



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
**Facultad de Ciencias Naturales**



**Potencial Reproductivo del muérdago *Psittacanthus calyculatus* dentro del  
Parque Nacional El Cimatario, estado de Querétaro.**

**Tesis Individual**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Licenciado en Biología**

**Presenta:**

Alejandra Hernández Ledesma

**Dirigido por:**

Dra. Mónica Elisa Queijeiro Bolaños

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Septiembre 2021  
**México**



**Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales**



**Potencial Reproductivo del muérdago *Psittacanthus calyculatus* dentro del Parque Nacional El Cimatario, estado de Querétaro.**

**Tesis Individual**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Licenciado en Biología**

**Presenta:**

Alejandra Hernández Ledesma

**Dirigido por:**

Dra. Mónica Elisa Queijeiro Bolaños

**Directora**

Dra. Guadalupe Xóchitl Malda Barrera

**Asesora**

Dr. Israel Carrillo Ángeles

**Asesor**

Dr. Humberto Suzan Azpiri

**Asesor**

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Septiembre 2021  
México

## RESUMEN

*Psittacanthus calyculatus* (Loranthaceae) es un muérdago con amplia distribución en México; sin embargo, es limitada la información acerca de su desempeño según la especie hospedera que parasita. Se determinó el potencial reproductivo de *P. calyculatus* sobre *Acacia schaffneri* y *Eysenhardtia polystachya* dentro del Parque Nacional El Cimatario (PANEC). Se evaluó específicamente si la especie hospedera influye en su desempeño (floración y fructificación), y si hay diferencia entre la densidad de muérdagos según la especie hospedera y sus variables alométricas. Durante los meses de enero a marzo (2019) se midió la cobertura de 20 hospederos parasitados (10 por especie); se registró el número y tamaño de individuos de muérdago por hospedero, de flores y frutos, además del peso y tamaño de los frutos producidos por los muérdagos en cada hospedero. Finalmente, se estimó la probabilidad de producción de frutos del muérdago para obtener un valor del potencial reproductivo. Se demostró una preferencia de *P. calyculatus* sobre *A. schaffneri* en cuanto al número, área y peso de los frutos ( $R^2 = 0.326$ ,  $p = 0.013$ ;  $R^2 = 0.450$ ,  $p < 0.0001$ ;  $R^2 = 0.590$ ,  $p < 0.0001$ , respectivamente). Se observó una correlación significativa de la cobertura de *A. schaffneri* con el tamaño y número de frutos del muérdago ( $R^2 = 0.565$ ,  $p = 0.019$ ;  $R^2 = 0.0496$ ,  $p = 0.034$ ). La cobertura de la especie hospedera define la producción de frutos del muérdago; sin embargo, con el modelo predictivo se obtuvo que cada hospedero generará al menos 5 frutos, y en consecuencia 5 semillas. Aunque *P. calyculatus* infecta del mismo modo a *E. polystachya* y *A. schaffneri*, su desempeño se favorece parasitando a este último. Esto incrementa la calidad del fruto, aumentando su probabilidad de dispersión. Estos resultados brindan información para un mejor control de la población de muérdagos en el PANEC.

Palabras clave: muérdago, *Psittacanthus calyculatus*, hospedero, desempeño, potencial reproductivo, *Acacia schaffneri*, *Eysenhardtia polystachya*.

## ABSTRACT

*Psittacanthus calyculatus* (Loranthaceae) is a mistletoe with wide distribution throughout the Mexican territory; however, information is limited about its performance according to the host species that parasitizes. The reproductive potential of *P. calyculatus* over *Acacia schaffneri* and *Eysenhardtia polystachya* within Parque Nacional El Cimatario (PANEC) was determined. Specifically, it was evaluated if the host species influences *P. calyculatus* performance (flowering and fructification), and if there is a relation between mistletoe density, the host species and their allometric variables. Between the months of January to March (2019), the coverage of 20 parasitized hosts (10 per species) were measured and registered the number and size of mistletoe individuals per host, the number of flowers and fruits, in addition to weight and size of the fruits produced by mistletoes in each host. Finally, the probability of mistletoe fruit production was estimated to obtain a value for reproductive potential. A preference of *P. calyculatus* over *A. schaffneri* was shown for fruit number, size, and weight ( $R^2 = 0.326$ ,  $p = 0.013$ ;  $R^2 = 0.450$ ,  $p < 0.0001$ ;  $R^2 = 0.590$ ,  $p < 0.0001$ , respectively). A significant correlation of the coverage of *A. schaffneri* with the size and number of fruits of the mistletoe was observed ( $R^2 = 0.565$ ,  $p = 0.019$ ;  $R^2 = 0.0496$ ,  $p = 0.034$ ). Host species cover defines mistletoe fruit production; however, with the predictive model, it was obtained that each host will generate at least 5 fruits, and consequently 5 seeds. Although *P. calyculatus* infects *E. polystachya* and *A. schaffneri* in the same way, its performance is favored by parasitizing the latter. This enhances the quality of the fruit, increasing its probability of dispersal. These results provide information for a better control of the mistletoe population in the PANEC.

Keywords: mistletoe, *Psittacanthus calyculatus*, host, performance, reproductive potential, *Acacia schaffneri*, *Eysenhardtia polystachya*.

A mi familia, que nunca se han dado por vencidos conmigo, y siempre han mostrado su apoyo, con risas, abrazos e historias por contar.

Dirección General de Bibliotecas UJAQ

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro por darme la oportunidad de estudiar la licenciatura en Biología, así como brindar los espacios y herramientas para seguir estudiando.

A mi directora de tesis, la Dra. Mónica Elisa Queijeiro Bolaños por haberme aceptado para llevar a cabo este gran proyecto, por el apoyo y orientación durante todo el trabajo.

A cada uno de mis asesores de tesis por el apoyo y la guía para la elaboración del trabajo, con sus respectivas sugerencias y revisiones.

Al laboratorio de ecología por brindar el apoyo y las herramientas necesarias para la colecta y mediciones del objeto de estudio del proyecto. En particular a Óscar Manuel García González, técnico del laboratorio, que siempre estuvo apoyándome durante el proceso del proyecto.

Al encargado del PANEC, el Ing. José Orozco Mora, y a la Mvz. Adela Mena, por permitirnos el estudio del muérdago y sus interacciones con la flora del lugar.

A mis abuelos, mi tía, y mi papá que siempre mostraron apoyo para que siguiera mis sueños estudiando la carrera.

A mi pequeño pero gran círculo de amigos que estuvieron conmigo durante estos últimos años durante la carrera, y que me apoyaron en los momentos más difíciles en la elaboración de este proyecto.

A mis hermanos Ana, Migue y Andrea por su apoyo incondicional, subiéndome el ánimo, buscando siempre una solución, ayudándome a no renunciar a mis sueños.

Por último, pero no menos importante, a mi mamá, por su amor y apoyo incondicional, haciendo hasta lo imposible para que esté aquí el día de hoy, feliz, tranquila con todas las decisiones que he tomado.

## TABLA DE CONTENIDOS

1. MARCO TEÓRICO .....	9
1.1. Parasitismo .....	9
1.2. Plantas parásitas .....	9
1.3. Muérdagos .....	14
1.4. Polinización y dispersión .....	16
1.5. <i>Psittacanthus calyculatus</i> .....	18
2. HIPÓTESIS .....	22
3. OBJETIVOS .....	21
3.1. Objetivo general .....	21
3.2. Objetivos particulares .....	21
4. METODOLOGÍA .....	22
4.1. Área de estudio .....	22
<i>Ubicación</i> .....	22
<i>Clima</i> .....	23
<i>Vegetación</i> .....	23
4.2. Especies de estudio .....	24
<i>Psittacanthus calyculatus</i> .....	24
<i>Acacia schaffneri</i> .....	25
<i>Eysenhardtia polystachya</i> .....	25
4.3. Muestreo .....	27
4.4. Análisis estadístico .....	29
5. RESULTADOS .....	30
<i>Comparación de características de Psittacanthus calyculatus en dos hospederos distintos</i> .....	30
<i>Correlaciones con las características alométricas de ambas especies hospederas...</i> .....	33
<i>Potencial reproductivo</i> .....	34
6. DISCUSIÓN .....	35
7. CONCLUSIÓN .....	45
8. LITERATURA CITADA .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Valores correspondientes al análisis estadístico *t* de Welch del número de muérdagos, frutos, flores y hojas de *Psittacanthus calyculatus* en dos hospederos distintos: *Acacia schaffneri* y *Eysenhardtia polystachya*.....30

**Tabla 2.** Valores estadísticos de correlación Pearson de *Psittacanthus calyculatus* en dos especies hospederas: *Acacia schaffneri* y *Eysenhardtia polystachya*.....32

**Tabla 3.** Valor estadístico del modelo logístico (GLM) del número de frutos de *Psittacanthus calyculatus* en relación con el área de la copa (m<sup>2</sup>) del hospedero.....33



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ejemplares de algunas especies de plantas parásitas.....	9
<b>Figura 2.</b> Mecanismo de acción del haustorio de los muérdagos sobre la especie hospedera.....	14
<b>Figura 3.</b> Etapas de desarrollo del muérdago.....	15
<b>Figura 4.</b> Visitantes potenciales de los muérdagos que facilitan su polinización y dispersión.....	17
<b>Figura 5.</b> Flores y frutos del muérdago <i>Psittacanthus calyculatus</i> .....	18
<b>Figura 6.</b> Ubicación geográfica del PANEC, en el estado de Querétaro.....	22
<b>Figura 7.</b> Mapa de los tipos de vegetación dentro del PANEC, en el estado de Querétaro.....	23
<b>Figura 8.</b> Especies de estudio que conforman el trabajo de investigación.....	25
<b>Figura 9.</b> Zonas de muestreo dentro del PANEC.....	26
<b>Figura 10.</b> Colecta de individuos de <i>Psittacanthus calyculatus</i> en <i>Acacia schaffneri</i> y en <i>Eysenhardtia polystachya</i> .....	27
<b>Figura 11.</b> Comparación del desempeño de <i>P. calyculatus</i> en <i>E. polystachya</i> y en <i>A. schaffneri</i> .....	30
<b>Figura 12.</b> Correlaciones de <i>P. calyculatus</i> sobre la copa del árbol (m <sup>2</sup> ) de <i>E. polystachya</i> y en <i>A. schaffneri</i> .....	33

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Parasitismo

Las redes de interacción explican la esencia de las comunidades. Las especies que participan en una comunidad forman redes complejas de interacciones biológicas. Estas redes constituyen la base para entender el funcionamiento de los ecosistemas, muestran las conexiones entre especies, describen patrones estructurales a nivel de comunidad y ayudan a conocer la fragilidad ecológica ante la pérdida de especies (González, 2017).

En el caso de las especies que pasan una parte o toda su vida asociada de manera estrecha con otro organismo vivo de una especie diferente se le denominan simbiote; definiendo a esta interacción como simbiosis. El término en este caso no implica una dependencia fisiológica mutua o unilateral; se utiliza en el sentido original “viviendo juntos” sin ninguna inferencia a un beneficio o daño al simbiote. De este modo, se reconocen cuatro tipos de simbiosis: comensalismo, foforesis, mutualismo y parasitismo (Bogitsh *et al.*, 2019).

Como se dijo previamente, el parasitismo consiste en una relación simbiótica entre dos organismos, que comprende de un huésped y un parásito; este último es fisiológicamente dependiente del primero. El intercambio que realizan pueden ser de forma permanente (parásitos obligatorios) o temporal (parásitos facultativos) (Bogitsh *et al.*, 2019).

### 1.2. Plantas parásitas

Del gran mundo de las especies parásitas, aproximadamente 4500 especies pertenecen a las angiospermas. Las plantas parásitas son un grupo general de todos los ecosistemas terrestres en todo el mundo, aunque su riqueza y frecuencia depende mucho del bioma y los hábitats de cada especie (figura 1). Sin embargo, pueden estar limitados por la disponibilidad de especies hospederas (Mellado y Zamora, 2017; Těšitel *et al.*, 2020; Watson, 2009).



**Figura 1.** Ejemplares de algunas especies de plantas parásitas: a) *Phoradendron laucarpum* ssp. *tomentosum*, b) *Cytinus hypocistis*, c) *Viscum* spp., d) *Cuscuta epithymum*, e) *Orobanche* spp. Fotos: Naturalista

Uno de los rasgos más característicos de las plantas parásitas es la habilidad que tienen para extraer los recursos necesarios para su desarrollo. Principalmente, los recursos que aprovechan las plantas parásitas son agua, carbón y nutrientes. Esta salida de recursos, que provienen desde las especies hospederas y llegan al parásito, se atribuye a una estructura especializada llamada haustorio. El haustorio tiene como objetivo principal establecer una conexión unidireccional parásito-huésped. Para llevarlo a cabo invade el sistema vascular del hospedero, empezando desde las raíces y/o los brotes, permitiendo la participación de células de transferencia especializadas entre el parásito y el hospedero (Cocoletzi *et al.*, 2016; Mellado y Zamora, 2017).

Considerando su método de infección, las plantas parásitas se pueden clasificar de acuerdo con el sitio de anclaje, ya sea de la raíz o de los brotes. El estado de los cloroplastos también se considera: pueden ser completamente funcionales y llevar a cabo la fotosíntesis (hemiparásitas), o no tener la funcionalidad de los cloroplastos

(holoparásita). Del mismo modo se presenta en distintas formas de vida, incluyendo anuales y perennes, herbáceas y leñosas, arbustos y enredaderas (Press y Phoenix, 2005).

Otras de las grandes ventajas que tienen las plantas parásitas es su adaptabilidad y versatilidad, las cuales se ven reflejadas en su fenología. En su papel de parásitas, tienen acceso a nutrientes y agua en temporadas donde no están disponibles para las plantas autótrofas, permitiendo una amplia gama de respuestas fenológicas. Además de que pueden establecer fuera de sincronía, en relación con el resto de la población dentro de la comunidad, la temporada de floración y fructificación. Esto quiere decir que, cuando solo una pequeña parte de la población de plantas cuente con flores y frutos, las plantas parásitas tendrán picos altos de producción para maximizar las tasas de visitas de los polinizadores (Watson, 2009).

La selección de un hospedero depende del ambiente en el que se encuentre la planta parásita, así como del estado de la especie hospedera. Además, dependerá del tiempo por el que estén disponibles los recursos (agua, minerales, pero en su mayoría las altas concentraciones de nitrógeno de las especies hospederas); mientras más larga sea la duración de estos recursos, la preferencia será aún mayor. Con frecuencia son catalogadas como generalistas; esto quiere decir, que tienen un amplio intervalo de infección entre varias especies actuando de manera simultánea, como es el caso de *Castilleja* spp., del cual se ha reportado que infecta a más de 100 especies diferentes de una gran variedad de familias. Por su parte *Rhinanthus minor* tiene registrados cerca de 50 especies hospederas diferentes provenientes de 18 familias distintas, alcanzando a parasitar un 14% de esas especies hospederas disponibles. Sin embargo, no todas son generalistas. De acuerdo a su comportamiento, algunas son consideradas más como especialistas; por lo que tienen altos niveles de preferencia hacia ciertas especies (Press y Phoenix, 2005).

Hay varios aspectos que hacen que una especie sea más propensa a ser parasitada; es decir, ser una planta hospedera potencial. Algunos autores han

descrito al grupo de las leguminosas como hospederos con una alta probabilidad para ser parasitados por las plantas parásitas, donde estas últimas presentan un mayor porcentaje de crecimiento y de reproducción. Esto se debe a que su sistema de defensa es más endeble (Jiang *et al.*, 2008), permitiendo la infección en cualquier parte del hospedero para poder establecerse. Lo mismo sucede con las especies que tienen como características una corteza no resistente a invasiones (Watson, 2009).

La competencia por la disponibilidad de recursos de las plantas parásitas con su respectivo hospedero es otro de los factores que influye en la susceptibilidad de las especies hospederas a ser parasitadas. Generalmente, el acceso al agua contribuye de manera significativa en el desarrollo de la planta parásita; sin embargo, este gasto debe ser menor al del hospedero, manteniendo un desempeño equitativo. En los últimos años se ha observado que también los niveles de nitrógeno y de carbono definen el desarrollo y crecimiento de la planta parásita, y que, los valores que necesitan de N y C son bajos en relación con los del hospedero, sin necesidad de quitarle por completo estos recursos. Sin embargo, se ha estudiado muy poco y se desconoce si sucede lo mismo en todas las plantas parásitas (Glatzel y Geils, 2009; Scalón y Wright, 2015).

La estructura de la comunidad vegetal también influye en la selección de un hospedero. Es muy frecuente observar que la especie más abundante es la que mayores probabilidades tiene de ser parasitada. Por lo tanto, encontraremos al menos un parásito por cada individuo correspondiente a esa especie hospedera. Cuando esto sucede, hay un cambio en la competencia entre las especies hospederas y no hospederas, permitiendo la conservación de las no hospederas. Sin embargo, existen casos en que la planta parasitada son de las menos abundantes, teniendo una mayor abundancia de las especies no hospederas. Independientemente de la especie que sea parasitada, la diversidad de la comunidad sufre cambios (Press y Phoenix, 2005).

Otro de los impactos que tienen las plantas parásitas sobre una comunidad es que pueden servir como una red de conexión entre múltiples individuos. Esta

función, descubierta recientemente, es muy similar a la que establecen las micorrizas, que beneficia la adaptación frente a distintos tipos de estrés. Este es el caso de *Cuscuta australis*, que ha demostrado establecer una red de comunicación con todos los hospederos alrededor. El envío de las señales es causado como respuesta a la herbivoría, al estrés salino o de humedad. Si bien facilita la comunicación entre plantas dentro de una comunidad, el resto de los beneficios siguen siendo desconocidos (Těšitel *et al.*, 2020).

Se ha registrado una relación inversa entre el rendimiento del hospedero contra la del parásito. Al momento en que un parásito ha seleccionado a su hospedero y lo infecta, el crecimiento de este último va reduciéndose, mientras que la del parásito aumenta considerablemente. Al bajar el porcentaje de rendimiento de las especies hospederas, la producción de individuos en una comunidad también se ve afectada, reduciendo el nivel de biomasa de la comunidad (Press y Phoenix, 2005).

Debido a esto, las plantas parásitas tienen un gran impacto sobre los ciclos de vegetación, así como en la distribución de las especies de una comunidad. Cuando la infección de un parásito llega a ser muy fuerte, provoca la extinción de la especie hospedera a nivel local, y en consecuencia la extinción del parásito. Al momento de regenerarse la población de la especie hospedera, el parásito puede establecerse de nuevo. Este comportamiento puede explicar el desplazamiento de las plantas parásitas sobre distintas especies a través de un área delimitada (Press y Phoenix, 2005).

En contra de lo que la mayoría piensa, varios estudios han planteado que las plantas parásitas son especies clave. Como sabemos, las especies clave tienen una gran influencia en las interacciones sobre una comunidad en relación con su propia abundancia y/o masa. Hasta el momento se ha visto que las plantas parásitas facilitan la coexistencia y diversidad por medio de la reducción de competencia de las especies dominantes. Además, promueven el forrajeo y formación de nidos, la producción de flores y frutos tanto del hospedero como del parásito, generando una mayor atracción de polinizadores y dispersores. De igual manera, en recientes estudios se ha demostrado que las plantas parásitas tienen la capacidad para poder

controlar a algunas de las especies que han sido introducidas y que tienen un efecto negativo dentro de una zona, como sucede en el caso de *Calamagrostis epigejos*, una hierba que ha afectado la diversidad de pastizales en Europa. Sin embargo, al estar en contacto con especies del género *Rhinanthus*, *C. epigejos* es contenida a un porcentaje lo suficientemente bajo para no perjudicar la vegetación nativa de la región. Esto confirma que las plantas parásitas pueden ser especies clave (Watson, 2009).

### **1.3. Muérdagos**

Los muérdagos son un grupo altamente diverso que encontramos dentro de las plantas parásitas. Clasificados como hemiparásitos aéreos, los muérdagos persisten en el mismo hospedero por largos periodos de tiempo, durante varias generaciones, a través de dispersión de semillas, que provocan mayor disposición de semillas en otras especies hospederas, aumentando así las tasas de infección. Suelen parasitar los tallos de árboles y arbustos por medio de un haustorio que se desarrolla a partir de la raíz de la semilla (Buen y Ornelas, 1999; Mellado y Zamora, 2017).

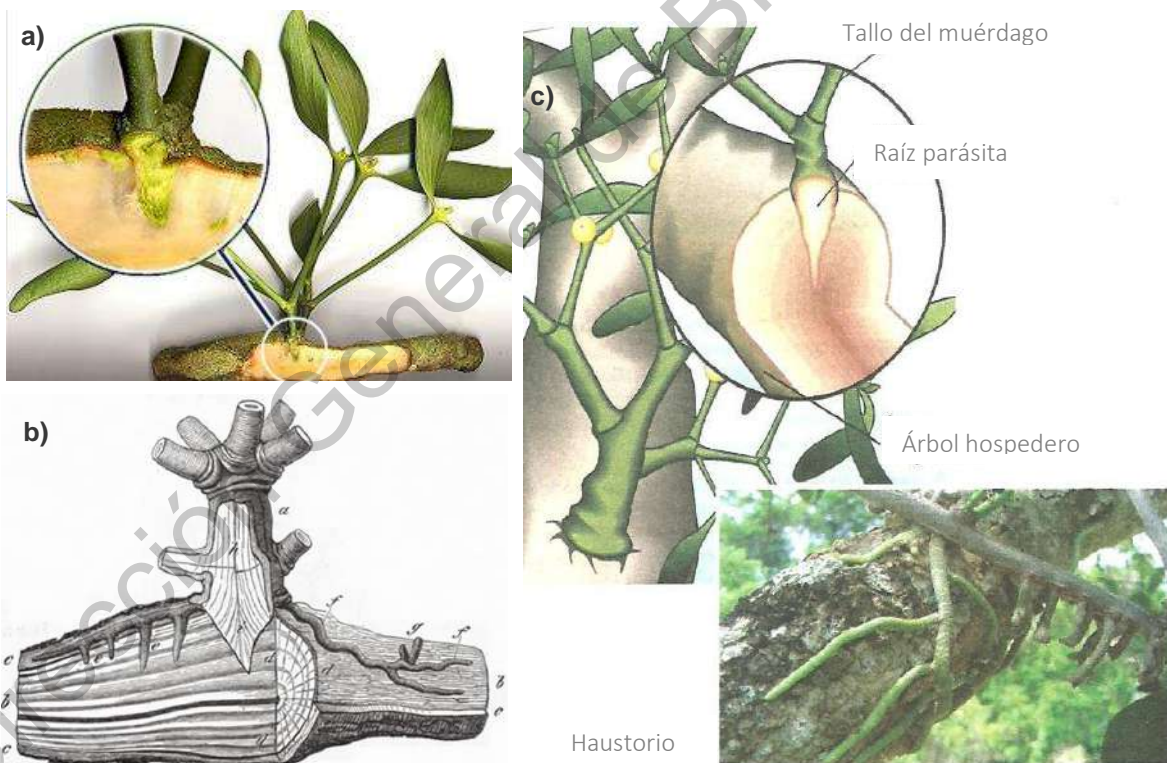
La distribución y conocimiento de los muérdagos es bastante notoria en gran parte del mundo, con mayor distribución sobre el continente europeo, así como al norte de América. Debido a su extensa distribución y amplio rango de hospederos, los muérdagos son protagonistas de varios estudios relacionados a sus interacciones parásito-hospedero-vector, además de brindar comida, forraje y recursos para la elaboración de nidos, para diferentes especies, como las aves, mamíferos e insectos (Díaz Infante *et al.*, 2016; Nickrent *et al.*, 2008; Rodríguez-Mendieta *et al.*, 2018).

A pesar de clasificarse como plantas parásitas, se ha sugerido que los muérdagos pueden ser especie clave como fuente de recursos para las comunidades de flora y fauna, además de que añaden cierta complejidad a la estructura de la comunidad. Esto se debe a que existen registros de una correlación positiva entre la abundancia y diversidad de especies animales con la abundancia



e impacto del muérdago. (Aukema, 2003; Díaz Infante *et al.*, 2016; Nickrent *et al.*, 2008; Rodríguez-Mendieta *et al.*, 2018).

Al ser plantas parásitas, los muérdagos poseen un haustorio para poder invadir al hospedero. Este proceso de infección es bastante admirable. Poco después de germinar, las semillas forman un hipocótilo, que se va alargando hasta formar un zarcillo que va adhiriéndose a la rama del hospedero. Posteriormente, el haustorio, en su etapa temprana de zarcillo, empieza a penetrar la epidermis y/o corteza del hospedero hasta que logra hacer contacto con el xilema y/o con el floema. Una vez que el muérdago ha entrado en su totalidad en el tejido del hospedero, se desarrolla por completo el haustorio para dar lugar a los nuevos brotes (figura 2). Es importante mencionar que el proceso de infección es totalmente mecánico, por lo que no se tiene evidencia hasta el momento de que realice alguna descomposición química del tejido en el hospedero (Nickrent *et al.*, 2008).



**Figura 2.** Mecanismo de acción del haustorio de los muérdagos sobre la especie hospedera. **a)** Corte de una sección donde se expone la entrada del haustorio al tallo del hospedero; **b)** Dibujo de un corte de haustorio penetrando el tallo del hospedero, invadiendo el sistema vascular; **c)** Esquema de un corte del haustorio penetrando al árbol hospedero. Fotos: Wikimedia commons.



Los muérdagos pueden influir en la composición y estructura de una comunidad a través de varias vías de facilitación. La muerte de árboles maduros, libera espacio para el crecimiento de las especies hospederas más jóvenes, así como para otras especies de plantas. Además, aumentan los niveles de nutrientes del suelo debajo del dosel del hospedero. Del mismo modo, al compartir a las especies encargadas de la dispersión de semillas con los hospederos, aumentan sus niveles de disposición de semillas, elevando los espacios de concentración de semillas y reclutamiento de plántulas. Esto último, junto con los suelos ricos en nutrientes, implica que los muérdagos dejan una huella duradera en la estructura y función dentro de la comunidad, perdurando en el futuro (Mellado y Zamora, 2017).

Es un grupo taxonómico muy diverso, se encuentran clasificados en cinco familias: Loranthaceae, Viscaceae, Misondendraceae, Eremolepidaceae, y Santalaceae. En lo que corresponde a México, encontramos con gran frecuencia a los géneros *Phoradendron* Nutt. y, *Arceuthobium*, mejor conocido como el muérdago enano (Viscaceae), y *Psittacanthus* Mart (Loranthaceae) (Gómez-Sánchez y Sánchez-Fuentes, 2011; Queijeiro-Bolaños *et al.*, 2011).

#### **1.4. Polinización y dispersión**

La viscina es uno de los caracteres que más destacan en los muérdagos debido a que complementa los mecanismos de dispersión. La viscina, también conocida como “pegamento para pájaros”, es un mucílago de textura pegajosa que cubre toda la semilla, dándole la capacidad de adherirse a las ramas después de haber sido depositadas por digestión, regurgitación o arrastre. Una vez posicionada sobre alguna rama del hospedero y con las condiciones adecuadas, la semilla germina y el haustorio comienza a desarrollarse hasta que logra adherirse firmemente (figura 3) (Aukema, 2003; Nickrent *et al.*, 2008).

Los agentes bióticos, como aves e insectos y el viento son de los principales factores responsables de la polinización de los muérdagos. Al establecer la relación parásito-hospedero, y favoreciéndose de los nutrientes del hospedero, el parásito tiene la capacidad de producir flores de mejor calidad; es decir, más grandes, más

llamativas, e incluso con néctar (recompensa) más rico en azúcares, que atraerá a un mayor número de especies polinizadoras. Diversos estudios han demostrado que las flores, frutos y forraje de los muérdagos benefician aproximadamente a 66 familias de aves, 30 familias de mamíferos e incluso una de peces, además de una gran diversidad de insectos (Nickrent *et al.*, 2008; Press y Phoenix, 2005).



**Figura 3.** Etapas de desarrollo del muérdago. **a)** Adhesión de la semilla a la rama de la especie hospedera, **b)** Germinación y desarrollo del muérdago, **c)** Desarrollo de distintos individuos de muérdago sobre el hospedero. Fotos: A. Ledesma

Al ser capaces de desplazarse largas distancias, se ha sugerido que las aves son clave como dispersoras; incluso en algunas especies actúa como dispersor y polinizador. De este modo los mecanismos de polinización y dispersión que involucren a las aves han evolucionado sobre ciertas especies de muérdagos. Se puede ver, por ejemplo, al momento en el que un ave llega a la flor, provocando que las corolas fusionadas se separen con el fin de que alcancen el néctar. Cuando el ave se acerca lo suficiente para tener acceso al néctar, el polen se esparce sobre su cabeza. La ruta que tome el ave al finalizar la visita permite la polinización del muérdago (Aukema, 2003; Nickrent *et al.*, 2008; Press y Phoenix, 2005).

En México uno de los principales polinizadores son los colibríes, teniendo una gran preferencia hacia flores largas de color rojo y amarillas; además, los murciélagos y una gran diversidad de insectos también visitan las flores (figura 4).

Alrededor de 90 especies de aves son dispersores de los frutos de los muérdagos, destacando *Mimus polyglottos* (cenzontle norteño), *Icterus parisorum* (bolsero tunero) y *Phainopepla nitens* (capulinerero negro) (Arce- Ácosta et al., 2016; Nickrent et al., 2008).



Figura 4. Visitantes potenciales de los muérdagos que facilitan su polinización y dispersión. Fotos: Carlos Soberanes (INECOL)

### 1.5. *Psittacanthus calyculatus*

Las especies que comprenden la familia Loranthaceae son conocidas como muérdagos verdaderos. *Psittacanthus* es uno de los géneros más diversos en Latinoamérica; este género corresponde a una planta hemiparásita, que crecen sobre gimnospermas y angiospermas. Se encuentra distribuida a lo largo de los Neotrópicos; desde Baja California, a través de Mesoamérica, hasta Bolivia y norte de Argentina, incluso con una pequeña población en las islas caribeñas. De un color verde-amarillo, hasta un tono naranja-rojo brillante, y dispuestas en forma tubular, las flores de *Psittacanthus* son uno de los rasgos más característicos de estas plantas hemiparásitas, y ningún otro género de Loranthaceae tiene su variabilidad estructural relacionada con la polinización. Las flores tan llamativas que tiene este género atraen a un gran número de visitantes de diversas especies y tamaños, incluyendo a las abejas, mariposas, murciélagos, colibríes, aves y loros. Además, poseen grandes conexiones haustoriales con sus hospederos, y sus frutos dispuestos en forma de baya son de gran tamaño, con un color naranja-rosado al ser inmaduros, a un color azul oscuro en su estado maduro. Hasta el momento se

reconocen 11 especies para México, dentro de los cuales nos enfocaremos en *Psittacanthus calyculatus* (figura 5) (Díaz Infante *et al.*, 2016; Gómez-Sánchez y Sánchez-Fuentes, 2011; Ramírez y Ornelas, 2009; Rodríguez-Mendieta *et al.*, 2018).



Ilustración 5. Flores y frutos del muérdago *Psittacanthus calyculatus*. Fotos: A. Ledesma.

*Psittacanthus calyculatus* es una especie de naturaleza epífita y parásita. Es considerada una de las especies que tienen mayor número de leguminosas como hospederos, así como también tienen una gran distribución e importancia ecológica. Algunos de sus hospederos más frecuentes son árboles de los géneros *Acacia*, *Prosopis*, *Salix*, *Prunus*, entre otros. Tiene una amplia distribución sobre varios climas, tipos de vegetación y en múltiples hospederos. Suele encontrarse en bosques tropicales caducifolios, bosques templados y matorrales; también sobre laderas, terrenos llanos, bordes de los caminos, canales de riego y áreas perturbadas. De esta manera es que podemos localizarla en gran parte del territorio mexicano; desde el norte sobre Tamaulipas, Sonora y Sinaloa; pasando por los estados de Puebla, Querétaro, México, Jalisco, Guanajuato, Nayarit, Oaxaca, Tlaxcala; hasta terminar al sur de México, sobre Veracruz, Guerrero, Quintana Roo y Yucatán. En consecuencia, se ha sugerido que *P. calyculatus* sufre una fuerte influencia de las actividades humanas, así como que es un indicador de disturbios en un ecosistema (Arce-Ácosta *et al.*, 2016; CONABIO, 2018; Díaz Infante *et al.*, 2016; Geils *et al.*, 2002; Kuijt, 2009; Rodríguez-Mendieta *et al.*, 2018).

El ciclo de vida de *Psittacanthus calyculatus* es largo y tiene variaciones frente a diferentes condiciones climáticas. De manera general, consiste en un ciclo de 5 años aproximadamente; de los cuales 3 son de crecimientos vegetativo, 16 meses en fructificación y 7 meses en floración; donde las flores duran alrededor de 6 días, con una dehiscencia que ocurre durante las primeras 24 horas. Su floración coincide con la temporada de lluvias de verano, desde finales de junio a septiembre. En cuanto a su dispersión y polinización, *P. calyculatus* es zoocora, teniendo a las aves como sus principales vectores para llevar a cabo esta tarea; de acuerdo con diversos estudios, los colibríes son sus visitantes más frecuentes (L. L. d. Buen & Ornelas, 2002). En cuanto a la dispersión, las semillas que llegue a ingerir el ave, pasan a través del tubo digestivo sin perder su viabilidad, para que, mientras el ave se posa en los árboles hospederos puedan depositar la semilla, y posteriormente adherirse a la rama con ayuda de la viscina (Díaz Infante *et al.*, 2016; Vázquez Collazo *et al.*, 2006).

Al ser una especie favorecida por los disturbios y perturbaciones, que además puede contar con un número considerable de poblaciones, conocer su potencial reproductivo es un estudio que aporta conocimientos necesarios en cuanto a su biología reproductiva y dinámica poblacional. El potencial reproductivo indica la capacidad que tiene una población para producir descendencia viable y contribuir al crecimiento poblacional (Solís-Márquez *et al.*, 2018). Se estima mediante la producción de flores, frutos y semillas de la especie a observar, además de considerar ciertas condiciones físicas y biológicas que permitan que el ciclo de vida continúe, finalizando en la viabilidad y germinación de las semillas. En el caso de las plantas parásitas, las diferencias fenotípicas que presentan las especies hospederas traen como consecuencia un comportamiento distinto para el desarrollo y crecimiento de éstas, incluso afectando sus estructuras reproductivas (cantidad y calidad de polen disponible para los polinizadores, la disposición de las flores, tamaño de los frutos y semillas). En recientes estudios se ha demostrado que los rasgos asociados con el esfuerzo reproductivo en los muérdagos varían al crecer en diferentes especies hospederas e incluso en distintos lugares; sin embargo, si



son capaces de adaptarse correctamente, pueden mantener los mismos valores de éxito reproductivo (Lara *et al.*, 2021).

En México, la información de *Psittacanthus calyculatus* es muy limitada en cuanto a su biología floral y su reproducción debido a que han sido muy pocas las poblaciones que se han estudiado. Debido a esto, se requieren hacer estudios respecto a la relación muérdago-hospedero, así como de la producción de flores y semillas. Con la intención de ampliar la información que existe actualmente, el presente estudio se desarrolló en el estado de Querétaro, en el Parque Nacional El Cimatario (PANEC), un área natural protegida que hasta la fecha es considerada como el pulmón de la ciudad. El PANEC comprende un alto porcentaje de vegetación nativa; es decir, conserva especies que se encuentran de manera natural en una zona. De este modo, presenta zonas con disturbios debido a previas actividades del hombre (pastoreo, agricultura o tala de árboles). En consecuencia, el PANEC tiene una amplia gama de vegetación que representan ambos escenarios: uno natural y otro perturbado. Este panorama brinda una buena oportunidad realizar un estudio de *P. calyculatus* en el PANEC, y así conocer más de su comportamiento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el potencial reproductivo de *Psittacanthus calyculatus* sobre dos hospederos distintos (*Eysenhardtia polystachya* y *Acacia schaffneri*) dentro del Parque Nacional “El Cimatario”, en el estado de Querétaro.

### **2.2. Objetivos particulares**

- Determinar el número de flores, frutos y semillas producidos por los muérdagos en cada especie hospedera.
- Determinar el número de muérdagos establecidos en cada especie hospedera.

- Relacionar el potencial reproductivo (producción de flores, frutos y semillas), así como el número de muérdagos por hospedero, con las características alométricas del muérdago y su hospedero.

### 3. HIPÓTESIS

El potencial reproductivo de *Psittacanthus calyculatus* está definido por las características alométricas de la especie hospedera. Mientras mayor sea la copa del árbol hospedero, mayor será el número de individuos de *P. calyculatus*, lo que incrementa su potencial reproductivo mediante la alta producción de flores y frutos.

### 4. METODOLOGÍA

#### 4.1. Área de estudio

*Ubicación.* El Parque Nacional El Cimatario (PANEC) se encuentra al sur de la ciudad de Santiago de Querétaro, a los 20°32' de latitud norte y los 100° 22' de longitud oeste, distribuida en fracciones de los municipios de Querétaro, Corregidora y Huimilpan (figura 6). Declarada Área Natural Protegida en 1982, el parque comprende de 2,447.84 hectáreas, con una altura máxima de 2,390 m.s.n.m.; además, abarca una zona plana hacia el este y una pendiente pronunciada que forma una cañada hacia el oeste (Baltazar *et al.*, 2004).

El PANEC está ubicado en la provincia del Eje Neovolcánico, en la subprovincia de las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. El parque está compuesto en su mayoría por rocas ígneas extrusivas del tipo basalto-brecha volcánica básicas de la era Cenozoica. Su tipo de suelo es de litosol con feozem, con tendencia a vertisol pélico de textura fina a los alrededores (Baltazar *et al.*, 2004).

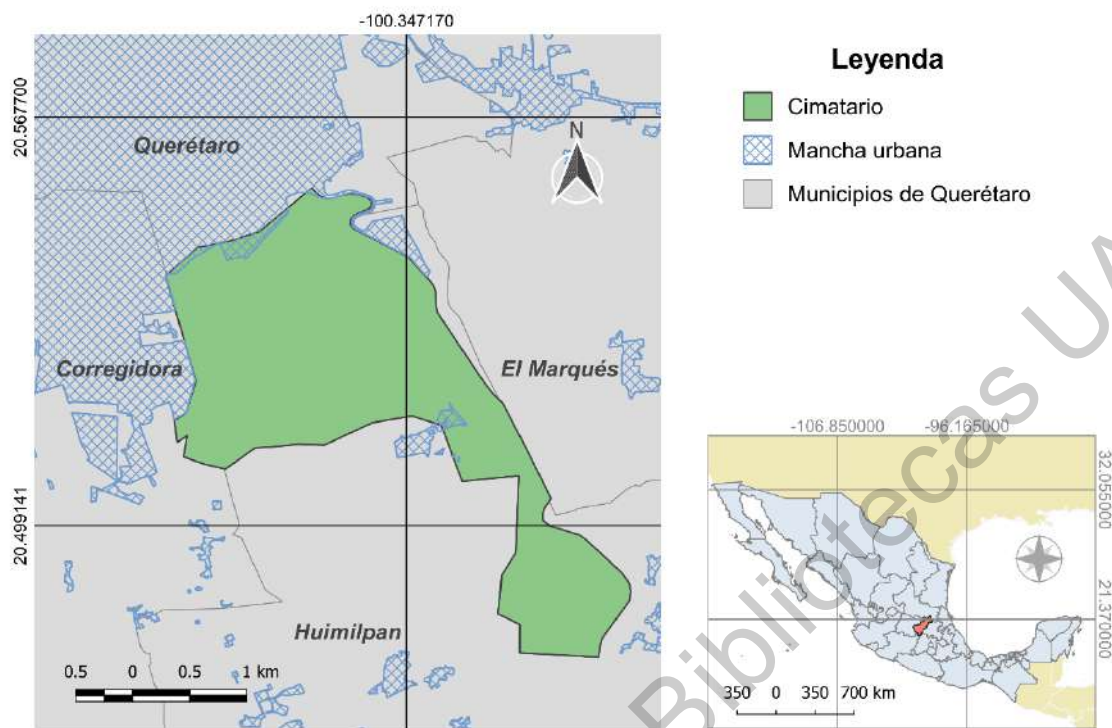


Figura 6. Ubicación geográfica del PANEC, en el estado de Querétaro (CONANP, 2021).

**Clima.** Dentro de las características del parque, predomina el clima semiseco templado (BS1k), con lluvias en el verano. Su precipitación promedio anual es de 549.3 mm, presentándose entre junio y septiembre. La temperatura media anual va entre los 18 y 19°C, teniendo una máxima de 22°C (Baltazar *et al.*, 2004).

**Vegetación.** En cuanto a la vegetación del PANEC, existe un área con una cubierta vegetal nativa heterogénea, que representa a las zonas semiáridas de la entidad. De acuerdo con Rzedowski (1978), el área de éste se ubica en la provincia Florística de la Altiplanicie perteneciente a la Región Xerófitica Mexicana, donde los climas con semisecos (BS) y la vegetación dominante es el matorral xerófilo, donde encontramos pastizales y bosques espinosos. En la zona del PANEC, se desarrollan cuatro tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio, matorral crasicaule y pastizal. Los dos primeros son vegetación natural de la zona; sin embargo, el pastizal es consecuencia de eventos de



disturbio, inducidos principalmente por actividades de pastoreo, o incluso por la extracción de leña y reforestaciones (figura 7) (Baltazar *et al.*, 2004).

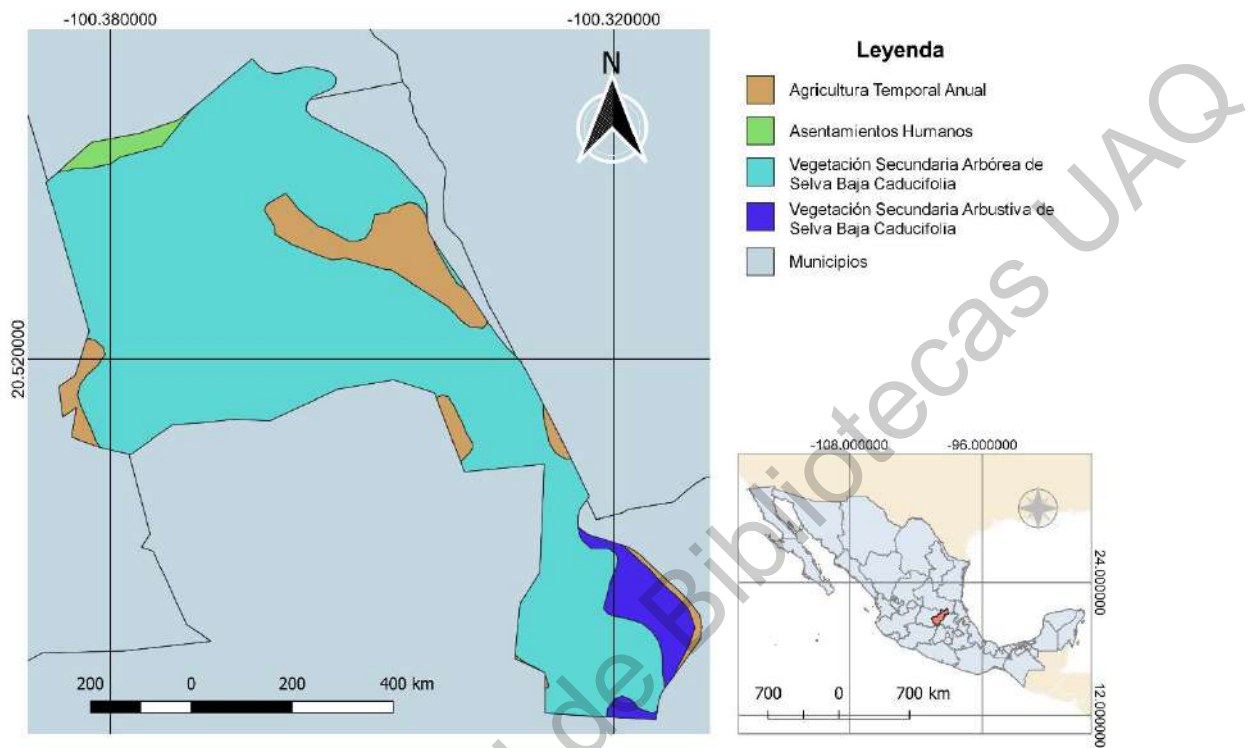


Figura 7. Mapa de los tipos de vegetación dentro del PANEC, en el estado de Querétaro (INEGI, 2016).

#### 4.2. Especies de estudio

*Psittacanthus calyculatus*. Perteneciente a la familia Loranthaceae (Santalales), es una planta parásita, comúnmente llamado muérdago. Originaria de México y de Mesoamérica. Son arbustos perennes, verdes y herbáceos al principio, pero con el tiempo se vuelven leñosos. Su tamaño varía entre 1 a 1.5 m de altura. Su tallo es verde y muy ramificado; cuadrangular o angulado al ser más joven, volviéndose más cilíndrico. Sus hojas son de color verde y están dispuestas de forma opuestas, teniendo un tamaño de 5 a 14 cm de largo con 1.4 a 6 cm de ancho aproximadamente. Son coriáceas, de lanceoladas a elípticas y ovaladas, y lisas; sus láminas son asimétricas, con margen undulado, cuenta con un ápice largo y redondeado en la punta, su venación es pinnada y prominente. Las inflorescencias son terminales, con flores rojas o naranja muy llamativas, formado por triadas con un tamaño entre 3 a 5 cm de largo y un

perianto tubular de 6 lóbulos y estambres, con un ovario ínfero. Las brácteas se encuentran fusionadas para formar una pequeña cúpula (cáliz). Dan como fruto una baya jugosa, de forma elíptica, de tono negro cuando está madura, midiendo hasta 2.5 cm de largo (figura 8a, 8b, 8c). La encontramos ampliamente distribuida en los estados de Guanajuato, Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán (CONABIO, 2018).

*Acacia schaffneri*. Comúnmente llamada “huizache chino” (Fabaceae), es una planta arbustiva de entre 1.5 a 6 m. de altura, tiene hojas compuestas con 4 o hasta 6 pares de pinnas; a lo largo de sus ramas cuentan con espinas que miden de 1 a 4 cm. de largo, con foliolos de 12 a 20 pares por cada pinna. Las inflorescencias son de color amarillo, en forma de pompón muy característica del género; a su vez, el fruto se encuentra dispuesto en forma de vaina ligeramente curvada, de tonos café-rojizo (figura 8d, 8e, 8f). Es de los ejemplares más frecuentes en climas cálidos y secos, predominando en matorrales xerófilo, zacatales y matorrales crasicuales junto con *Opuntia*, *Yucca*, *Eysenhardtia*, *Senna* y *Prosopis*; así como también está presente en áreas de cultivo. Tiene una distribución estrecha que va desde Baja California, Sonora, Chihuahua y Durango, llegando a Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila, pasando por San Luis Potosí, Ciudad de México, Puebla, Querétaro, Hidalgo, Guanajuato, Michoacán, Guerrero, llegando hasta el estado de Oaxaca (Cortés, 2013).

*Eysenhardtia polystachya*. También conocido como “palo dulce”, *E. polystachya* forma parte de la familia Fabaceae. Es un arbusto caducifolio de 2 a 8 m. de altura, con un diámetro de 3 a 10 cm. Tienen hojas pinnadas, alternas,



**Figura 8.** Especies de estudio que conforman el trabajo de investigación. Cada columna corresponde a una especie: **a)** *Psittacanthus calyculatus*, **d)** *Acacia schaffneri*, y **g)** *Eysenhardtia polystachya*. Para las filas, en cada una se observan su estructura en general, las flores y los frutos en la última. **b)** y **c)** son las flores y frutos de *P. calyculatus*, **e)** y **f)** muestran las flores y frutos de *A. schaffneri*, **h)** e **i)** corresponden a las flores y frutos de *E. polystachya*. Fotos: Naturalista.

de 3 a 5 cm. de largo, además de contar con glándulas resinosas aromáticas. Sus inflorescencias están dispuestas en racimos espigados terminales de 5 a 7 cm. de largo, su cáliz está en forma de campana, con una corola color blanca, formada por 5 pétalos libres, de forma oblonga. Su fruto consta de una vaina de color café, ligeramente curvada, de un largo de 7 a 9.5 mm. Al ser leguminosa, su raíz contiene nódulos fijadores de nitrógeno, que se encuentran en función desde los 30 días de su establecimiento. Es una especie nativa ampliamente distribuida en México, predomina en climas cálidos, semicálidos, semiseco y templado, asociada a selva baja caducifolia, en matorral xerófilo, bosque espinoso, mesófilo de montaña, de encino y de pino, aunque también es cultivada en huertos. Se encuentra en una

variedad de suelos, desde arcillosos pedregosos, somero de roca caliza hasta litosol derivados de basalto (figura 8g, 8h, 8i). De este modo, existen registros de *E. polystachya* en los estados de Colima, Chihuahua, Coahuila, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas. Tiene importancia ecológica debido a que es una especie que tiene la capacidad de aportar mucha materia orgánica al suelo, por lo que se puede establecer en lugares perturbados y recuperar terrenos degradados (Birrueta Lucatero, 2012).

### 4.3. Muestreo

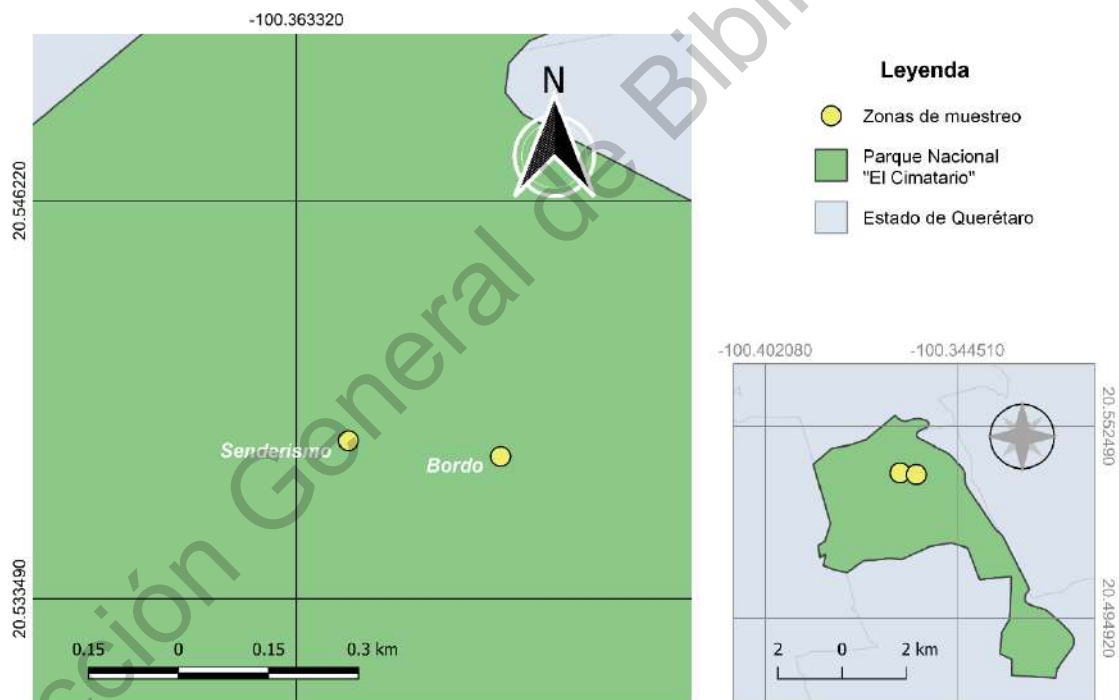


Figura 9. Zonas de muestreo dentro del PANEC. Zona “Bordo” corresponde a la población de *Eysenhardtia polystachya*; mientras que en “Senderismo” se encuentra *Acacia schaffneri* (CONANP, 2021).

Durante los meses de enero-marzo (2019), se seleccionaron dos zonas con gran prevalencia de *Psittacanthus calyculatus* dentro del PANEC, donde predominaban las poblaciones de *Acacia schaffneri* y *Eysenhardtia polystachya*;



dos de los principales hospederos del muérdago. Cada una de las zonas seleccionadas fueron localizadas en distintos puntos dentro del PANEC (figura 9). La zona “Bordo” corresponde a la población de *E. polystachya*. Esta área, que suele llenarse de agua en temporadas de lluvias, comprende de una vegetación poco densa, representada principalmente por *E. polystachya*, además de tener una fuerte influencia del pastoreo y otras actividades humanas. Mientras que, “Senderismo” corresponde a la población de *A. schaffneri*; una zona con mayor cobertura de vegetación nativa y menos influencia de pastoreo.



**Figura 10.** Colecta de individuos de *Psittacanthus calyculatus* en *Acacia schaffneri* y en *Eysenhardtia polystachya*. Fotos: A. Ledesma.

En cada una de las zonas definidas previamente, fueron elegidos 10 individuos de cada especie hospedera, y posteriormente, se realizaron las mediciones que se describen a continuación. Se registró la copa de cada individuo (largo x ancho), además de contar el número de muérdagos presentes. Del mismo modo, se midió el área de cada muérdago registrado (largo x ancho), y se contó el número de flores y de frutos. Para el caso de *P. calyculatus*, por cada flor que produce el muérdago, se obtiene un fruto, y en consecuencia una semilla. Finalmente, fueron recolectados de manera aleatoria las hojas y los frutos de cada muérdago, para después registrar sus características generales (figura 10). En el caso de las hojas, se calculó el área mediante su medición (largo x ancho); y para cada uno de los frutos, también fueron medidos para calcular sus tamaños (largo x ancho), y se pesaron mediante una balanza

analítica; al ser los frutos muy pequeños, fueron pesados en grupos de 10 individuos, con lo que se estimó el peso por promedio por fruto.

#### 4.4. Análisis estadístico

Para comparar el número de individuos de *Psittacanthus calyculatus* y su tamaño (área) en *Acacia schaffneri* y *Eysenhardtia polystachya* se realizaron pruebas *t* de Welch (int. de confianza: 95% y con significancia estadística  $p < 0.05$ ). Debido al comportamiento no uniforme de los datos obtenidos, la *t* de Welch es una prueba estadística que ofrece una mejor precisión en comparación con la *t* de Student, una prueba que trabaja con un número de datos iguales de igual comportamiento.

Además, para conocer si existen diferencias entre las características reproductivas de *P. calyculatus* en *A. schaffneri* y *E. polystachya* se hizo una prueba de *t* de Welch (int. de confianza del 95% y con significancia estadística  $p < 0.05$ ), por la misma razón antes explicada. Las variables de respuesta establecidas fueron: (i) número de frutos, (ii) área de los frutos, (iii) peso de los frutos, (iv) tamaño de las flores, y (v) tamaño de las hojas; relacionadas con las especies hospederas.

También se hizo una prueba de Pearson (int. de confianza: 95%, a doble cola) para determinar las correlaciones entre las características generales de *P. calyculatus* en relación con la cobertura de *A. schaffneri* y *E. polystachya*. Las variables definidas en este análisis fueron: (i) número de muérdagos por individuo, (ii) tamaño de muérdago, (iii) número de frutos, (iv) tamaño de flores, y (v) tamaño de hojas. Todas estas pruebas estadísticas se llevaron a cabo mediante el programa GraphPad Prism v7.00 y SPSS.

Por último, se estimó la probabilidad de producción de frutos de *Psittacanthus calyculatus*, como una medida del potencial reproductivo, en las dos especies hospederas, mediante la aplicación de un modelo logístico del muérdago en

relación con diferentes variables, incluyendo (i) número de muérdagos por individuo hospedero, (ii) copa del árbol hospedero, y (iii) área de los frutos. Para obtener este modelo se usó el programa estadístico RStudio v .1.4.1106.

## 5. RESULTADOS

*Comparación de características de Psittacanthus calyculatus en dos hospederos distintos.* Se registraron en total 20 individuos hospederos del muérdago *Psittacanthus calyculatus* dentro del PANEC; para Bordo se registraron 10 individuos de *Eysenhardtia polystachya*, y para Senderismo se escogieron 10 individuos de *Acacia schaffneri*.

**Tabla 1.** Valores correspondientes al análisis estadístico *t* de Welch del número de muérdagos, frutos, flores y hojas de *Psittacanthus calyculatus* en dos hospederos distintos: *Acacia schaffneri* y *Eysenhardtia polystachya*. En negritas se señalan las diferencias significativas.

Variables x Hospederos	<i>t</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>p</i>
<b>Muérdagos</b>			
Número de muérdagos	0.4748	0.0423	0.6547
Tamaño de los muérdagos (m)	5.16	0.3709	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Frutos</b>			
Número de frutos	2.782	0.3264	<b>0.0134</b>
Área de frutos (mm)	16.58	0.4501	<b>&lt;0.0001</b>
Peso de frutos (g)	22.32	0.5908	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Flores y hojas</b>			
Tamaño de flores (mm)	1.74	0.01642	0.0836
Tamaño de hojas (cm)	2.53	0.03688	<b>0.0123</b>

Como se observa en la Tabla 1, la comparación del número de individuos de *P. calyculatus* en ambas especies hospederas no presentó diferencias estadísticas significativas (figura 11a). Por otro lado, el tamaño del muérdago sí presentó diferencias significativas, donde los individuos de *P. calyculatus* tuvieron mayor área sobre *A. schaffneri* ( $2.351 \text{ m}^2 \pm 0.4557$ ; figura 11b).

Se encontró un comportamiento diferente para los frutos de *P. calyculatus* en ambas especies hospederas, todas marcando una diferencia significativa (Tabla1). En cuanto al número de frutos presentes en cada individuo, la población fue mayor en *A. schaffneri* (18.48 frutos/muérdago  $\pm$  6.642; figura 11c). Del mismo modo, hubo una diferencia significativa correspondiente al tamaño de los frutos, siendo superiores en *A. schaffneri* (27.93 mm<sup>2</sup>  $\pm$  1.684; figura 11e). Como consecuencia, en lo que respecta al peso de los frutos, estos fueron más grandes en el hospedero *A. schaffneri*, como lo corrobora la diferencia significativa obtenida (0.2948 g  $\pm$  0.01321; figura 11d).

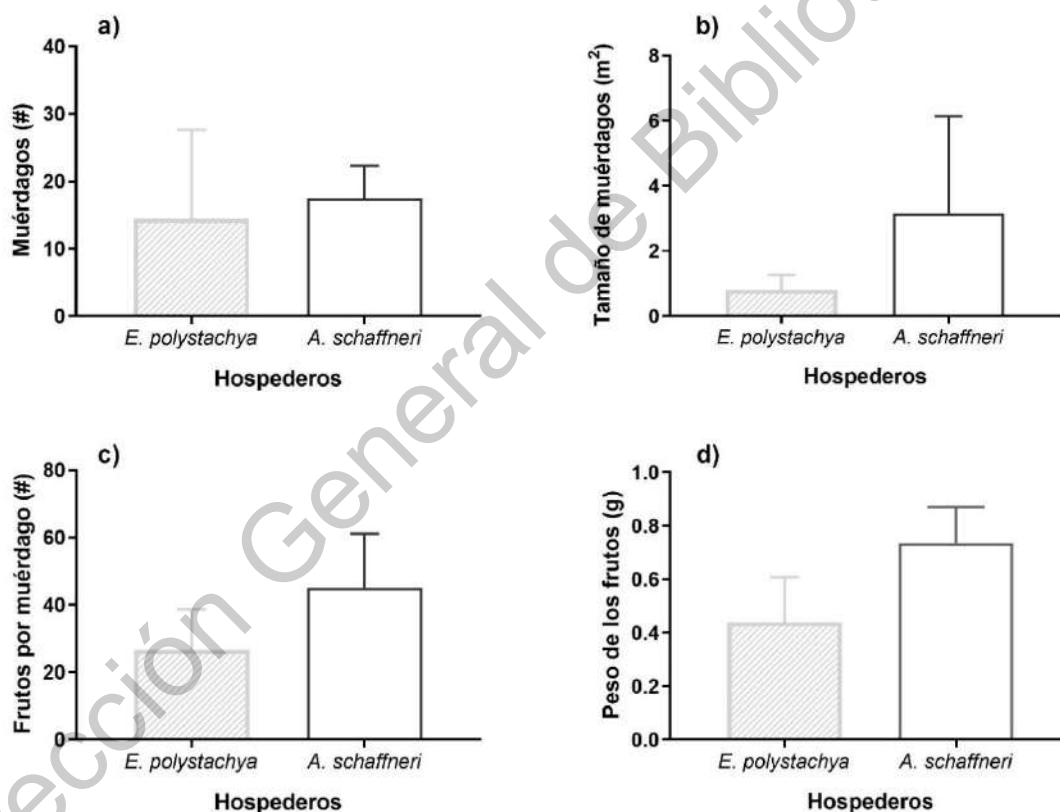
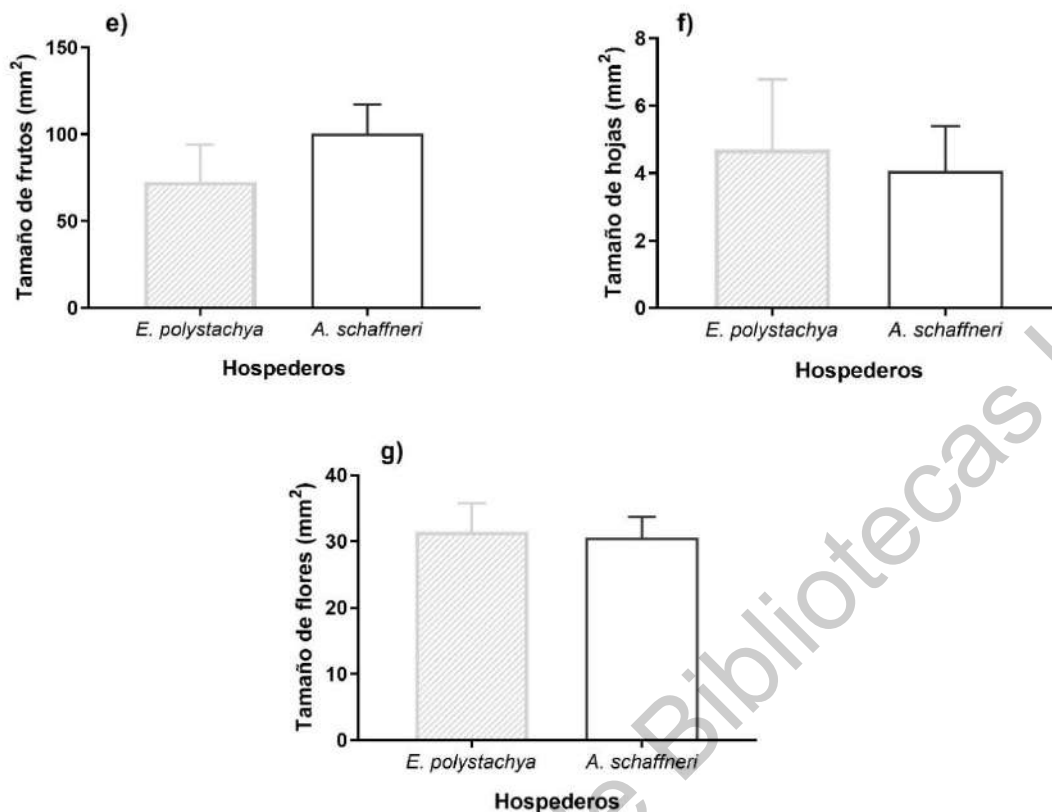


Figura 11. Comparación del desempeño de *P. calyculatus* en *E. polystachya* (barra gris claro con relleno) y en *A. schaffneri* (barra gris oscuro sin relleno). a) Total de individuos de muérdagos por hospederos; b) Tamaño de muérdagos por hospederos; c) Número de frutos por muérdago presente en hospederos; d) Promedio del peso de frutos del muérdago.





**Figura 21 (Continuación).** Comparación del desempeño de *P. calyculatus* en *E. polystachya* (barra gris claro con relleno) y en *A. schaffneri* (barra gris oscuro sin relleno). **e)** Promedio del tamaño de los frutos del muérdago; **f)** Promedio de tamaño de hojas del muérdago; **g)** Promedio del tamaño de flores del muérdago.

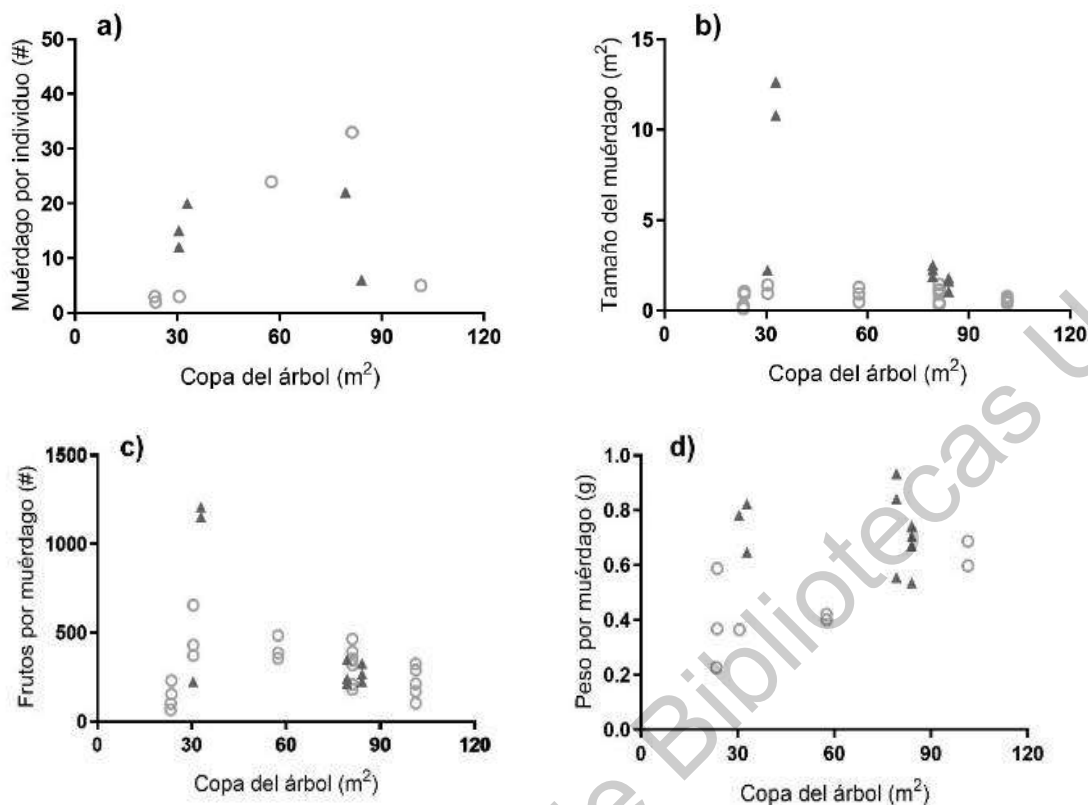
En el último apartado de la Tabla 1, la comparación del tamaño de las flores de *P. calyculatus* no reflejó una diferencia estadística significativa en ambas especies hospederas (figura 11g). Sin embargo, el tamaño de las hojas presentó una diferencia significativa en cuanto a la diferencia de las medias, con un mayor tamaño en *E. polystachya* ( $-0.6235 \text{ mm} \pm 0.2464$ ; figura 11f).

Correlaciones con las características alométricas de ambas especies hospederas. No se obtuvo una correlación significativa entre el área de la copa de *Eysenhardtia polystachya* ni de *Acacia schaffneri*; puesto que no hubo una correlación con el número de muérdagos por individuo (tabla 2; figura 12a). Por su parte, para el tamaño de *P. calyculatus* se encontró una correlación negativa significativa con el tamaño de la copa de *A. schaffneri*, pero sin una correlación existente en *E. polystachya* (figura 12b).

**Tabla 2.** Valores estadísticos de correlación Pearson de *Psittacanthus calyculatus* en dos especies hospederas: *Acacia schaffneri* y *Eysenhardtia polystachya*.

Variables	<i>Eysenhardtia polystachya</i>			<i>Acacia schaffneri</i>		
	r	R <sup>2</sup>	p	r	R <sup>2</sup>	p
No. muérdagos por individuo	0.4865	0.2367	0.3278	-0.1806	0.03261	0.7713
Tamaño de muérdago (m <sup>2</sup> )	-0.0741	0.005491	0.7368	-0.7519	0.5653	<b>0.0195</b>
No. de frutos por muérdago	0.01300	0.0001691	0.9530	-0.7044	0.4962	<b>0.03441</b>
Peso de frutos por muérdago (g)	0.7032	0.4945	<b>0.0517</b>	-0.1826	0.0333	0.6137

Respecto a los frutos de *Psittacanthus calyculatus*, hubo una correlación negativa y significativa entre el número de frutos de *P. calyculatus* y la copa de *A. schaffneri*; mientras que con *E. polystachya* no se encontró una correlación (figura 12c). Por último, se encontró una correlación positiva significativa con el peso de *P. calyculatus* y la copa de *E. polystachya*, pero sin una correlación con *A. schaffneri* (figura 12d).



**Figura 13.** Correlaciones de *P. calyculatus* sobre la copa del árbol ( $m^2$ ) de *E. polystachya* (círculos de color gris claro) y en *A. schaffneri* (triángulos color gris oscuro). **a)** Total de muérdagos por individuo sobre la copa del árbol; **b)** Tamaño del muérdago (m) sobre la copa del árbol; **c)** Frutos por muérdago sobre copa del árbol; **d)** Peso por muérdago sobre la copa del árbol.

**Potencial reproductivo.** De acuerdo con el modelo logístico (GLM), la producción de frutos de *Psittacanthus calyculatus* es afectada significativamente por el área de la copa de los hospederos (tabla 3).

**Tabla 3.** Valores estadísticos del modelo logístico (GLM) del número de frutos de *Psittacanthus calyculatus* en relación con el área de la copa ( $m^2$ ) del hospedero.

Variables	Error estándar	z	p
Copa del hospedero	0.0003594	9.806	<2e-16***

Al tomar los resultados del GLM, y sustituyéndolo en la ecuación, tenemos:

$$\text{Frutos} = b_0 (\text{intercepto}) + b_1 (\text{valor del área de la copa})$$

$$\text{Frutos} = 5.1230821 + 0.0035243 = \mathbf{5.1266064}$$

De este modo, se estimó un valor promedio de 5.12 de frutos de *Psittacanthus calyculatus* por muérdago por cada m<sup>2</sup> de copa, tanto en *Acacia schaffneri* como en *Eysenhardtia polystachya*.

## 6. DISCUSIÓN

Los estudios relacionados con el potencial reproductivo contribuyen significativamente al conocimiento de la biología reproductiva y de la dinámica poblacional de las especies; además, resultan ser importantes indicadores para la conservación y uso de recursos del ecosistema (Solís-Márquez *et al.*, 2018). Las poblaciones de muérdago pueden ser vistas como una colección de poblaciones de plantas locales que ocupan un hábitat subdividido (Lara *et al.*, 2009). El poder conocer las interacciones que tiene el muérdago *Psittacanthus calyculatus* en diferentes especies hospederas, así como los mecanismos de desarrollo y crecimiento, incluyendo la reproducción, nos brinda la información necesaria para poder elaborar planes de manejo y/o conservación para este tipo de especies que son catalogadas como parásitas, cambiando la visión y demostrando su aporte ecológico al ecosistema.

Existe una diferencia en el desempeño del muérdago *Psittacanthus calyculatus* sobre sus dos hospederos (*Eysenhardtia polystachya* y *Acacia schaffneri*) dentro del PANEC. Algunas características como el tamaño del muérdago, así como el peso, tamaño y número de frutos tuvieron un mejor desarrollo en *A. schaffneri*, lo que sugiere que este hospedero ofrece mejores recursos al muérdago que *E. polystachya*. Lo anterior, tiene un efecto sobre la distribución del muérdago en esta comunidad.

La diferencia en la presencia del número y tamaño de muérdagos de *P. calyculatus* en *E. polystachya* y en *A. schaffneri*, lo podemos relacionar directamente con la disponibilidad de nutrientes provenientes de las especies hospederas. De acuerdo con la clasificación de Rzedowski, *A. schaffneri* pertenece a las zonas de mezquiales o huizachales, en los climas áridos. Dentro de las características principales destacan su tolerancia a sequías extremas, su establecimiento sobre suelos en condiciones difíciles, además de poseer la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico (Gómez-Acevedo y Tapia-Pastrana, 2003).

La calidad de una especie hospedera es uno de los principales factores que determinan el éxito de crecimiento y desarrollo de las plantas parásitas. Las características de *A. schaffneri* provocan que brinden un mejor aporte de nutrientes, del nitrógeno en particular, frente a un amplio rango de cambios climáticos, incluso en temporadas difíciles, como las sequías (Watson, 2009), en comparación con *E. polystachya*, provocando un mejor desarrollo y altos niveles de reproducción para su dispersión.

Desde la ubicación geográfica, considerando las características del suelo, hasta el tamaño y área del hospedero, aumentarán los niveles de compatibilidad parásito-huésped, así como el potencial reproductivo de la planta parásita. Se ha encontrado que para el muérdago *Psittacanthus calyculatus* existe una relación positiva en cuanto al potencial reproductivo con la especialización del hospedero. Esto quiere decir que, el proceso de adaptación del muérdago frente a distintos hospederos fue exitoso, mejorando el desarrollo y estructuras de ésta (Lara *et al.*, 2021).

La posición topográfica de las zonas de estudio puede ser otro factor que ocasione el comportamiento de *Psittacanthus calyculatus* en ambas especies hospederas. A nivel local, se ha atribuido el patrón de infección de los muérdagos como resultado de la infección previa junto con la intensidad con la que invaden, la abundancia y diversidad de las aves, dispersoras de semillas, así como las

preferencias y comportamiento del forrajeo de los dispersoras, y las características del hospedero (Pérez-Crespo *et al.*, 2016).

Debido a la fragmentación del hábitat, las condiciones en el entorno van sufriendo modificaciones; por ejemplo, un aumento en la intensidad de la luz, la velocidad del viento y de la temperatura, provocando una disminución de la humedad y fertilidad del suelo. Estos cambios afectan de manera directa el comportamiento y frecuencia del muérdago, así como de las especies hospederas candidatas (Cuevas-Reyes *et al.*, 2017). La ubicación del sitio Bordo, donde encontramos a *Eysenhardtia polystachya*, presentaba un suelo más fragmentado y suelto, reduciendo la capacidad de retención de agua, así como el crecimiento de más plantas. Además, en Bordo se llegó a practicar con frecuencia actividades de perturbación, como el paso de ganado; por lo que tenía un menor porcentaje de vegetación. Por otro lado, el sitio Senderismo, correspondiente a *Acacia schaffneri*, no sufría un impacto de perturbación tan fuerte como Bordo, por lo que hubo una mayor presencia de flora y de fauna, éstos últimos considerados posibles visitantes de las plantas para polinizarlos y dispersarlos, teniendo un gran impacto sobre las estructuras reproductivas.

Respecto a los resultados de flores y frutos de *Psittacanthus calyculatus* en ambas especies hospederas, el mejor desempeño del muérdago en *Acacia schaffneri* se mantiene, teniendo los frutos más grandes y pesados. Las características morfológicas de *A. schaffneri*, como el área de la copa, la altura, el número de ramas, entre otras, tienen un fuerte impacto sobre la producción de frutos, aumentando la producción y calidad de éstos para elevar el número de visitantes y poder ampliar su población. Aunque no es significativa la diferencia en el tamaño de las flores entre ambas especies hospederas, también existe una ligera tendencia hacia *A. schaffneri*. Esto implica que las estructuras reproductivas tienen un gran peso sobre el individuo, ya que su objetivo será tener las mejores flores para poder atraer a sus respectivos polinizadores.

Del mismo modo en el que existe una relación entre el tamaño de las flores para atraer a sus polinizadores, el tamaño de este último tiene una alta relevancia en dinámica del potencial reproductivo. Previos estudios han señalado que para *P. calyculatus*, los colibríes son los polinizadores que llegan con mayor frecuencia y que mejor se adaptan al tamaño de la flor, aumentando el éxito de la polinización. Mientras más grande esté el colibrí, como en el caso de *Hylocharis leucotis*, *Cyananthus latirostris* y de *Eugenes fulgens*, se promueve con eficacia el transporte del polen; al estar buscando el alimento, sus cabezas tocan con mayor facilidad las anteras, colectando todo para completar el proceso de polinización (Azpeitia y Lara, 2006). Si bien en este estudio no se tomaron en consideración las visitas de los polinizadores, las variaciones en el volumen y la cantidad de azúcar que tiene el néctar son de gran importancia debido a que brinda información acerca de la calidad de la recompensa que se ofrece a los polinizadores.

La diferencia en cuanto al tamaño de las hojas de *Psittacanthus calyculatus* podría ser resultado de los rasgos de ambas especies hospederas mencionadas anteriormente. Como ya sabemos, los muérdagos, al ser plantas parásitas, su desarrollo y crecimiento lo determinan factores externos, en específico, que se encuentren en contacto directo con el hospedero. Con *Phoradendron robustissimum*, por ejemplo, el tamaño de la rama, la aglomeración de semillas y las características de la corteza del hospedero afectaron el desarrollo de plántulas y el crecimiento del muérdago (Buen y Ornelas, 2002; Watson, 2009).

Dependiendo de estas condiciones, la planta busca optimizar la forma en que responde a las señales e integrarlas con los elementos internos para maximizar su potencial reproductivo y garantizar la producción y supervivencia de la próxima generación (Bennett *et al.*, 2012). En el caso de *P. calyculatus*, podemos observar la disyuntiva del muérdago para desarrollar las estructuras vegetativas o las reproductivas. El elevado número de muérdagos y frutos en *A. schaffneri*, causaría una alta demanda de recursos por la presencia del muérdago, provocando una reducción en el tamaño de las hojas, permitiendo el crecimiento de otro individuo.

Lo contrario sucedió en *E. polystachya*, donde al haber un menor número de *P. calyculatus*, y con un área reducida, el tamaño de las hojas tuvo un crecimiento levemente mayor.

Los datos obtenidos en las correlaciones contribuyen a ampliar la información en cuando a las interacciones que tiene el muérdago *Psittacanthus calyculatus* en *Eysenhardtia polystachya* y en *Acacia schaffneri* frente a diferentes condiciones. La copa del árbol hospedero es un factor relevante que considerar en este análisis. Los individuos de *Acacia schaffneri* abarcaron una mayor área de la copa que los árboles de *Eysenhardtia polystachya*. Esto confirma la teoría de que la arquitectura de los hospederos potenciales es un rasgo importante a tener en cuenta para determinar el grado de infección que tendrá el muérdago (Pérez López, 2010). Con los resultados ya presentados, es evidente la preferencia de *Psittacanthus calyculatus* en *A. schaffneri* al tener una diferencia significativa con las características morfológicas con el propósito de poder atraer a los polinizadores y dispersores para asegurar el éxito reproductivo.

Una correlación positiva moderada o ligera entre *P. calyculatus* y *E. polystachya* refleja que conforme vaya creciendo el área del árbol, existen mayores probabilidades de que crezcan más muérdagos, e incluso que los frutos ganen más peso. Por lo tanto, mientras más grande se encuentre el árbol hospedero, el espacio para que puedan crecer otros muérdagos se ampliará. Es importante recordar que, el gasto que hacen los muérdagos debe ser menor al que hace el hospedero, razón por la cual los observamos en menor tamaño en comparación con el huésped; no solo reduciendo la probabilidad de caer del hospedero, sino que también evita la deficiencia de recursos (Glatzel y Geils, 2009).

Además, los recursos disponibles permitirán que se produzcan frutos más jugosos y con colores llamativos para los visitantes, manteniendo sus valores del potencial reproductivo. Por el contrario, entre *A. schaffneri* y *P. calyculatus* existe una correlación negativa entre el número de frutos por individuos en relación con el



área de la copa del hospedero, lo que implica que, si la copa del árbol hospedero aumentara, los recursos se verán limitados debido a la alta presencia del muérdago, obligando a los nuevos muérdagos a reducir su volumen, así como el número de frutos, e incluso el peso, para no perjudicar al resto de los individuos, pero sin modificar sus oportunidades de tener a los polinizadores y dispersores para poder completar su ciclo reproductivo.

Debido a la dependencia del hospedero por parte de las plantas parásitas, la estructura del rodal, es decir, la distribución espacial del hospedero (densidad, edad y tamaño), podría ser un factor importante que influye en la propagación vertical y horizontal, y la intensidad de la infección por muérdago debido a la dispersión limitada de semillas. Los árboles que tienen mayor cobertura en cuanto a su copa representan una mejor fuente de frutos y de semillas, ya que facilita el área de dispersión junto con la incidencia de la luz en los brotes del muérdago, manteniendo las poblaciones más grandes de muérdago (Queijeiro-Bolaños *et al.*, 2017). Esto se puede apreciar en las comparaciones de *Psittacanthus calyculatus* con ambas especies hospederas. El número bajo de individuos, y el tamaño de frutos corresponde a las características de los árboles de *Eysenhardtia polystachya*; que, en su mayoría, no presentaban gran follaje ni área de copa para que el muérdago aprovechara los nutrientes suficientes. Además, se encontraban a largas distancias entre ellos, lo que dificulta el proceso de colonización, reduciendo notablemente la presencia del muérdago en esta especie hospedera.

Las aproximaciones o predicciones son otra forma de análisis que ayuda a ampliar la información en cuanto al potencial reproductivo del muérdago *Psittacanthus calyculatus*. En este trabajo, el modelo logístico determinó el valor mínimo de frutos y semillas que puede generar *P. calyculatus* independientemente de la especie hospedera. De acuerdo con el cálculo, por cada individuo de *Psittacanthus calyculatus*, se producirá por lo menos 5 frutos, y en consecuencia tendrá 5 semillas, independientemente de la especie hospedera

Diversas circunstancias podrían tener una fuerte influencia sobre el muérdago, provocando que disminuya o incremente la producción de los frutos y semillas, al igual que su calidad. Se tiene registro que, aspectos como la arquitectura del árbol, la densidad del dosel, los mecanismos de defensa y la compatibilidad de un hospedero con el muérdago; así como las condiciones ambientales del lugar, establecen las estructuras reproductivas de *P. calyculatus*; como el color y longitud de las flores, la cantidad y calidad del néctar disponible para los polinizadores, y por último, la producción y tamaño de los frutos (Lara *et al.*, 2021).

De acuerdo con lo obtenido en este estudio, la ubicación de las especies hospederas juegan un papel muy importante para determinar la calidad del árbol. Hasta ahora, se ha determinado que el establecimiento y reproducción de los muérdagos hemiparásitos, está mediado por la capacidad que tiene para aventajar el sistema de defensa del hospedero, poder extraer los recursos y, en última instancia, generar su descendencia aumentando su población (Lara *et al.*, 2021).

Al ser *P. calyculatus* una planta parásita que depende por completo de las aves como vectores para la dispersión de la semilla, los patrones de presencia de las plantas hospederas reflejan el uso del hábitat, la selección de microhábitat y el uso de los sustratos (Aukema, 2002; Watson, 2009). Lo podemos ver reflejado en el tamaño de las ramas de las especies hospederas, considerándolo un factor significativo en términos de eficacia de dispersión; es decir, les facilita la acción de perchar y los sitios de defecación o para regurgitar. Además, se ha confirmado que la preferencia de las aves para dispersar las semillas es mayor en aquellos muérdagos que tienen árboles gran tamaño y altura como hospederos.

El comportamiento por parte de las aves en cuanto a la ingesta del fruto y sus preferencias para perchar son clave para definir la dispersión de una planta parásita, en este caso, del muérdago *Psittacanthus calyculatus*. Diversos estudios han demostrado que las inclinaciones que tienen las aves para perchar y la toma de decisión para alimentarse pueden ocasionar un patrón que concentre a las semillas

del muérdago en los árboles más abundantes (Pérez-Crespo *et al.*, 2016). Esto puede explicar la población tan elevada de *P. calyculatus* en *Acacia schaffneri*. En el PANEC, el sitio Sendero es la zona donde encontramos un mayor contenido de la flora, por lo que el número de individuos de *A. schaffneri* es aún más grande de los que seleccionamos para este estudio. Al contrario, la población de *Eysenhardtia polystachya*, además de estar limitadas sobre cierta zona, no eran tan abundantes para que el muérdago lograra establecerse y aumentar su éxito reproductivo.

El desplazamiento de los frutos no siempre significa que la dispersión tenga éxito. Es importante recordar que, aunque los frutos estén maduros y sean transportados por las aves, las semillas extraídas no necesariamente llegarán al hospedero adecuado para anclarse y germinar (Buen y Ornelas, 2002). Del mismo modo, considerando la hipótesis de la especialización del hospedero descrita por Norton (1998) establece que los muérdagos infectarán a la especie más abundante en una comunidad debido a sus altos niveles de interacción. Con esto, se espera que la especie hospedera más abundante sea la más infectada; sin embargo, la adaptación puede ser distinta ya que existen distintas variables en los patrones como el forraje y la ingesta de las semillas vectores de dispersión (Pérez-Crespo *et al.*, 2016).

Considerando lo anterior, los patrones de distribución de *Psittacanthus calyculatus* dentro del PANEC difieren entre ambas especies hospederas. Para *Eysenhardtia polystachya* en el sitio Bordo, entre cada individuo existe una distancia considerablemente amplia, lo que provocó un cambio en la presencia de *P. calyculatus*. Al contrario, en Sendero, la proximidad de *Acacia schaffneri* brindó las oportunidades para un mayor alcance y concentración del muérdago. Esto quiere decir que, no solo la distancia entre cada individuo hospedero influye en su establecimiento, sino que hay un número reducido de visitantes sobre *E. polystachya*, disminuyendo las oportunidades de seguir desarrollándose sobre el mismo.

Al momento en que un muérdago infecta a un hospedero, se desencadenan variaciones a nivel químico y nutricional, afectando directamente la calidad del hospedero, y en consecuencia, reduciendo las probabilidades de tener una adaptación exitosa (Cuevas-Reyes *et al.*, 2017). Entre *P. calyculatus* y *E. polystachya* no hubo una adaptación exitosa, puesto que el número de individuos de muérdago, su área, así como el de los frutos, tuvo valores muy pequeños en comparación con *A. schaffneri*.

Otro motivo por el que no hubo un mejor desempeño del muérdago en *E. polystachya* fueron las características morfológicas, más aún haciendo énfasis en si una planta es caducifolia o perennifolia. Las plantas con diferentes periodos de vida de las hojas (como lo son las especies caducifolias y perennifolias) frecuentemente ocupan distinto tipos de hábitat. Se ha propuesto que la vida de las hojas define la resistencia de una planta a las temporadas de sequías y de invierno, los niveles de concentración de recursos (nutrientes y agua), así como el costo de elaboración de nuevas hojas (Antúnez *et al.*, 2001).

Previos estudios han demostrado que en las especies caducifolias y perennifolias pueden diferir los porcentajes a los que asignan los recursos de almacenamiento, comportándose de una manera diferente en la biomasa total del individuo, teniendo una mayor cantidad de nuevos brotes (ramas y hojas) así como una mayor área foliar. Se ha descrito que las especies caducifolias tienen un mayor porcentaje de biomasa total del individuo y van creciendo a un ritmo mayor en comparación con las especies perennifolias (Tomlinson *et al.*, 2013). Sin embargo, esto no define por completo el comportamiento de ambas especies, debido a los cambios estacionales a los que se enfrenten en su hábitat.

La preferencia y desempeño del muérdago *P. calyculatus* hacia *A. schaffneri* puede estar relacionado a que ésta es una planta caducifolia. Esto implica que el individuo se encuentra durante todo el año con follaje, aumentando el número de brotes y el área de la copa, así como el número de polinizadores y dispersores,

brindando una mayor cantidad de recursos (nutrientes y agua) a la planta parásita, y, en consecuencia, mejora las características morfológicas del muérdago, beneficiando su potencial reproductivo. Además, en la zona Senderismo, los individuos de *A. schaffneri* se encontraban a una distancia más reducida, provocando una frecuencia más alta de las aves para perchar y dispersar las semillas.

Es importante considerar, además, los mecanismos de compatibilidad muérdago-huésped; es decir, en dónde se consumen y se depositan los frutos y semillas del muérdago (Lara *et al.*, 2009). Para el caso de *P. calyculatus*, los resultados han demostrado que existe mayor compatibilidad con *A. schaffneri* que con *E. polystachya*. No solamente por el número de individuos que se encuentran sobre el hospedero, sino que, también el establecimiento de nuevas plántulas desarrollándose sobre las ramas, e incluso, semillas adheridas para, posteriormente, empezar su germinación.

El establecimiento del muérdago podría ocurrir con una disminución inicial en la especificidad del hospedero actual a medida que la especialización a la nueva especie hospedera ocurre. Sin embargo, el cambio de hospedero que conduce al nuevo establecimiento del muérdago también podría ocurrir si la abundancia de la especie hospedera cambia o si el muérdago expande su rango en un área donde la abundancia relativa del huésped difiere de las que normalmente se encuentran (Pérez-Crespo *et al.*, 2016). La población de *Eysenhardtia polystachya* se encuentra más aislada del resto de la vegetación del PANEC, lo que podría implicar que los niveles de infección de *Psittacanthus calyculatus* sean bajos y no pueda completar su establecimiento.

Como se ha dicho previamente, existen diferencias en el crecimiento y reproducción en las poblaciones de las especies hospederas frente a distintas condiciones, y también las hay cuando están asociadas a poblaciones de muérdagos, por lo que la relación que hay entre las condiciones del hospedero con

el desempeño del muérdago pueden variar en cada situación (Glatzel y Geils, 2009). En lo que respecta a la relación de *P. calyculatus* con *A. schaffneri*, existe un total establecimiento de la especie parásita, generando individuos de mayor tamaño, junto con frutos más llamativos. Cabe mencionar que, a simple vista no se ve un efecto negativo sobre la especie hospedera; de hecho, *A. schaffneri* de igual manera tiene una gran población definida dentro del PANEC.

## 7. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo observamos que el potencial reproductivo y el desempeño de *Psittacanthus calyculatus* fue distinto en *Eysenhardtia polystachya* y en *Acacia schaffneri* dentro del PANEC. Existe un mejor desempeño de *P. calyculatus* sobre *A. schaffneri*, teniendo mayores valores en sus características morfológicas (área y tamaño del individuo, así como el número, peso y área de los frutos) en *A. schaffneri*. La ubicación topográfica de la especie hospedera es el factor principal que influye en el establecimiento, desarrollo y crecimiento del muérdago; así como el incremento de visitas de los polinizadores y dispersores.

Asimismo, el muérdago *P. calyculatus* tiene una alta población dentro del PANEC. Debido a esto, también es importante conocer el impacto de estas interacciones. Además de llevar planes de manejo para mantener un control sobre este muérdago. Dentro de estos planes de manejo puede incluirse una estrategia para evitar el crecimiento de la población de especies hospederas que tienen una mayor incidencia del muérdago. Del mismo modo, hacer un hincapié en las especies nativas del PANEC, buscando protegerlas de la infección del muérdago evitando un daño dentro de la comunidad. El aumento de la población de aquellas especies hospederas que no brindan un buen desempeño para el muérdago también puede ser una estrategia de control, asegurando que un porcentaje de las semillas que se anclan a las ramas no completen su desarrollo.

La disponibilidad de recursos de *Acacia schaffneri* genera una alta producción de frutos de *Psittacanthus calyculatus*, además de ser con los de mayor peso. Sin embargo, es necesario llevar a cabo más investigaciones para conocer cuáles son las características que tienen ambas especies hospederas; en este caso, la cantidad y calidad de los nutrientes, que beneficia de manera significativa el desempeño de este muérdago.

Asimismo, se sugieren futuros estudios para ampliar la información en cuanto a los visitantes que tiene el muérdago, la frecuencia que tienen, e incluso la cantidad de néctar y polen que tengan las flores. Además de comparar si existe la misma preferencia por la especie hospedera como se vio en el presente.

## 8. LITERATURA CITADA

- Antúnez, I., Retamosa, E. C., y Villar, R. (2001). Relative growth rate in phylogenetically related deciduous and evergreen woody species. *Oecologia*, 128(2), 172-180.  
<https://doi.org/10.1007/s004420100645>
- Arce-Ácosta, I., Suzán Azpiri, H., y García-Rubio, O. R. (2016). Biotic factors associated with the spatial distribution of the mistletoe *Psittacanthus calyculatus* in a tropical deciduous forest of central Mexico. *Botanical Sciences*, 94(1), 89. <https://doi.org/10.17129/botsci.263>
- Aukema, J. E. (2002). *Where does a fruit-eating bird deposit mistletoe seeds? Seed deposition patterns and an experiment*. 83(12), 8.
- Aukema, J. E. (2003). Vectors, viscin, and Viscaceae: Mistletoes as parasites, mutualists, and resources. *The Ecological Society of America*, 1(3), 8.
- Azpeitia, F., y Lara, C. (2006). Reproductive Biology and Pollination of the Parasitic Plant *Psittacanthus calyculatus* (Loranthaceae) in Central México. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 133(3), 429-438.
- Bennett, E., Roberts, J. A., y Wagstaff, C. (2012). Manipulating resource allocation in plants. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3391-3400. <https://doi.org/10.1093/jxb/err442>

- Birrueta Lucatero, A. (2012). *Tratamiento pregerminativo y producción en invernadero de planta de calidad de Eysenhardtia polystachya y Guazuma ulmifolia*. [Universidad Autónoma Chapingo].  
[http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/bitstream/handle/20.500.12098/572/mcad-lbar\\_12.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/bitstream/handle/20.500.12098/572/mcad-lbar_12.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Bogitsh, B. J., Carter, C. E., y Oeltmann, T. N. (2019). Chapter 1—Symbiosis and Parasitism. En *Human Parasitology* (5.ª ed.). Academic Press.
- Buen, L. L. d., y Ornelas, J. F. (2002). Host compatibility of the cloud forest mistletoe *Psittacanthus schiedeanus* (Loranthaceae) in Central Veracruz, Mexico. *American Journal of Botany*, 89(1), 95-102. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.1.95>
- Buen, L. L. P.-D., y Ornelas, J. F. (1999). *Frugivorous birds, host selection and the mistletoe Psittacanthus schiedeanus, in central Veracruz, Mexico*. 13.
- Cocoletzi, E., Angeles, G., Ceccantini, G., Patrón, A., y Ornelas, J. F. (2016). Bidirectional anatomical effects in a mistletoe-host relationship: *Psittacanthus schiedeanus* mistletoe and its hosts *Liquidambar styraciflua* and *Quercus germana*. *American Journal of Botany*, 103(6), 986-997. <https://doi.org/10.3732/ajb.1600166>
- CONABIO. (2018). *Psittacanthus calyculatus—Ficha informativa*. CONABIO.  
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/loranthaceae/psittacanthus-calyculatus/fichas/ficha.htm>
- CONANP. (2017). Conjunto de Datos Vectoriales de Áreas Naturales Protegidas. Escala 1:250,000. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
- Cortés, H. E. (2013). *Efecto de la temperatura en la germinación de Acacia farnesiana y A. schaffneri de diversas procedencias, y variación en vaina y semillas* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/3799/1/1080246061.pdf>
- Cuevas-Reyes, P., Pérez-López, G., Maldonado-López, Y., y González-Rodríguez, A. (2017). Effects of herbivory and mistletoe infection by *Psittacanthus calyculatus* on nutritional quality and chemical defense of *Quercus deserticola* along Mexican forest fragments. *Plant Ecology*, 218(6), 687-697. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0721-2>



- Díaz Infante, S., Lara, C., Arizmendi, M. del C., Eguiarte, L. E., y Ornelas, J. F. (2016). Reproductive ecology and isolation of *Psittacanthus calyculatus* and *P. auriculatus* mistletoes (Loranthaceae). *PeerJ*, 4, e2491. <https://doi.org/10.7717/peerj.2491>
- Geils, B. W., Cibrian-Tovar, J., y Moody, B. (2002). *Mistletoes of North American conifers* (RMRS-GTR-98). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-98>
- Glatzel, G., y Geils, B. W. (2009). Mistletoe ecophysiology: Host–parasite interactions This review is one of a collection of papers based on a presentation from the *Stem and Shoot Fungal Pathogens and Parasitic Plants: the Values of Biological Diversity* session of the XXII International Union of Forestry Research Organization World Congress meeting held in Brisbane, Queensland, Australia, in 2005. *Botany*, 87(1), 10-15. <https://doi.org/10.1139/B08-096>
- Gómez-Acevedo, S. L., y Tapia-Pastrana, F. (2003). Estudio genecológico de *Prosopis laevigata*, *Acacia farnesiana* y *Acacia schaffneri* (Leguminosae). *Darwiniana*, T. 41, 1/4, 47-54.
- Gómez-Sánchez, M., y Sánchez-Fuentes, L. J. (2011). Anatomía de especies mexicanas de los géneros *Phoradendron* y *Psittacanthus*, endémicos del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 16.
- González, B. I. P. (2017). *Efecto de la morfología, fenología y abundancia en las redes mutualistas colibrí-planta del Parque Nacional El Cimatario, Querétaro, México*. UAQ.
- INEGI. (2016). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000. Serie VI (Capa Unión), escala 1:250,000. Edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- Jiang, F., Jeschke, W. D., Hartung, W., y Cameron, D. D. (2008). Does legume nitrogen fixation underpin host quality for the hemiparasitic plant *Rhinanthus minor*? *Journal of Experimental Botany*, 59(4), 917-925. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern015>
- Kuijt, J. (2009). Monograph of *Psittacanthus* (Loranthaceae). *Systematic Botany Monographs*, 86, 1-361.

- Lara, C., Pérez, G., y Ornelas, J. F. (2009). Provenance, guts, and fate: Field and experimental evidence in a host-mistletoe-bird system. *Écoscience*, 16(3), 399-407.  
<https://doi.org/10.2980/16-3-3235>
- Lara, C., Xicohténcatl-Lara, L., y Ornelas, J. F. (2021). Differential reproductive responses to contrasting host species and localities in *Psittacanthus calyculatus* (Loranthaceae) mistletoes. *Plant Biology*, 23(4), 603-611. <https://doi.org/10.1111/plb.13266>
- Mellado, A., y Zamora, R. (2017). Parasites structuring ecological communities: The mistletoe footprint in Mediterranean pine forests. *Functional Ecology*, 31(11), 2167-2176.  
<https://doi.org/10.1111/1365-2435.12907>
- Naturalista (2021). Consultado el 07 de junio de 2021. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.naturalista.mx>
- Nickrent, D. L., Mathiasen, R. L., Shaw, D. C., y Matson, D. M. (2008). Mistletoes. Pathology, Systematics, Ecology and Management. *The American Phytopathological Society*, 97(7), 19.  
<https://doi.org/10.1094/PDIS-92-7-0988>
- Pérez López, G. (2010). *Ecología, herbivoría, contenido nutricional y defensa química del muérdago Psittacanthus calyculatus y su hospedero Quercus desertícola en fragmentos de bosque de la cuenca de Cuitzeo*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Pérez-Crespo, M. J., Lara, C., y Ornelas, J. F. (2016). Uncorrelated mistletoe infection patterns and mating success with local host specialization in *Psittacanthus calyculatus* (Loranthaceae). *Evolutionary Ecology*, 30(6), 1061-1080. <https://doi.org/10.1007/s10682-016-9866-z>
- Press, M. C., y Phoenix, G. K. (2005). Impacts of parasitic plants on natural communities: Tansley review. *New Phytologist*, 166(3), 737-751. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01358.x>
- Queijeiro-Bolaños, M. E., Cano-Santana, Z., y Castellanos-Vargas, I. (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, 9.

- Queijeiro-Bolaños, M. E., González, E. J., Martorell, C., y Cano-Santana, Z. (2017). Competition and facilitation determine dwarf mistletoe infection dynamics. *Journal of Ecology*, 105(3), 775-785. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12699>
- Ramírez, M. M., y Ornelas, J. F. (2009). Germination of *Psittacanthus schiedeanus* (mistletoe) seeds after passage through the gut of Cedar Waxwings and Grey Silky-flycatchers 1. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 136(3), 322-331. <https://doi.org/10.3159/09-RA-023.1>
- Rodríguez-Mendieta, S., Lara, C., y Ornelas, J. F. (2018). Unravelling host-mediated effects on hemiparasitic Mexican mistletoe *Psittacanthus calyculatus* (DC.) G. Don traits linked to mutualisms with pollinators and seed dispersers. *Journal of Plant Ecology*, 11(6), 827-842. <https://doi.org/10.1093/jpe/rty008>
- Scalon, M. C., y Wright, I. J. (2015). A global analysis of water and nitrogen relationships between mistletoes and their hosts: Broad-scale tests of old and enduring hypotheses. *Functional Ecology*, 29(9), 1114-1124. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12418>
- Solís-Márquez, O., Plascencia-Escalante, F. O., Romero-Manzanares, A., Cruz-Rodríguez, J. A., Ángeles-Pérez, G., López-Acosta, J. C., y Yáñez-Jiménez, P. (2018). Potencial reproductivo de *Stenocerus queretaroensis* (Cactaceae) de San José de Cosalima, Zacatecas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(2). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.1874>
- Těšitel, J., Li, A.-R., Knotková, K., McLellan, R., y Watson, D. M. (2020). The bright side of parasitic plants: What are they good for? *Plant Physiology*, 47.
- Tomlinson, K. W., van Langevelde, F., Ward, D., Bongers, F., da Silva, D. A., Prins, H. H. T., de Bie, S., y Sterck, F. J. (2013). Deciduous and evergreen trees differ in juvenile biomass allometries because of differences in allocation to root storage. *Annals of Botany*, 112(3), 575-587. <https://doi.org/10.1093/aob/mct132>
- Vázquez Collazo, I., Villa Rodríguez, A., Madrigal Huendo, S., México, Secretaría de Agricultura, G., Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, A. y P. (México), Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, &

Campo Experimental Uruapan. (2006). *Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán*.

SAGARPA ; INIFAP, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Uruapan.

Watson, D. M. (2009). Determinants of parasitic plant distribution: The role of host quality. *Botany*, 87(1), 16-21. <https://doi.org/10.1139/B08-105>

Wikimedia commons (2021). Consultado el 07 de junio de 2021. <https://commons.wikimedia.org>.

Dirección General de Bibliotecas UAQ