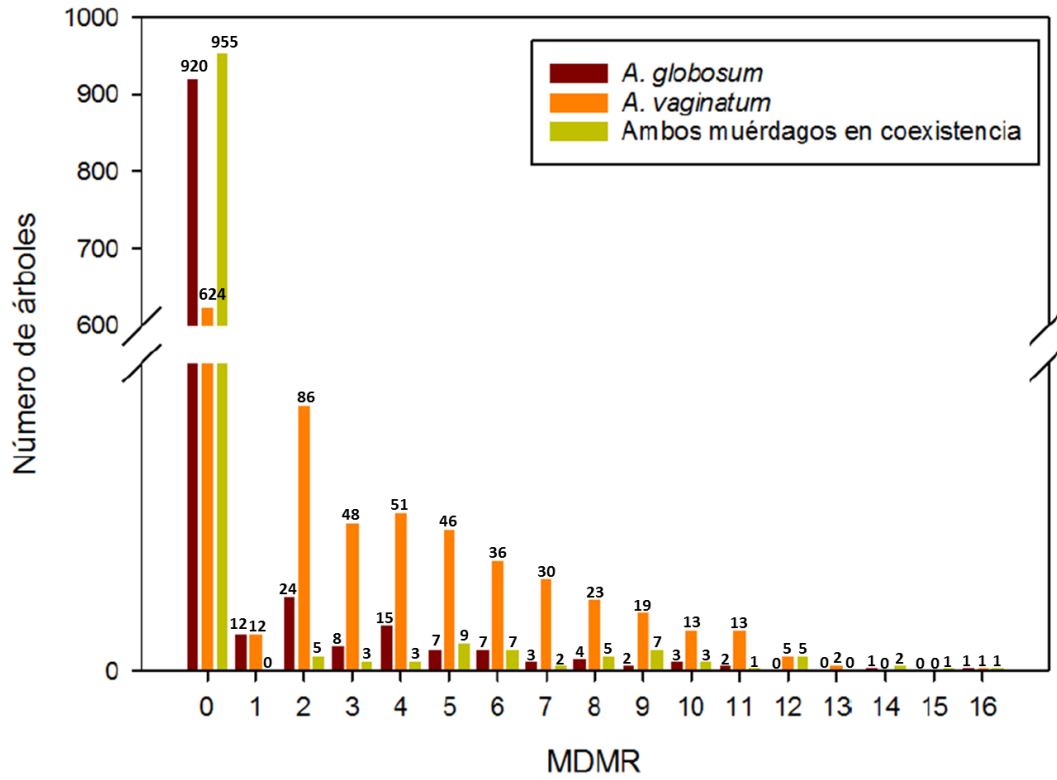


Figura 6. Frecuencia de *P. hartwegii* infestados por categoría de MDMR por especie de muérdago.

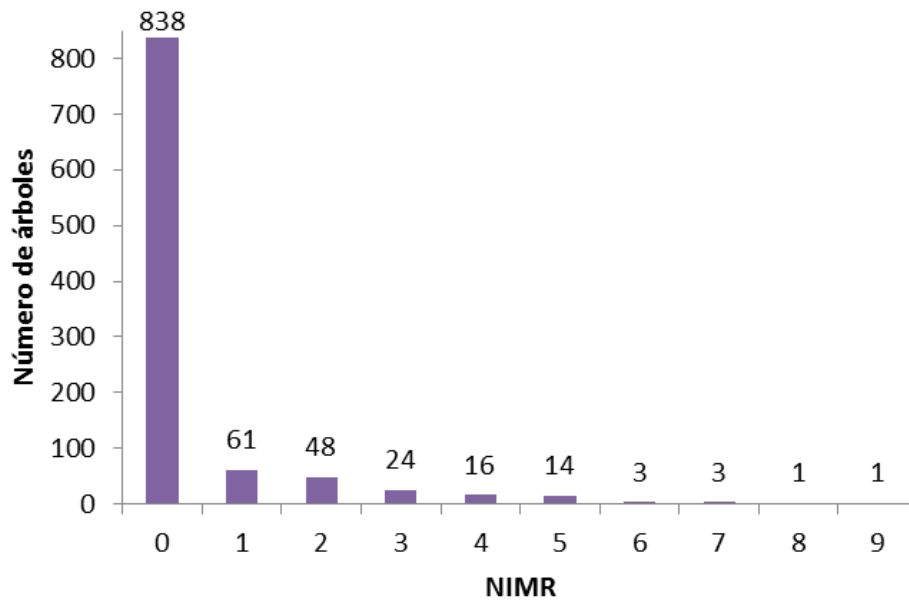


Figura 7. Frecuencia de *P. hartwegii* infestados por nivel de NIMR.

Los individuos de *P. hartwegii* presentaron características dendrométricas diversas entre parcelas (Ver Anexo I). El promedio de altura de los pinos por parcela varió de 6.72 a 17.23 m, el promedio del DAP por parcela fue de 2.26 a 27.66 cm, el promedio del volumen de la copa fue de 27.55 a 100.04 m<sup>3</sup> por parcela, y el grosor de la corteza promedio fue de 1.3 a 2.6 cm.

### 3.2 Relación entre el muérdago enano y la mariposa resinera

A nivel de árbol individual hubo una correlación significativa y positiva entre el NIMR con el MDMR de *A. vaginatum* ( $r_s=0.291$ ,  $P<0.0001$ ; Fig. 8) y con el MDMR de ambos muérdagos coexistiendo ( $r_s=0.092$ ,  $P=0.018$ ; Fig. 9), pero no con el MDMR de *A. globosum* solo ( $r_s=0.022$ ,  $P>0.05$ ).

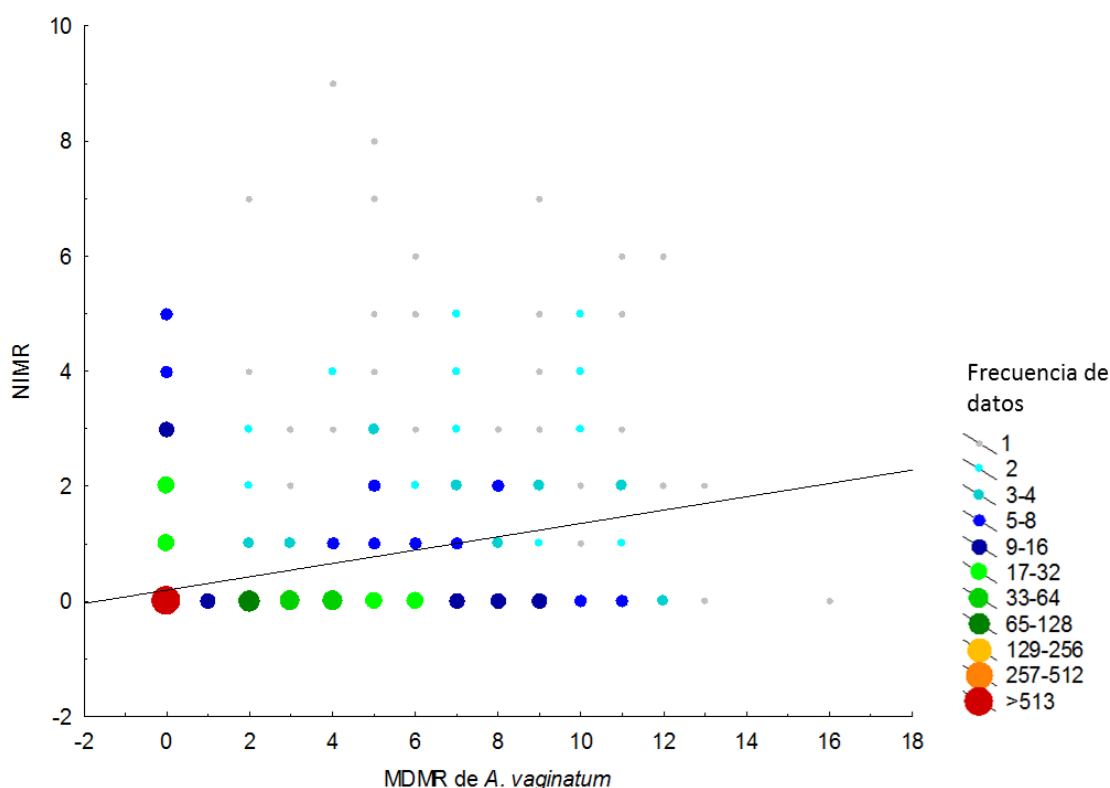


Figura 8. Relación entre el NIMR y el MDMR de *A. vaginatum* en individuos de *P. hartwegii* ( $r_s=0.291$ , g.l.=1008,  $P<0.0001$ ,  $N= 1009$ ). El número mayor de cada rango de frecuencia denota el valor de  $2^x$ , donde x va de 0 a 9.

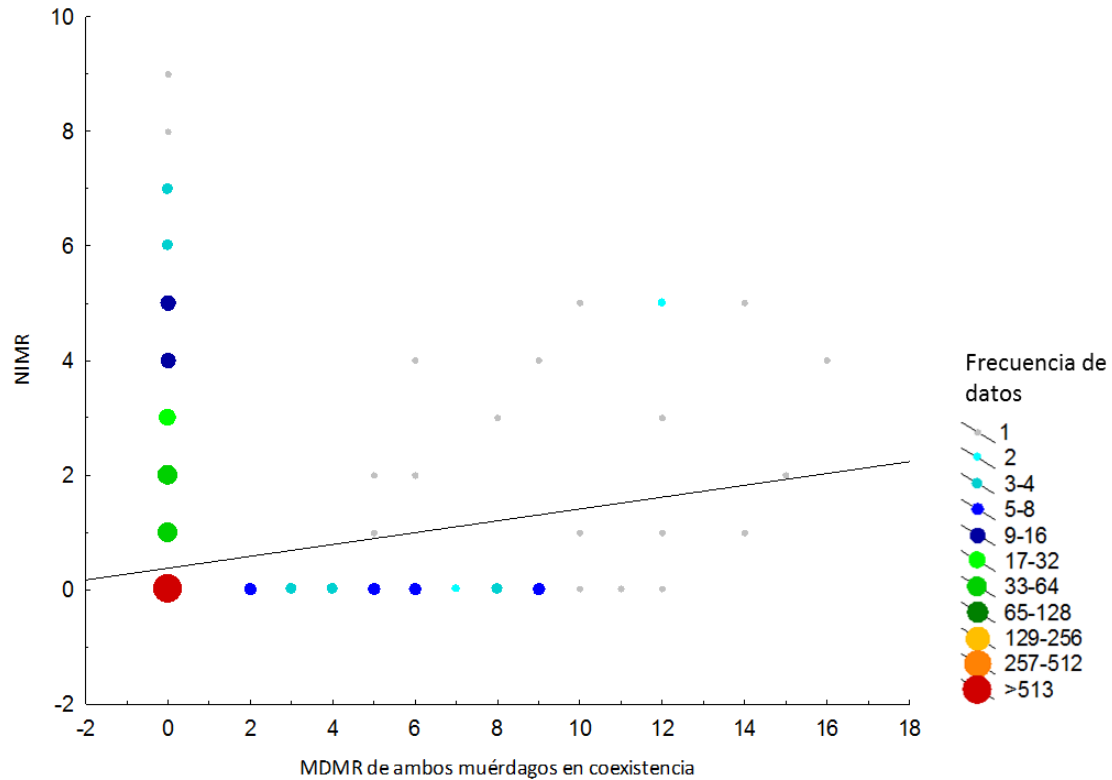


Figura 9. Relación entre el NIMR y el MDMR de ambos muérdagos (*A. globosum* y *A. vaginatum*) en coexistencia en individuos de *P. hartwegii* ( $r_s=0.092$ , g.l.=1008,  $P=0.018$ ,  $N= 1009$ ). El número mayor de cada rango de frecuencia denota el valor de  $2^x$ , donde x va de 0 a 9.

El índice de asociación ( $v$ ) entre el NIMR y el MDMR de *A. globosum* no fue significativo ( $v= 0.018$ ,  $\chi^2= 0.322$ ,  $P>0.05$ ). En contraste, hubo una asociación significativa y positiva entre NIMR y MDMR de *A. vaginatum* ( $v= 0.227$ ,  $\chi^2=52.017$ ,  $P<0.0001$ ) y con MDMR de ambos muérdagos coexistiendo ( $v= 0.080$ ,  $\chi^2= 6.519$ ,  $P=0.011$ ).

### 3.3 Relación de los parásitos y la debilidad del árbol

Con respecto a la debilidad de los árboles, se observó que la categoría más dominante fue la debilidad baja (37.5%), seguido de la debilidad ausente (26%) y media (25.7%). Los árboles infestados por *A. globosum*, *A. vaginatum* y por ambos muérdagos se encontraron

contenidos en su mayoría en la categoría debilidad baja; en tanto que para los infestados por *S. cardinalis* la mayoría se encontraron en la categoría debilidad media, al igual que para los infestados por *S. cardinalis* y por algún muérdago (sólo y en conjunto) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Porcentaje de árboles infectados por los tres parásitos por categoría de debilidad.

	Debilidad ausente	Debilidad baja	Debilidad media	Débil	Muy débil
<i>A. globosum</i>	1.88	3.57	2.28	0.89	0.20
<i>A. vaginatum</i>	9.61	14.07	11.10	2.97	0.40
<i>S. cardinalis</i>	2.58	5.95	6.24	1.78	0.40
Coexistencia de muérdagos	0.69	2.38	1.59	0.59	0.10
<i>S. cardinalis</i> con algún muérdago	1.98	4.96	5.35	1.29	0.30
TOTAL	25.97	37.46	25.67	9.22	1.68

A nivel de árbol individual hubo una correlación significativa y positiva entre la debilidad del árbol y el NIMR ( $r_s=0.139$ ,  $P<0.0001$ ; Fig. 10), pero no con el MDMR de ninguno de los muérdagos solos ni en coexistencia (Debilidad vs MDMR de *A. globosum*:  $r_s=0.025$ ,  $P>0.05$ ; debilidad vs MDMR de *A. vaginatum*:  $r_s=0.023$ ,  $P>0.05$ ; debilidad vs MDMR de muérdagos coexistiendo:  $r_s= 0.056$ ,  $P>0.05$ ).



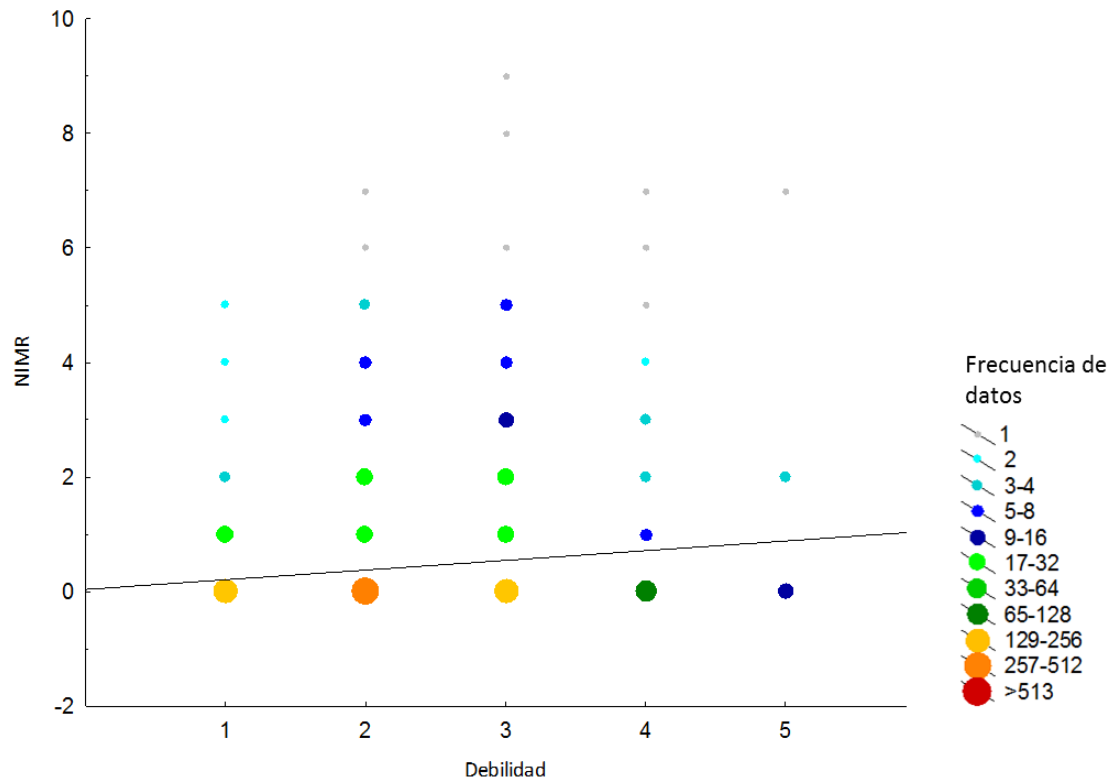


Figura 10. Relación entre el NIMR y la debilidad de individuos de *P. hartwegii* ( $r_s=0.139$ , g.l.=1008,  $P<0.0001$ ,  $N= 1009$ ). El número mayor de cada rango de frecuencia denota el valor de  $2^x$ , donde  $x$  va de 0 a 9.

Los resultados de la tabla de contingencia muestran que existe una asociación significativa entre la debilidad del árbol, la presencia del muérdago *A. globosum* y la presencia de *S. cardinalis* ( $\chi^2=33.86$ , g.l.=13,  $P=0.0013$ ; Fig. 11). Hay significativamente menor frecuencia observada que la esperada de árboles con debilidad ausente, con esta especie de muérdago ausente y la presencia de la mariposa resinera (Fig. 11A); por el contrario, hay una mayor frecuencia observada que la esperada de árboles con debilidad baja con la presencia de este muérdago y la presencia de la mariposa (Fig. 11B), así como una mayor frecuencia observada que la esperada de árboles con debilidad media sin la presencia de este muérdago y con la mariposa presente (Fig. 11C).

Las tablas de contingencia también muestran que existe una asociación significativa entre la debilidad del árbol, la presencia del muérdago *A. vaginatum* y la presencia de *S. cardinalis* ( $\chi^2=87.69$ , g.l.=13,  $P<0.0001$ ; Fig. 12). Hay una mayor frecuencia observada que esperada para los árboles con debilidad ausente, sin la presencia de éste muérdago y sin la mariposa resinera; mientras que, hay una frecuencia observada menor que la esperada de árboles con debilidad ausente, sin este muérdago, pero con la mariposa presente (Fig. 12A). Además, se observó que hay una frecuencia observada menor a la esperada de pinos con debilidad baja, con ausencia del muérdago y con la mariposa presente (Fig. 12B). También se encontró que hay mayor frecuencia observada que esperada para árboles con debilidad media y muy débiles que presentan este muérdago, así como a la mariposa resinera (Fig. 12C y 12E).

De acuerdo con la tabla de contingencia de la debilidad del árbol, la presencia de ambos muérdagos en coexistencia y la presencia de *S. cardinalis*, existe una asociación significativa entre las tres variables ( $\chi^2=37.7$ , g.l.=13,  $P=0.0003$ ; Fig. 13). Se observó que hay una menor frecuencia observada que esperada de árboles con debilidad ausente, con estos muérdagos ausentes y la presencia de la mariposa resinera (Fig. 13A); en tanto que, hay una frecuencia observada mayor que la esperada en pinos con debilidad media, con la presencia de los muérdagos en coexistencia y con la presencia de la mariposa, así como para aquellos en las mismas condiciones pero que no presentaron a los muérdagos (Fig. 13C).

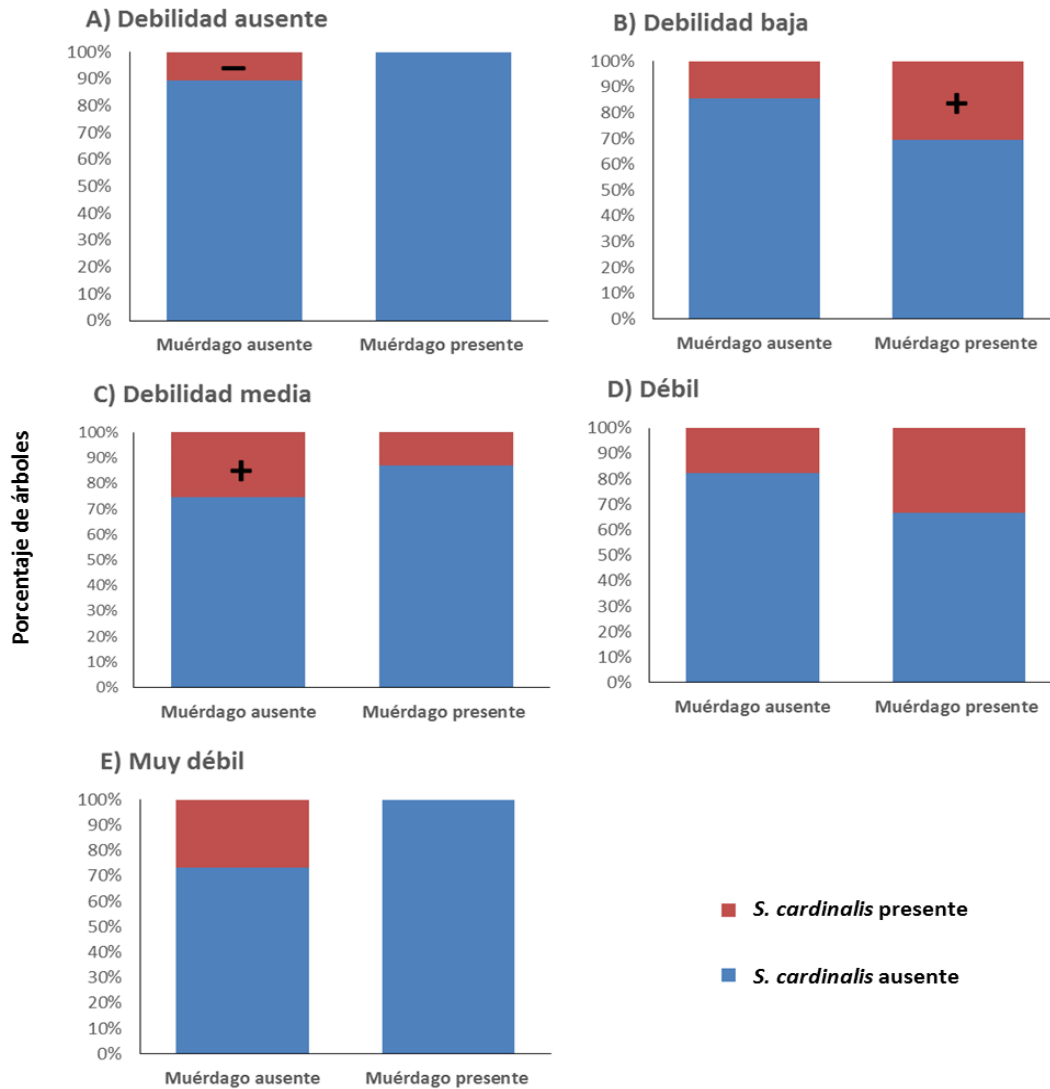


Figura 11. Infestación por *S. cardinalis* y *A. globosum*, por categoría de debilidad en individuos de *P. hartwegii*. El signo + indica frecuencia significativamente mayor a la esperada, mientras que el signo – indica frecuencia significativamente menor a la esperada con  $P < 0.05$ .

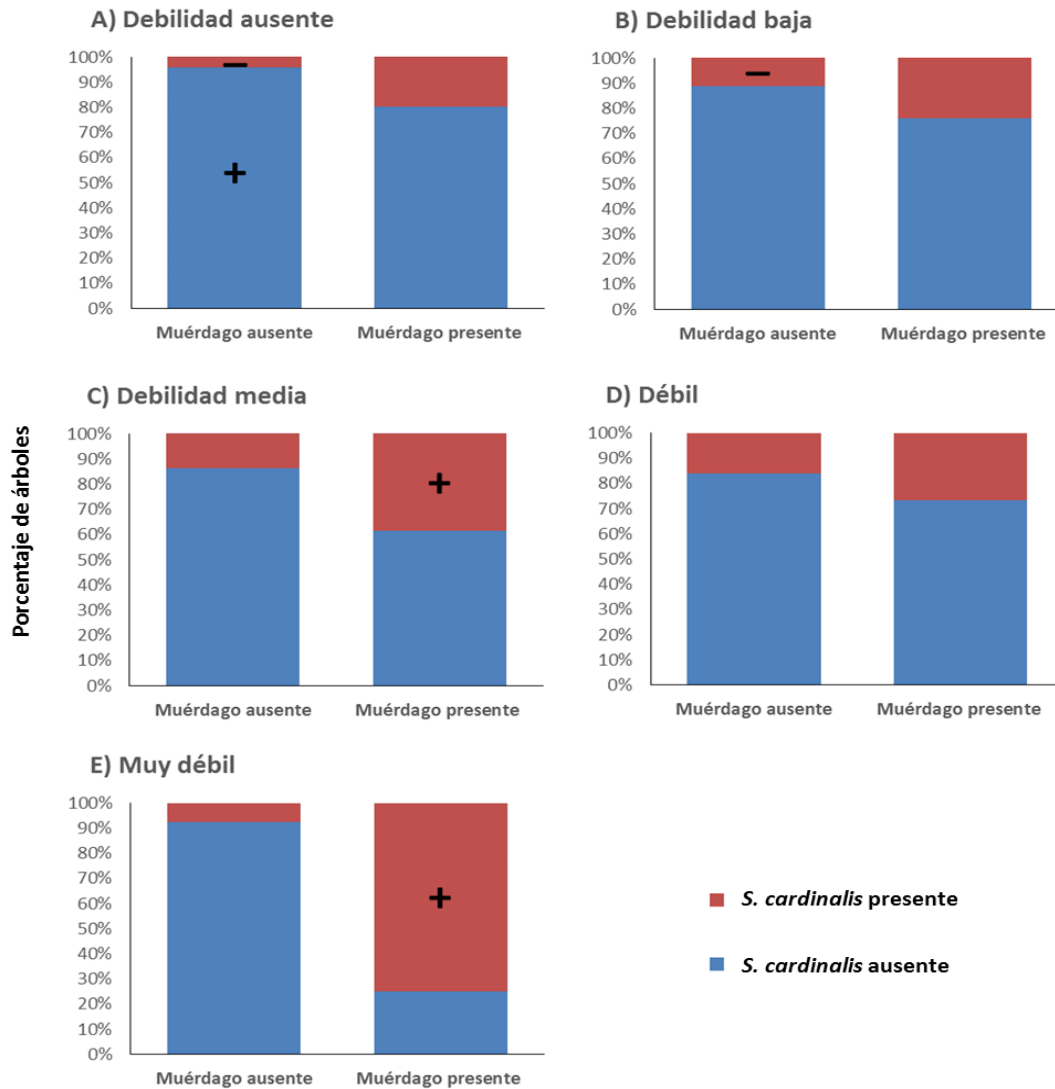


Figura 12. Infestación por *S. cardinalis* y *A. vaginatum*, por categoría de debilidad en individuos de *P. hartwegii*. El signo + indica frecuencia significativamente mayor a la esperada, mientras que el signo – indica frecuencia significativamente menor a la esperada con  $P < 0.05$ .

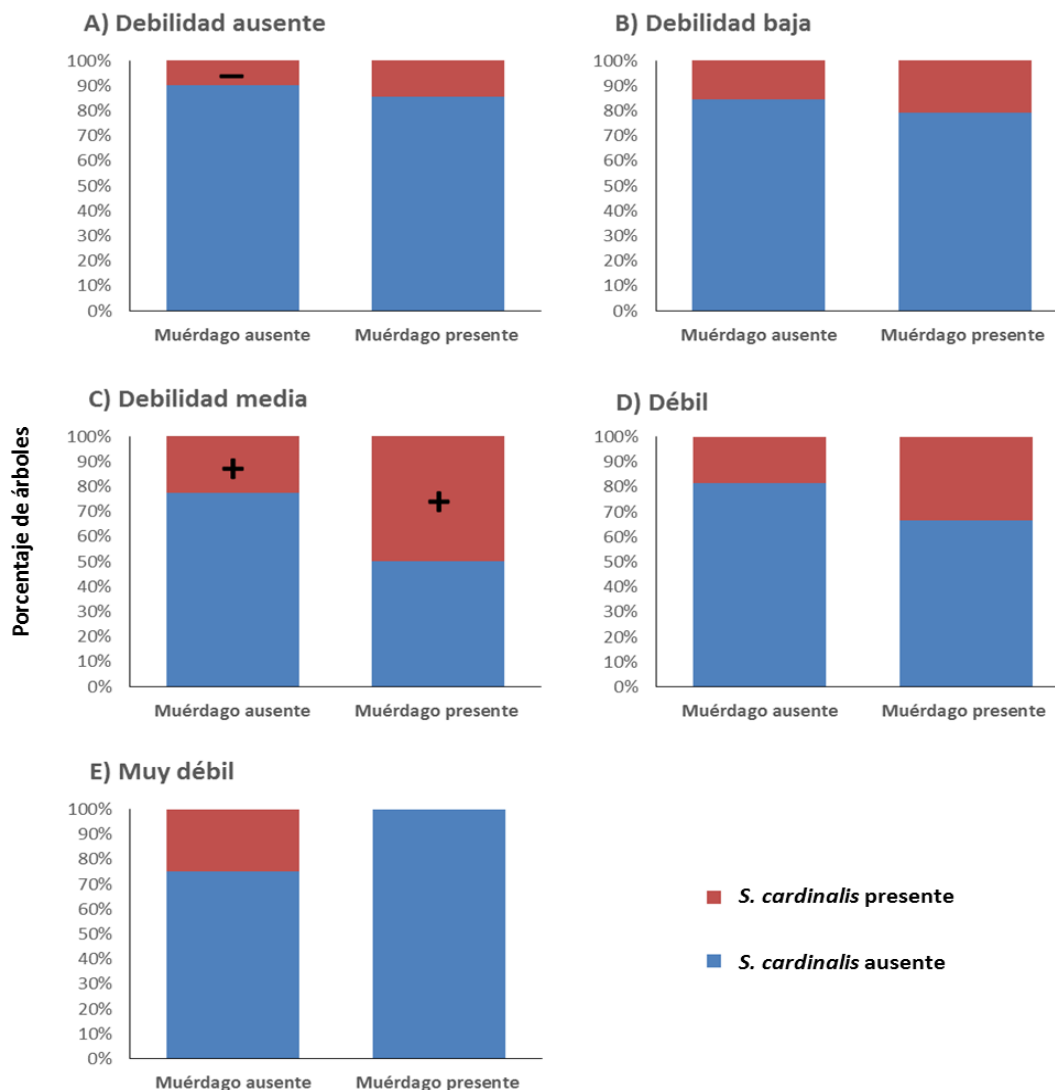


Figura 13. Infestación por *S. cardinalis* y ambos muérdagos (*A. globosum* y *A. vaginatum*) en coexistencia, por categoría de debilidad en individuos de *P. hartwegii*. El signo + indica frecuencia significativamente mayor a la esperada, mientras que el signo – indica frecuencia significativamente menor a la esperada con  $P < 0.05$ .

### 3.4 Variables relacionadas con el ataque de la mariposa resinera

La correlación de Spearman con los datos de *A. vaginatum* mostró que la mayoría de las variables se encontraban correlacionadas entre sí significativamente (Cuadro 6), por lo que se probaron cinco modelos (Cuadro 7). Los modelos muestran que todos los factores

(debilidad, MDMR de *A. vaginatum*, DAP, altura del árbol, volumen y grosor de la corteza) tienen un efecto significativo en el ataque por *S. cardinalis*; sin embargo, el diámetro del árbol es el que mejor predice el ataque por el insecto (AIC=1279.3; Cuadro 7):

$$\text{NIMR} = -3.51 + 0.088 (\text{DAP})$$

Cuadro 6. Matriz de correlación de Spearman entre las variables explicativas: Debilidad, MDMR de *A. vaginatum*, DAP, Altura del árbol, Volumen, Grosor de la corteza. \*P<0.05

	DAP (cm)	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Grosor de la corteza (cm)	Debilidad
MDMR de <i>A. vaginatum</i>	0.375*	0.336*	0.336*	0.324*	0.023
DAP (cm)		0.930*	0.937*	0.883*	0.066*
Altura (m)			0.941*	0.825*	0.083*
Volumen (m <sup>3</sup> )				0.838*	-0.014
Grosor de la corteza (cm)					0.051

Cuadro 7. Modelo lineal generalizado (tipo de error =binomial negativo, función de ligamento = log) del efecto de distintos predictores sobre el NIMR. Ver Anexo II para los estimados de los parámetros.

Modelo	AIC
$\beta_0 + \beta_1(A. \text{vaginatum}) + \beta_2(\text{Debilidad})$	1430.3
$\beta_0 + \beta_1(\text{DAP})$	<b>1279.3</b>
$\beta_0 + \beta_1(\text{Altura})$	1288.3
$\beta_0 + \beta_1(\text{Debilidad}) + \beta_2(\text{Volumen})$	1368.9
$\beta_0 + \beta_1(\text{Debilidad}) + \beta_2(\text{Grosor de la corteza})$	1351.6

La correlación de Spearman con los datos de MDMR de todos los muérdagos juntos mostró que la mayoría de las variables se encontraban correlacionadas significativamente (Cuadro 8), por lo que se probaron nuevamente cinco modelos (Cuadro 9). Estos modelos muestran que todos los factores (MDMR, DAP, altura del árbol, volumen, grosor de la corteza y debilidad) tienen un efecto significativo en el ataque por *S. cardinalis*; sin embargo, al igual que para *A. vaginatum*, el diámetro del árbol es el que mejor predice el ataque por el insecto (AIC=1279.3; Cuadro 9):

$$\text{NIMR: } -3.51 + 0.088 (\text{DAP})$$

Cuadro 8. Matriz de correlación de Spearman entre las variables explicativas: Debilidad, MDMR de todos los muérdagos, DAP, Altura del árbol, Volumen, Grosor de la corteza.

\*P<0.05

	DAP (cm)	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Grosor de la corteza (cm)	Debilidad
MDMR	0.438*	0.404*	0.417*	0.416*	0.069*
DAP (cm)		0.930*	0.937*	0.883*	0.066*
Altura (m)			0.941*	0.825*	0.083*
Volumen (m <sup>3</sup> )				0.838*	-0.014
Grosor de la corteza (cm)					0.051

Cuadro 9. Modelo lineal generalizado (tipo de error =binomial negativo función de ligamento = log) del efecto de distintos predictores sobre el NIMR. Ver Anexo III para los estimados de los parámetros.

Modelo	AIC
$\beta_0 + \beta_1(\text{MDMR})$	1401.5
$\beta_0 + \beta_1(\text{DAP})$	<b>1279.3</b>
$\beta_0 + \beta_1(\text{Altura})$	1288.3
$\beta_0 + \beta_1(\text{Debilidad}) + \beta_2(\text{Volumen})$	1368.9
$\beta_0 + \beta_1(\text{Debilidad}) + \beta_2(\text{Grosor de la corteza})$	1351.6



## IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Relación entre el muérdago enano y la mariposa resinera

*Synanthedon cardinalis* muestra una asociación positiva con el muérdago enano presente en la región de Zoquiapan, principalmente con *A. vaginatum*, especie con la que coexistió con mayor frecuencia sobre los individuos de *P. hartwegii*. Esto puede deberse a que esta especie de muérdago es la que tiene una mayor extensión en la región, ya que se encontró en las 10 parcelas, mientras que *A. globosum* únicamente se encontró en tres de ellas.

Lo anterior concuerda con el trabajo de Queijeiro-Bolaños *et al.* (2014), quienes mencionan que hay una clara dominancia de *A. vaginatum* en Zoquiapan. De acuerdo con Queijeiro-Bolaños *et al.* (2011), el muérdago enano *A. vaginatum* se distribuye a una menor altura sobre los pinos que *A. globosum*, hecho que sugiere que la eficiencia de obtención de recursos nutricionales del hospedero sea diferencial; ellos mencionan que posiblemente *A. vaginatum* tiene acceso de manera más directa a las reservas del hospedero cercanas a la raíz, característica que puede estar favoreciendo su colonización en la región y, por lo tanto, facilitando el ataque de la mariposa resinera. Además, *A. vaginatum* y la mariposa resinera se asocian con más frecuencia en árboles que presentan debilidad media y muy débil, estas dos categorías muestran que existe una facilitación entre estas dos especies (Fig. 12), pues en el resto de ellas el efecto que hubo fue neutro; sin embargo, no es posible saber si la debilidad del pino está atrayendo a ambas especies o si estas dos especies están provocando su debilidad.

La asociación entre el muérdago *A. globosum* y la mariposa resinera no es tan frecuente como con *A. vaginatum*, sin embargo, dependiendo de la debilidad del árbol, la asociación entre ellos puede llegar a ser positiva o negativa. Cuando la debilidad del árbol es baja, existe una asociación positiva; es decir que la presencia de *A. globosum* favorece la presencia de la mariposa, pero si la debilidad es media, existe una asociación negativa entre ambos parásitos, lo cual podría estar indicando que existe una competencia entre ambos. Esta especie de muérdago ha mostrado competencia por los recursos con *A.*

*vaginatum* en la zona (Queijeiro-Bolaños, *et al.* 2011), principalmente en los hospederos de mayor tamaño, pues en los árboles pequeños, *A. vaginatum* es facilitado por *A. globosum* (Queijeiro-Bolaños, 2015); en este caso puede ocurrir de manera similar una facilitación de la mariposa resinera por *A. globosum* en árboles de baja debilidad y que a mayor debilidad se muestre esta competencia por el recurso al ser el factor limitante de ambos.

Se encontró una asociación positiva entre los muérdagos en coexistencia y la mariposa resinera, pero como en los casos anteriores, varía conforme a la debilidad del árbol. Cuando el árbol tiene debilidad ausente no existe asociación, pero cuando la debilidad es media, hay mayor frecuencia de ataques de la mariposa este o no presente el muérdago, por lo que la debilidad puede estar jugando un papel importante para el ataque de ambas especies, aunque en este estudio no es posible conocer si la debilidad del árbol está atrayendo a la mariposa o si ella es quien contribuye a su debilitamiento, por lo que se necesitan estudios posteriores que hagan el seguimiento a ambas especies en el hospedero para que se pueda esclarecer esta causalidad.

No hay estudios que hablen sobre la posible asociación del muérdago enano con los lepidópteros descortezadores; sin embargo, existen diversos estudios que mencionan la asociación entre los muérdagos y los insectos descortezadores, principalmente para los géneros *Dendroctonus* spp. e *Ips* spp., donde los descortezadores y el muérdago co-ocurren con gran frecuencia (Agne *et al.*, 20014) Además, se ha observado que la mortalidad causada por estos insectos es mayor en hospederos infectados por muérdago enano, que en aquellos que presentan significativamente un menor grado de infestación (McCambridge *et al.*, 1982; Rasmussen, 1987; Kenaley *et al.*, 2006). Por otro lado, Wagner y Mathiasen (1985) encontraron que la mayor mortalidad del pino ponderosa por el lepidóptero defoliador *Coloradia pandora pandora* Blake (Lepidoptera: Saturniidae) ocurría en árboles severamente infectados por el muérdago enano *A. vaginatum* subsp. *cryptopodum*. Los estudios anteriores revelan que los descortezadores atacan con mayor frecuencia aquellos árboles que presenten infestaciones altas de muérdago, los autores mencionan que esto se debe a que el muérdago facilita los ataques de los insectos,

posiblemente porque provoca que el hospedero tenga mayor debilidad. Los datos de este estudio muestran que la mayor parte de los muérdagos se encontraron en categorías de infestaciones ligeras, sin embargo, se encontró la asociación de la mariposa con las plantas parásitas, por lo que lo mencionado por los autores podría coincidir con este estudio, aunque el tipo de asociación varió con respecto a la debilidad del hospedero.

#### **4.2 Relación de los parásitos y la debilidad del árbol**

Contrario a lo esperado, las dos especies de muérdago enano no mostraron ninguna asociación con el nivel de la debilidad del árbol (Fig. 10); sin embargo, la mariposa resinera si se asoció positivamente a la debilidad, es decir, que, a mayor debilidad del hospedero, se encuentra mayor frecuencia de ataques por el insecto.

Se encontró que aquellos árboles que tienen debilidad ausente (es decir, que presentan un vigor óptimo) y que no presentan muérdago tienen un número menor de ataques por la mariposa de los esperados. Esto coincide con los estudios de Raffa *et al.* (2008) y con Kulakowski y Jarvis (2013), quienes argumentan que los árboles vigorosos son menos susceptibles al ataque por los escarabajos descortezadores, ya que tienen una mayor capacidad de defensa, por lo que los hospederos necesitan haber sufrido de algún disturbio o un ataque previo que los debilite. Los resultados también coinciden con lo discutido por Lieutier (2004), quien argumenta que el vigor de las coníferas esta positivamente correlacionado con la densidad de ataque de los descortezadores, al expresar el vigor como dominancia o índice de productividad, de modo que aquellos árboles que presentan un índice de productividad bajo o una baja eficiencia de crecimiento son más susceptibles a los ataques por insectos que los árboles altamente vigorosos. En el presente estudio, los resultados señalan que los ataques de *S. cardinalis* se encuentran con mayor frecuencia en árboles con debilidad baja, media y muy débil, por lo que, con respecto a los estudios antes citados, se podría pensar que los pinos en estas condiciones son individuos óptimos que permitirán el desarrollo de las larvas de la mariposa.

Se sabe que el muérdago enano provoca ciertas limitaciones fisiológicas y una disminución en el vigor del árbol, por lo que este último declinará conforme los nutrientes están siendo apropiados progresivamente por el muérdago en las ramas infectadas (Hawskworth y Wiens, 1996; Kenaley *et al.*, 2006). Este debilitamiento, se expresa en una reducción en el crecimiento del diámetro, principalmente en infecciones severas, y la altura, donde la reducción es ligeramente mayor y detectable de manera temprana; así como en la reducción de producción de conos y semillas, y una disminución en la longevidad (Hawskworth y Wiens, 1996; Kenaley *et al.*, 2006). Dado lo anterior, se podría considerar la posibilidad de que el muérdago enano (como primer agresor) debilita al árbol fisiológica y físicamente, que provocaría la disminución de su resistencia natural (Lieutier, 2004) al no tener los recursos necesarios para iniciar su mecanismo de defensa, lo que facilitaría la infección por otras enfermedades o plagas que, en conjunto, aumentan la debilidad del árbol y que pueden llegar a causar su muerte (Knutson y Tinnin, 1980). Sin embargo, de acuerdo con Queijeiro-Bolaños y Cano-Santana (2016), *A. globosum* y *A. vaginatum* no causan ningún efecto significativo en la tasa relativa de crecimiento de *P. hartwegii*; ellos mencionan que estas especies y su combinación no son dañinas para su hospedero, sino que el crecimiento del hospedero es afectado únicamente por la edad del mismo; lo anterior coincide con este estudio, ya que no se encontró relación entre los muérdagos y la debilidad. Es por esto que, además de la planta parásita, pueden estar interactuando otros factores bióticos y abióticos en el debilitamiento del arbolado, lo cual favorece el ataque de la mariposa resinera, tales como el flujo de resina, la calidad del sitio, el clima, la disponibilidad de agua, la estructura del dosel y los disturbios.

#### **4.3 Variables relacionadas con el ataque de la mariposa resinera**

En este estudio se encontró que el DAP es el factor dendrométrico determinante que predice los niveles de infestación por la mariposa resinera, pues mientras mayor DAP tenga un árbol habrá un mayor NIMR, lo cual coincide con estudios anteriores.

Roe y Amman (1970), mencionan que los insectos descortezadores atacan primero a los árboles de gran diámetro, ya que usualmente presentan un floema grueso y son una mejor fuente de alimento para ellos; además, al afectar y causar mayor mortalidad a los árboles menos débiles del rodal, alteran su estructura al permanecer árboles de cohortes intermedias y suprimidas con algunos dominantes y codominantes de crecimiento lento (Agne *et al.*, 2014). Cole y Amman (1969) encontraron que los ataques por el descortezador *Dendroctonus ponderosae* Hopk. están fuertemente relacionados con los árboles de gran diámetro; en su estudio, el 87.5% de los árboles de DAP mayores a los 45cm se encontraron muertos por el ataque de este insecto. Además, mencionan que el número de orificios por donde emergen los insectos adultos que han completado su desarrollo en el hospedero, usualmente es mayor en árboles de gran diámetro, es decir que hay una mayor producción de descortezadores, lo que indica que el insecto esta aparentemente limitado por el alimento, por lo que su capacidad de búsqueda puede ser un factor limitante para el crecimiento de su población. En el presente estudio, el promedio de DAP de *P. hartwegii* fue de 20 cm, sin embargo, se obtuvieron mediciones de hasta 85 cm, por lo que podría considerarse que la preferencia de la mariposa por árboles de gran diámetro se debe principalmente a que representan un mejor recurso. Aunque no se contabilizaron los orificios de emergencia de la mariposa, podría estar ocurriendo el mismo patrón que en el estudio de Cole y Amman (1969), al preferir árboles de mayores dimensiones, pues éstos cumplirán con los requerimientos alimenticios de las larvas que se van a desarrollar en él, además de que producen mayores tasas de reemplazo para los descortezadores (Raffa *et al.*, 2008).

La teoría de la apariencia vegetal establece que el tamaño de una planta, la forma de crecimiento y su persistencia son características importantes que influyen en las posibilidades de ser o no notables para los herbívoros, es decir que las plantas de mayor tamaño y de lento crecimiento son fácilmente encontradas por ellos (“aparentes”), además de que contienen mecanismos de defensas químicos menos específicos, contrario a las plantas “no aparentes” (Feeny, 1976; Anaya, 2003; Granados-Sánchez *et al.*, 2008). En este caso *P. hartwegii* es una planta “aparente” al ser un individuo dominante, de vida

larga y de grandes dimensiones dadas las características dendrométricas de la especie (Matusalem y Solís, 2000), por lo que la mariposa podría estar seleccionando hospederos de gran tamaño que aparentemente contienen mayores recursos. Además, para el área de estudio se encontró que el DAP y la debilidad guardan una asociación significativa y positiva (Cuadros 6 y 8), lo cual podría justificar la selección de la mariposa resinera por hospederos que sean más “aparentes” y que a su vez presentan cierto nivel de debilidad (debilidad baja, media o muy débil), pues será más fácil atacar a individuos más débiles que aquellos que tengan un vigor óptimo, aunque cabe la posibilidad de que éste debilitamiento este causado por la propia mariposa.

Frecuentemente se ha reportado que los árboles viejos son más susceptibles a los ataques por escarabajos descortezadores que los jóvenes; sin embargo, no se han realizado estudios sobre la resistencia de los árboles (Lieutier, 2004). Shrimpton (1973) observó en *P. contorta* que la respuesta máxima de resina se presenta en los árboles de mediana edad, mientras que los árboles jóvenes (10-30 años) y viejos (91-120 años) eran menos resistentes que los de edades intermedias. De acuerdo con Matusalem y Solís (2000), la edad promedio de los *P. hartwegii* medidos en este estudio, con base en su altura, va de entre los 20 a los 50 años aproximadamente, colocándolos en una edad intermedia; sin embargo, en todas las parcelas se encontraron árboles de mayores alturas, que equivaldrían a edades mayores a los 100 años. Esto puede sugerir que los pinos más grandes, que podrían estar representando a los de mayor edad, están siendo más susceptibles al ataque de la mariposa resinera al presentar una menor respuesta de resina, es decir, son menos resistentes. Por su parte, DeAngelis *et al.* (1986) observaron que la densidad de los canales de resina en *P. taeda* se correlacionaba negativamente a la edad del árbol, ellos mencionan que esto puede explicar parcialmente que los árboles más viejos tienden a ser más susceptibles al ataque por descortezadores y microorganismos asociados, al ser el sistema de producción de resina un mecanismo de defensa primario contra estos agentes; esto último refuerza lo mencionado anteriormente, que la mariposa resinera ataca mayormente a los árboles más grandes, posiblemente los más viejos, ya

que el hospedero, tendrá una densidad de resina y contará con menor capacidad de respuesta para defenderse contra su ataque.

Al igual que la mariposa resinera, se ha observado que los árboles de mayor tamaño tienen una mayor probabilidad de ser infectados por el muérdago enano (Knutson y Tinnin, 1980; Hernández-Benítez *et al.*, 2005), ya que tienen mayor superficie de interceptación de semillas y, al ser los árboles más viejos, han estado expuestos durante más tiempo a la lluvia de semillas en comparación con los árboles más chicos y jóvenes. Debido a que los árboles más grandes son una mejor fuente de dispersión, los muérdagos enanos que se encuentran en árboles grandes tienen mayor probabilidad de sobrevivir, además de que pueden soportar un mayor número de individuos que los árboles pequeños (Shaw *et al.*, 2005). Bajo este contexto, se puede suponer que *S. cardinalis* tiene preferencia por los árboles de mayor diámetro, al igual que el muérdago enano, ya que estos favorecen su ataque, desarrollo y supervivencia, por lo que ambos se encuentran compartiendo hospederos con las mismas características.

Además, Queijeiro-Bolaños y Cano-Santana (2016) reportan que *A. globosum* causa infecciones más severas en árboles de mayor tamaño que en los pequeños, y que pueden obtener mayores beneficios a través de los hospederos grandes, mientras que para *A. vaginatum* no se encontró ningún patrón. Esto podría explicar la situación de competencia que existe entre *A. globosum* y la mariposa resinera en árboles de debilidad media, pues ambos parásitos se encuentran compitiendo por el mismo recurso, mientras que dada la abundancia de *A. vaginatum* es posible que no esté interactuando de manera negativa con la mariposa, lo cual requiere de estudios posteriores para esclarecer su relación.

Aparentemente, la mariposa resinera no ha mostrado daños importantes en la región, por lo que puede considerarse que su presencia en Zoquiapan está siendo únicamente parte de la dinámica del bosque; sin embargo, su significativa relación y asociación con *A. vaginatum* es de gran relevancia, ya que esta especie de muérdago es la especie más importante en los bosques de México (Cibrián, 2007). Es por esto que se recomienda su monitoreo para estudiar el comportamiento de *S. cardinalis*, así como para

prevenir cualquier posible aumento en su población que pueda llegar a afectar a esta y otras partes del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

Con base en los resultados y la discusión desarrollada, se formulan las siguientes conclusiones:

1. Hay una asociación significativa y positiva entre el MDMR de *A. vaginatum* y la mariposa resinera cuando el nivel de debilidad del hospedero es media y muy débil.
2. Hay una asociación significativa entre MDMR de *A. globosum* y la mariposa resinera que será positiva en hospederos de debilidad baja y negativa en árboles con debilidad media.
3. Hay una asociación significativa y positiva entre MDMR de las dos especies de muérdago en coexistencia y la mariposa resinera en hospederos de debilidad media.
4. Los ataques de la mariposa resinera tienen una asociación significativa y positiva con el nivel de debilidad del árbol.
5. El DAP es el mejor predictor del ataque por la mariposa resinera, ya que los árboles más grandes proveen los mejores recursos para el ataque de la mariposa resinera, al favorecer su ataque, desarrollo y supervivencia.

Este trabajo es la primera contribución al estudio de la ecología de la mariposa resinera y su interacción con su hospedero (*P. hartwegii*) y una planta parásita, con la que comparte hospederos de las mismas características físicas y fisiológicas. La mariposa resinera es una plaga secundaria de importancia forestal (Del Río, 1990) ya que ataca a varias especies de pinos que se aprovechan de manera comercial. Este estudio contribuye al conocimiento de la selección de hospederos por *S. cardinalis*, lo cual es relevante para su aplicación en el control de plagas en zonas de aprovechamiento forestal. Dada su asociación con el muérdago enano y la competencia que presentan en algunos casos, podrían motivar que, al erradicar el muérdago enano de estas zonas, el tamaño poblacional de la mariposa crezca y cause daños a los hospederos comerciables. La mariposa ataca preferentemente árboles de mayor tamaño, de los cuales se obtienen



mayor producción de madera y se extraen diversos productos como la pulpa y la celulosa (Jacobson, 2008), por lo que un aumento en su población provocaría daños económicos.

Es por esto que, debido a que la mariposa resinera ha adquirido mayor importancia al reportarse cada vez en más estados de nuestro país y a que la naturaleza de su asociación con el muérdago enano aún es desconocida, se sugiere la realización de estudios que ayuden a esclarecer esta relación. Se necesita profundizar en investigaciones sobre la fecundidad y el desarrollo de la mariposa en árboles con y sin muérdago, así como en la actualización de su ciclo de vida y posibles asociaciones con otros organismos, tanto en la región como en los otros estados de la república donde se encuentra distribuida. Se recomienda la investigación respecto a la presencia del insecto y las características fisiológicas del hospedero tales como el grosor del floema y la presión hídrica; además de estudios relacionados con factores abióticos que puedan favorecer o no su presencia, así como las afectaciones que causa el ataque por la mariposa en la condición de vigor del hospedero, la calidad de la madera y sus posibles repercusiones económicas.

## LITERATURA CITADA

- Agne, M. C., D. C. Shaw, T. J. Woolley y M. E. Queijeiro-Bolaños. 2014. Effects of dwarf mistletoe on stand structure of lodgepole pine forest 21-28 years post-mountain pine beetle epidemic in Central Oregon. *Plos One* **9**(9): 13 pp.
- Agrios, G. 2005. *Plant pathology*. Elsevier y Academic Press, Burlington, 922 pp.
- Alvarado-Rosales, D., L. L. Saavedra-Romero y E. Cárdenas-Soriano. 2009. Anatomía de la interacción *Cladocolea lonceroides* (Van Tieghem) Kuijt–*Salix bomplandiana* Kunth. *Revista Ciencia Forestal en México* **30**: 191-203.
- Anaya, A.L. 2003. *Ecología química*. Plaza y Valdéz, México, pp. 174-177.
- Andrade, E. y D. Cibrián. 1980. Evaluación de poblaciones de muérdago enano (*Arceuthobium globosum* Hawks y Wiens y *A. vaginatum* Willd) en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl en Zoquiapan, Edo. de México. En: Primer simposio nacional sobre parasitología forestal. Febrero 18-19. Sociedad Mexicana de Entomología, Uruapan, Michoacán, pp. 238-253.
- Benavides M., H. M. 2015. *Metodología para el diagnóstico de áreas verdes urbanas e inventario de su arbolado*. Libro técnico No. 8. CENID-COMEF, INIFAP, México, 114 pp.
- Berriel, A. 1983. *Determinación de las características físicas de la madera de Pinus hartwegii Lindl, afectada por muérdago enano*. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 47 pp.
- Beutelspacher, C. 1983. Redefinición taxonómica de *Montezumia cardinalis* Dampf (Lepidoptera; Sesiidae). *Revista Ciencia Forestal* **8**(43): 24-32.

- Bishop, J. y N. Landel-Mills. 2006. Los servicios ambientales de los bosques. En: Pagiola, S., J. Bishop y N. Landell-Mills. *La venta de los servicios ambientales forestales*. Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 47-77.
- Blanchard, R. y T. Tattar. 1997. *Field and laboratory guide to three pathology*. Academic Press, San Diego, 358 pp.
- Byers, J. A. 2004. Chemical Ecology of bark beetles in a complex olfactory landscape. En: F. Lieutier, K. R. Day, A. Battisti, J. Grégoire y H. F. Evans (eds.). *Bark and wood boring insects in living trees in Europe: a synthesis*. Kluwer Academic Publishers, Países Bajos, pp. 89-134.
- Chávez, L. F. 2013. *Estructura de la comunidad de artrópodos asociados a dos especies de muérdago enano (Arceuthobium spp.) parásitos de Pinus hartwegii (Lindl.) en el Parque Nacional Zoquiapan y anexas*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 94 pp.
- Cibrián, T. D., J. T. Méndez, R. Campos, H. O. Yates y J. Flores. 1995. *Insectos Forestales de México*. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo Edo. de México, 453 pp.
- Cibrián, T. D. 2007. Plantas parásitas. En: Cibrián, T. D., R. D. Alvarado y D. S. García (eds.). *Enfermedades Forestales en México*. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo Edo. de México, pp. 4-9.
- Cibrián, T. D. y J. Cibrián. 2007. Escenarios forestales y enfermedades. En: Cibrián, T. D., R. D. Alvarado y D. S. García (eds.). *Enfermedades Forestales en México*. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, Edo. De México, pp. 4-9.
- Ciesla, W. 2011. *Forest entomology: a global perspective*. Wiley-Blackwell, Reino Unido, 400 pp.
- Cole, W. E. y G. D. Amman. 1969. *Mountain pine beetle infestations in relation to lodgepole pine diameters*. USDA Forest Serv. Res. Note INT-95, 7 pp.

- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2008. *La diversidad biológica forestal en México*. En: [http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion\\_internacional/doctos/dbf\\_mexico.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/dbf_mexico.html)
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. 2010. *Programas y acciones en reforestación, conservación y restauración de suelos, incendios forestales y sanidad forestal en ecosistemas forestales*. CONAFOR, México, pp. 99.
- CONAFOR, Comisión Nacional Forestal. 2014. *Diagnóstico fitosanitario de la vegetación en ecosistemas prioritarios del estado de Aguascalientes*. CONAFOR, México, 83 pp.
- Crawley, M. 2007A. Count data. En: *The R book*. John Wiley & Sons. Inglaterra, pp. 543-546.
- Crawley, M. 2007B. Mathematics. En: *The R book*. John Wiley & Sons. Inglaterra, pp. 251-258.
- Dajoz, R. 2001. *Entomología forestal: los insectos y el bosque: papel y diversidad de los insectos en el medio forestal*. Mundi-Prensa, España, 548 pp.
- DeAngelis, J. D., T. E. Nebeker y J. D. Hodges. 1986. Influence of tree age and growth rate on the radial resin duct system in loblolly pine (*Pinus taeda*). *Canadian Journal of Botany* **64**(5): 1046-1049.
- Del Río, M.A. 1990. Biología y control químico de *Synanthedon cardinalis* Dampf (Lepidoptera: Sesiidae) en la Sierra Purépecha, Michoacán. *Rev. Ciencia Forestal en México* **15**(68): 3-27.
- Diéguez, U., M. Barrio, A. D. Ruíz, M. F. Álvarez, J. G. Álvarez y A. Rojo. 2003. *Dendrometría*. Mundi Prensa, España, 327 pp.

- Feeny, P. 1976. Plant apparency and chemical defense. En: Wallace, J. M. y R. L. Mansell (eds.). *Biochemical interaction between plants and insects*. Plenum, Nueva York, pp. 1-40.
- Ferrell, G. T. 1974. Moisture stress and fir engraver (Coleoptera: Scolytidae) attack in white fir infected by true mistletoe. *Canadian Entomologist* **106**: 315-318.
- Flores, M. Y. 2008. *Evaluación del efecto que causa el muérdago enano (Arceuthobium vaginatum subsp. vaginatum) en el crecimiento de Pinus cooperi en Pueblo Nuevo, Durango*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, México, 145 pp.
- Frank, D. L. y R. F. Mizell. 2006. *Native and exotic insect borers are important crop pest in the U.S.* University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, ENY-730, 7 pp. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/in640>
- Geils, B. W. e I. Vázquez-Collazo. 2002. Loranthaceae and Viscaceae in North America. En: Geils, B. W., J. Cibrián T. y B. Moody (eds.). *Mistletoes of North American Conifers*. USDA Forest Service Gen. Tech. Repo. RMRS-GTR-98, pp. 1-8.
- Geils, B. W. y F. G. Hawksworth. 2002. Damage, effects and importance of dwarf mistletoe. En: Geils, B. W., J. Cibrián T. y B. Moody (eds.). *Mistletoes of North American Conifers*. USDA Forest Service Gen. Tech. Repo. RMRS-GTR-98, pp. 57-66.
- Granados-Sánchez, D., P. Ruíz-Puga y H. Barrera-Escorcia. 2008. Ecología de la herbivoría. *Rev. Chapingo* **14**(1): 51-63.
- Gutiérrez, R. M. 1968. *Efecto del parasitismo del muérdago enano (Arceuthobium spp.) sobre el desarrollo en grosor del tronco de Pinus montezumae y P. hartwegii, en el cerro Telapon, Edo. de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 28 pp.
- Gutiérrez, A. 1989. *Conservacionismo y desarrollo del recurso forestal: texto guía forestal*. Editorial Trillas, México, 205 pp.

- Hawksworth, F. G. 1977. *The 6-class dwarf mistletoe rating system*. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, 6 pp.
- Hawksworth, F. G. y D. Wiens. 1996. *Dwarf mistletoes: Biology, pathology and systematics*. United States Dept. of Agriculture, Forest Service, 410 pp.
- Hawksworth, F. G, D. Wiens y B. Geils. 2002. *Arceuthobium* en Norteamérica. En: Geils, B. W., J. Cibrián T. y B. Moody (eds.). *Mistletoes of North American Conifers*. USDA Forest Service Gen. Tech. Repo. RMRS-GTR-98, pp. 29-56.
- Heide-Jorgensen, H.S. 2008. *Parasitic Flowering Plants*. Brill, Países Bajos, 438 pp.
- Hernández-Benítez, R., Z. Cano-Santana e I. Castellanos-Vargas. 2005. Incidencia de infestación de *Arceuthobium globosum grandicaule* (Hawks. Y Wiens) en *Pinus hartwegii* (Lindl.). *Revista Ciencia Forestal en México* **30**: 79-86.
- Hernández, F. y A. Equihua. 2000. Apuntes de entomología forestal. II: *Synanthedon cardinalis* (Dampf) (Lepidóptera: Sesiidae) una nueva plaga forestal para el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* **2**(2): 59-62.
- Hernández, M. S. 1983. Biología de *Synanthedon cardinalis* Dampf (Lep: Sesiidae), descortezador de pinos. *Rev. Ciencia Forestal* **8**(46): 39-64.
- Jacobson, M. 2008. To cut or not to cut: Tree value and deciding when to harvest timber. The Pennsylvania State University, 8 pp. Disponible en: [http://extension.psu.edu/natural-resources/forests/finance/forest-tax-info/publications/forest-finance-8-to-cut-or-not-cut-tree-value-and-deciding-when-to-harvest-timber/extension\\_publication\\_file](http://extension.psu.edu/natural-resources/forests/finance/forest-tax-info/publications/forest-finance-8-to-cut-or-not-cut-tree-value-and-deciding-when-to-harvest-timber/extension_publication_file)
- Kenaley, S. C., R. L. Mathiasen y C. M. Daugherty. 2006. Selection of dwarf mistletoe-infected ponderosa pines by *Ips* species (Coleoptera: Scolytidae) in Northern Arizona. *Western North American Naturalist* **66**(3): 279-284.

- Knutson, D. M. y R. Tinnin. 1980. *Dwarf mistletoe and host tree interactions in managed forests of the Pacific Northwest*. USDA, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, General Technical Report PNW-111, 19 pp.
- Krebs, C. 1978. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row, Nueva York, 678 pp.
- Kulakowski, D. y D. Jarvis. 2013. Low-severity fires increase susceptibility of lodgepole pine to mountain pine beetle outbreaks in Colorado. *Forest Ecology and Management* **289**: 544-550.
- Lieutier, F. 2004. Host resistance to bark beetles and its variations. En: F. Lieutier, K. R. Day, A. Battisti, J. Grégoire y H. F. Evans (eds.). *Bark and wood boring insects in living trees in Europe: a synthesis*. Kluwer Academic Publishers, Países Bajos, pp. 89-134.
- Linhart, Y., M. A. Snyder y J. P. Gibson. 1994. Differential host utilization by two parasites in a population of ponderosa pine. *Oecologia* **98**: 117-120.
- Manion, P. 1991. *Tree disease concepts*. Prentice-Hall, Nueva Jersey, 402 pp.
- Marchal, D. 2009. El muérdago en la Ciudad de México. *ArbolAMA* **2**: 10-30.
- Martínez, M. 1948. *Los pinos mexicanos*. Botas, México, 361 pp.
- Matos, J. 1995. *Pinus hartwegii* and *P. rudis*: A critical assessment. *Systematic Botany* **20**: 6-21.
- Matusalem, M. A. y M. A. Solís. 2000. *Monografía de Pinus hartwegii*. SAGAR. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Libro Técnico No. 3, Chapingo, Estado de México, 96 pp.
- McCambridge, W. F., F. G. Hawksworth, C. B. Edminster y J. G. Laut. 1982. *Ponderosa pine mortality resulting from a mountain pine beetle outbreak*. USDA Forest Service Research Paper RM-RP-235, 7 pp.

- McGregor, M. D. 1978. Management of mountain pine beetle in lodgepole pine stands in the Rocky Mountain area. En: Kibbee, D. L., A. A. Berryman, G. D. Amman, R. W. Stark (eds.). *Theory and practice of mountain pine beetle management in lodgepole pine forests: proceedings of the symposium*. 25-27 April, Washington State University, Pullman, WA, USA, pp. 129-139.
- Musselman, L. J. y M. C. Press. 1995. Introduction to parasitic plants. En: Press, M. C. y J. D. Graves (eds.). *Parasitic Plants*. Chapman & Hall, Londres, pp. 1-13.
- Narave, H. y K. Taylor. 1997. *Flora de Veracruz: Pinaceae*. Instituto de Ecología, A. C. México, 51 pp.
- Obieta, M. C. y J. Sarukhán. 1981. Estructura y composición. La vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*. I. Estructura y composición florística. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **41**: 75-124.
- Ortega, C. H., G. J. Verduzco y P. A. Gutiérrez y L. I. Piña. 1951. *Plagas y enfermedades del Bosque de Chapultepec*. SAGARPA & DGFC, México, 64 pp.
- Parker, D. L. y L. E. Stipe. 1974. *Does the mountain pine beetle select and kill dwarf mistletoe-infected lodgepole pine?* United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, State and Private Forestry, Insect and Disease Control Report, Utah, 12 pp.
- Queijeiro-Bolaños, M. E., Z. Cano-Santana e I. Castellanos-Vargas. 2011. Distribución diferencial de dos especies de muérdago enano sobre *Pinus hartwegii* en el área natural protegida "Zoquiapan y anexas", Estado de México. *Acta Botanica Mexicana* **96**: 49-57.
- Queijeiro-Bolaños, M. E., Z. Cano-Santana y G. García-Guzmán. 2014. Incidence, severity and aggregation patterns of two sympatric dwarf mistletoes species (*Arceuthobium* spp.) in Central Mexico. *European Journal of Forest Research* **113**(2): 297-306.



- Queijeiro-Bolaños, M. E. 2015. *Interacción entre dos especies de muérdago enano y su hospedero: importancia de las asociaciones bióticas*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 159 pp.
- Queijeiro-Bolaños, M. E. y Z. Cano-Santana. 2016. Growth of Hartweg's pine (*Pinus hartwegii*) parasitized by two dwarf mistletoe species (*Arceuthobium* spp.). *Botanical Sciences* **94**(1): 51-62.
- Raffa, K. F., B. H. Aukema, B. J. Bentz, A. L. Carroll, J. A. Hicke, M. G. Turner y W. H. Romme. 2008. Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: The dynamics of bark beetle eruptions. *BioScience* **58**(6): 501-517.
- Raffa, K. F., J. Grégoire y B. Staffan. 2015. Natural history and ecology of bark beetles. En: Vega, F. E. y R. Hofstetter (eds.). *Bark beetles. Biology and ecology of native and invasive species*. Academic Press, Reino Unido, pp. 1-40.
- Ramos-Elorduy, J., J. M.P. Moreno, A. I. Vázquez, I. Landero, H. Oliva-Rivera, V. H. M. Camacho. 2011. Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *Journal of Ethnobiology and Etnomedicine* **7**(2): 1-22.
- Rasmussen, L. A. 1987. *Mountain pine beetle selection of dwarf mistletoe and comandra blister rust infectad lodgepole pine*. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Research Note INT 367, 4 pp.
- Riches, C. R. y C. Parker. 1995. Parasitic plants as weeds. En: Press, M. C. y J. D. Graves (eds.). *Parasitic Plants*. Chapman & Hall, Londres, pp. 226-255.
- Roe, A. L. y g. D. Amman. 1970. *Mountain Pine Beetle in Lodgepole Pine Forests*. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Research Paper INT-71, 26 pp.
- Rojas, M. C. 1983. *Distribución de Arbutus spp. y su relación con Abies religiosa, Alnus firmifolia y Pinus spp. en la Estación Experimental Zoquiapan*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 101 pp.

- Ruíz, M., C. García y J. A. Sayer. 2007. Los servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas* **16**(3): 81-90.
- Sánchez, J. A. y L. M. Torres. 2006. *Manual para la identificación de los principales problemas fitosanitarios de los bosques del estado de Coahuila*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México, 33 pp.
- Sauvard, D. 2004. General biology of bark beetles. En: F. Lieutier, K. R. Day, A. Battisti, J. Grégoire y H. F. Evans (eds.). *Bark and wood boring insects in living trees in Europe: a synthesis*. Kluwer Academic Publishers, Países Bajos, pp 63-88.
- Shaw, D. C., J. Chen, E. A. Freeman y D. M. Braun. 2005. Spatial and population characteristics of dwarf mistletoe infected trees in an old-growth Douglas-fir – western hemlock forest. *Can. J. For. Res.* **35**: 990-1001.
- Shrimpton, D. M. 1973. Age- and size-related response of lodgepole pine to inoculation with *Euophium clavigerum*. *Canadian Journal of Botany* **51**(6): 1155-1160.
- SMN, Sistema Meteorológico Nacional. 2015. Normales climatológicas por estación. Disponible en: [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75).
- Stoddard, C. H. 1968. *Essentials of forestry practice*. The Ronald Press Company, USA, 362 pp.
- Torres, J. M. y A. Guevara. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica* **63**: 40-59.
- Valderrama, J. y O. M. Medina. 2002. *Evaluación de muérdago enano (*Arceuthobium* spp.) en rodales del género (*Pinus* spp.) y propuestas de manejo en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan*. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México, 77 pp.

Vargas, M. F. 1997. *Parques Nacionales de México. Vol. I. Zonas Centro, Occidente y Oriente*. Instituto Nacional de Ecología, México, 331 pp.

Wagner M. R. y R. L. Mathiasen. 1985. Dwarf mistletoe-pandora moth interaction and its contribution to ponderosa pine mortality in Arizona. *Great Basin Naturalist* **45**: 423-426.

Walters, D. 2011. *Plant defense: warding off attack by pathogens, herbivores and parasitic plants*. Wiley-Blackwell, Reino Unido, 236 pp.

Zar, H. J. 2010. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Nueva Jersey, 944 pp.

## ANEXOS

### Anexo I

Promedios de los datos dendrométricos por parcela; valores mínimos y máximos entre paréntesis.

Parcela	Altura (m)	DAP (cm)	Volumen de la copa (m <sup>3</sup> )	Grosor de la corteza (cm)
1	6.72 (1.7-28.71)	12.7 (5.0-50.7)	27.55 (0.2-363.79)	1.4 (0.6-5.2)
2	9.81 (2.24-36.0)	18.76 (5.0-72.5)	50.95 (0.17-343.72)	1.3 (0.4-5.0)
3	14.47 (1.57-34.0)	23.9 (5.0-64.9)	76.41 (0.03-561.98)	1.75 (0.5-4.6)
4	13.17 (2.51-37.26)	20.55 (5.0-67.5)	59.68 (0.3-451.67)	1.87 (0.5-5.0)
5	17.23 (3.0-36.0)	26.39 (5.0-60.0)	99.6 (0.65-506.41)	2.6 (0.5-7.0)
6	14.92 (1.05-35)	2.26 (5.0-63.5)	76.37 (0.01-495.43)	2.13 (0.5-5.0)
7	16 (2.47-34.0)	27.66 (5.0-60.7)	100.04 (0.24-534.12)	2.2 (0.5-4.6)
8	10.18 (1.25-29.0)	17.85 (5.0-59.5)	39.37 (0.22-3865.87)	1.71 (0.5-5.0)
9	11.59 (1.06-37.0)	21.79 (5.5-64.0)	64.43 (0.17-611.36)	1.88 (0.5-5.0)
10	12.35 (1.46-35)	22.54 (5.1-85.1)	71.95 (0.09-553.31)	1.82 (0.6-6.9)

### Anexo II

Estimados de los parámetros del modelo lineal generalizado (tipo de error =binomial negativo función de ligamento = log) del efecto de distintos predictores sobre el NIMR (Cuadro 7).

Modelo	Parámetro	$\beta$	e.e.	Z	P
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ ( <i>A. vaginatum</i> ) + $\beta_2$ (Debilidad)	Intercepto	-2.711	0.252	-10.736	<0.0001
	<i>A. vaginatum</i>	0.209	0.027	7.692	<0.0001
	Debilidad	0.491	0.091	5.385	<0.0001
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (DAP)	Intercepto	-3.51	0.186	-18.91	<0.0001
	DAP	0.089	0.005	17.27	<0.0001
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (Altura)	Intercepto	-3.46	0.189	-18.25	<0.0001
	Altura	0.15	0.009	16.32	<0.0001
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (Debilidad) + $\beta_2$ (Volumen)	Intercepto	-3.147	0.261	-12.07	<0.0001
	Debilidad	0.516	0.091	5.65	<0.0001
	Volumen	0.009	0.001	13.58	<0.0001
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (Debilidad) + $\beta_2$ (Grosor de la corteza)	Intercepto	-4.056	0.299	-13.57	<0.0001
	Debilidad	0.36	0.092	3.91	<0.0001
	Grosor de la corteza	0.988	0.071	13.93	<0.0001

### Anexo III

Estimados de los parámetros del modelo lineal generalizado (tipo de error =binomial negativo función de ligamento = log) del efecto de distintos predictores sobre el NIMR (Cuadro 9).

Modelo	Parámetro	$\beta$	e.e.	Z	P
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (MDMR)	Intercepto	-1.992	0.127	-15.66	<0.0001
	MDMR	0.257	0.023	10.9	<0.0001
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (DAP)	Intercepto	-3.51	0.186	-18.91	<0.0001
	DAP	0.089	0.005	17.27	<0.0001
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (Altura)	Intercepto	-3.46	0.189	-18.25	<0.0001
	Altura	0.15	0.009	16.32	<0.0001
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (Debilidad)+ $\beta_2$ (Volumen)	Intercepto	-3.147	0.261	-12.07	<0.0001
	Debilidad	0.516	0.091	5.65	<0.0001
	Volumen	0.009	0.001	13.58	<0.0001
Modelo: $\beta_0 + \beta_1$ (Debilidad)+ $\beta_2$ (Grosor de la corteza)	Intercepto	-4.056	0.299	-13.57	<0.0001
	Debilidad	0.36	0.092	3.91	<0.0001
	Grosor de la corteza	0.988	0.071	13.93	<0.0001