



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

FITOPATOLOGÍA

**ALTERNATIVAS DE CONTROL BIOLÓGICO Y QUÍMICO
DEL MUÉRDAGO VERDADERO *Struthanthus
interruptus* (KUNTH) G. DON**

CLAUDIA CONTRERAS RUIZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

2017

La presente tesis, titulada: **Alternativas de control biológico y químico del muérdago verdadero *Struthanthus interruptus* (Kunth) G. Don**, realizada por la alumna: **Claudia Contreras Ruiz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
FITOPATOLOGÍA**

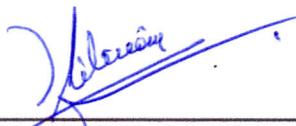
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



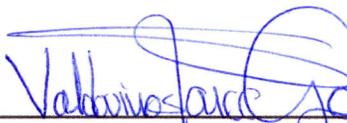
Dr. Dionicio Alvarado Rosales

ASESOR



Dr. David Cibrián Tovar

ASESOR



Dra. Guadalupe Valdevinos Ponce

AGRADECIMIENTOS

A las y los mexicanos que pagan impuestos, quienes, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Postgraduados, han financiado parte de mi formación.

A los integrantes de mi consejo particular, Dra. Guadalupe Valdovinos Ponce, Dr. Dionicio Alvarado Rosales y Dr. David Cibrián Tovar por contribuir con cada una de sus valiosas aportaciones al enriquecimiento de la presente investigación.

Al Dr. Dionicio Alvarado Rosales por su excelente dirección y compromiso en la realización de la presente investigación. Por brindarme desde el inicio su confianza, apoyo e invaluable tiempo; por contribuir a mi desarrollo personal y profesional y mostrar siempre ante cualquier circunstancia una sonrisa y buena actitud.

Al Dr. Víctor David Cibrián Llanderal, Ing. Jesús Morales Bautista y Biol. Israel Aquino Bolaños por compartir su experiencia y apoyarme en la aplicación del control químico.

A la M.C. Oralia Sánchez Vázquez, M.C. Uriel M. Barrera Ruiz y al. M.C. Hilario Caamal Canché por brindarme su apoyo en la aplicación del control biológico y toma de fotografías.

Al Dr. Cristian Nava Díaz, Dr. Juan Manuel Vanegas Rico, M.C. José Alberto Aguilar Juárez y M.C. Marco Antonio López Cruz por su apoyo en la parte estadística.

A la Arq. Sandra Durán Linares, Téc. Ftl. Arturo Vargas García, Biol. Tere Cantoral Herrera y Biol. Teresa Patiño Pineda por brindarme un espacio para realizar el trabajo de campo y facilitar mi estancia en el Jardín Alexander Pushkin.

A mis compañeras y compañeros de laboratorio Dra. Alejandra Almaraz Sánchez, M.C. Silvia Edith García Díaz, Dra. Luz de Lourdes Saavedra Romero, M.C. Sergio Hernández Pablo y Téc. Lab. Carlos Martínez López por compartir sus conocimientos y experiencia de laboratorio y campo, además de contribuir al constante enriquecimiento de la presente investigación.

Dedico este trabajo de tesis a mis padres Gabina Ruiz Osorio y Juan Contreras Ortega por ser un ejemplo de amor, dedicación, responsabilidad, constancia y generosidad; por su infinito cariño y apoyo incondicional.

A mi hermana Norma Ramírez Ruiz y a mis sobrinos Ángel y Eduardo Zárate Ramírez por acompañarme y creer en mí.

A mis amigas Mayra Velén Buendía Velázquez, Sara Gabriela Díaz Ramos, Oralia Sánchez Vázquez, Sara Minjarez Velasco, Jarín Paulina Barrera Lechuga, Cinthia Bartolo Benítez y Ana Lilia Palacios Vázquez, por los momentos compartidos y las enseñanzas aprendidas.

A mis amigas y amigos de la maestría, especialmente a Katya Ornelas Ocampo, Minely Cerón Bustamante, Edith Maldonado Cruz, Eridani García Vázquez, Ivonne Herrera Yáñez, Rosalba Contreras Maya, Jessica Jazmín González Regalado y José Alberto Aguilar Juárez, por brindarme su valiosa amistad, compartir sus conocimientos y hacer de mi estancia en esta institución un lugar más agradable.

A mis amigos Uriel M. Barrera Ruiz, Marco Antonio López Cruz, Hugo Ramírez Alcántara, Néctor Alejandro Gutiérrez, Hilario Caamal Canché por su genuina amistad.

A Alexander Ybarias Monzón por escucharme y tener siempre las palabras precisas para alentarme a seguir adelante.

A Hugo Hernández Padilla por brindarme tu apoyo incondicional y sincera amistad.

Claudia Contreras Ruiz.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3	OBJETIVOS	3
4	HIPÓTESIS	3
5	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
5.1	Introducción a la flora parasítica en el mundo	4
5.2	Tipos de plantas parásitas.....	4
5.3	Plantas parásitas presentes en México	5
5.4	Muérdagos.....	5
5.4.1	Muérdagos enanos.....	7
5.4.2	Muérdagos verdaderos.....	7
5.5	Clave para identificar los géneros de muérdagos presentes en México.....	8
5.6	Muérdago <i>Struthanthus</i> Mart.	9
5.7	<i>Struthanthus interruptus</i> (Kunth) G. Don	10
5.8	Estrategias de manejo y control de muérdagos.....	10
5.8.1	Manejo silvícola	11
5.8.2	Control cultural	11
5.8.3	Control biológico.....	12
5.8.4	Control químico	13
6	LITERATURA CITADA.....	17
CAPITULO I. ESTUDIO PRELIMINAR PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DEL MUÉRDAGO VERDADERO <i>Struthanthus interruptus</i> (KUNTH) G. DON.....		
1	INTRODUCCIÓN	26
2	MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1	Colecta de material vegetal	27
2.2	Aislamiento y purificación	28
2.3	Identificación de hongos	28
2.4	Pruebas de patogenicidad <i>in vitro</i>	29
2.5	Pruebas de patogenicidad <i>in vivo</i>	30
2.5.1	Diseño experimental.....	30

2.5.2	Aplicación de tratamientos	31
2.6	Análisis estadístico	31
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
3.1	Hongos aislados	32
3.2	Descripción morfológica	32
3.3	Incidencia de hongos aislados.....	34
3.4	Pruebas de patogenicidad <i>in vitro</i>	35
3.5	Pruebas de patogenicidad <i>in vivo</i>	35
4	CONCLUSIONES	40
5	LITERATURA CITADA.....	41
CAPITULO II. CONTROL QUÍMICO CON ETEFÓN (ÁCIDO 2-CLOROETIL FOSFÓNICO) DEL MUÉRDAGO VERDADERO <i>Struthanthus interruptus</i> (KUNTH) G. DON.....		
44		
1	INTRODUCCIÓN	46
2	MATERIALES Y MÉTODOS	47
2.1	Descripción del área de estudio	47
2.2	Diseño experimental.....	47
2.3	Aplicación de tratamientos.....	47
2.4	Evaluación de la densidad de follaje del muérdago.....	48
2.5	Análisis estadístico	49
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4	CONCLUSIONES	60
5	LITERATURA CITADA.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hongos aislados de muérdagos verdaderos: a) colonia y b) conidios de <i>Epicoccum</i> sp.; c) colonias y d) conidios de <i>Fusarium</i> sp.; e) colonia y f) conidios de <i>Pestalotia</i> sp.; g) colonia y h) picnidio y conidios de <i>Phoma</i> sp.....	33
Figura 2. Pruebas de patogenicidad en ramillas de <i>Struthanthus interruptus</i> evaluados a los 42 ddi en dosis baja (2.5×10^5 esporas mL ⁻¹), media (5×10^5 esporas mL ⁻¹) y alta (1×10^6 esporas mL ⁻¹) de <i>Phoma</i> sp. (a, b y c) y <i>Fusarium solani</i> (d, e y f); g) testigo.....	37
Figura 3. Escala de evaluación de la densidad de follaje del muérdago verdadero <i>Struthanthus interruptus</i>	48
Figura 4. Dinámica de la defoliación del muérdago verdadero <i>Struthanthus interruptus</i> como efecto a tratamientos con etefón.....	51
Figura 5. Tratamiento con agua destilada estéril (testigo) evaluado a los a) 0, b) 29, c) 70, d) 99, e) 126 y f) 165 días después de la aplicación de tratamientos.	54
Figura 6. Tratamiento con dosis baja de etefón evaluado a los a) 0, b) 29, c) 70, d) 99, e) 126 y f) 165 días después de la aplicación de tratamientos.	55
Figura 7. Tratamiento con dosis media de etefón evaluado a los a) 0, b) 29, c) 70, d) 99, e) 126 y f) 165 días después de la aplicación de tratamientos... ..	56
Figura 8. Tratamiento con dosis alta de etefón evaluado a los a) 0, b) 29, c) 70, d) 99, e) 126 y f) 165 días después de la aplicación de tratamientos.	57
Figura 9. Agrietamientos en la corteza de <i>Populus deltoides</i> como efecto a la aplicación de etefón: a) testigo, b) dosis baja, c) dosis media y d) dosis alta.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Áreas verdes en la Ciudad de México donde se realizó la colecta de material vegetal.	27
Cuadro 2. Incidencia de hongos aislados de muérdagos verdaderos en la Ciudad de México.	34
Cuadro 3. Hongos re-aislados de las hojas de muérdago.	36
Cuadro 4. Defoliación del muérdago verdadero por efecto de la aplicación de <i>Phoma</i> sp. y <i>Fusarium solani</i>	38
Cuadro 5. Efecto de etefón sobre la defoliación del muérdago verdadero <i>Struthanthus interruptus</i> en árboles de <i>P. deltoides</i>	50

ALTERNATIVAS DE CONTROL BIOLÓGICO Y QUÍMICO DEL MUÉRDAGO VERDADERO *Struthanthus interruptus* (KUNTH) G. DON

Claudia Contreras Ruiz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

El arbolado urbano de la Ciudad de México ofrece diversos beneficios intangibles que contribuyen al bienestar de sus habitantes; no obstante, la infección por muérdagos favorece su deterioro. Actualmente, el manejo de estas plantas parásitas se ha enfocado especialmente a la poda de ramas y derribo de árboles, sin embargo, no resultan ser efectivas. El control biológico y químico se ha estudiado con resultados favorables, principalmente en muérdagos enanos, aunque, estas opciones no se han probado en otras especies de muérdago. Por lo anterior, la presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de determinar el potencial de control con hongos asociados a muérdagos y la aplicación de etefón en la eliminación, reducción o retraso en la dispersión del muérdago verdadero *Struthanthus interruptus* en la Ciudad de México. Los hongos asociados utilizados para los ensayos de control biológico se aislaron de plantas de *Cladocolea* y *Struthanthus* y estos fueron *Epicoccum*, *Fusarium*, *Pestalotia* y *Phoma*. Los cuatro hongos junto con *F. solani* (aislamiento de plantas de *Arceuthobium*) se inocularon *in vitro* en hojas de *S. interruptus*, y a pesar de que no causaron síntomas se aplicaron en campo tres dosis de *Phoma*, tres de *F. solani* y agua destilada estéril. La aplicación en hojas del muérdago causó pequeñas manchas necróticas y la defoliación parcial de las ramillas (20 a 54 %). El control químico con etefón consistió en la aplicación de tres dosis del regulador de crecimiento al tronco de árboles infectados de *Populus deltoides* (plantas hospedantes). La dosis alta causó la mayor defoliación del muérdago (56 %).

Palabras clave: Plantas parásitas, *Phoma*, *Fusarium solani*, etefón.

**ALTERNATIVES OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL CONTROL OF THE TRUE
MISTLETOE *Struthanthus interruptus* (KUNTH) G. DON**

Claudia Contreras Ruiz, M.Sc.

Colegio de Postgraduados, 2017

Urban trees of Mexico City offer several intangible benefits that contribute to the welfare of its inhabitants; however, the infection by mistletoes favors its deterioration. Currently, management of these parasitic plants has especially focused on branch pruning and tree removal, however, these practices are not effective. Biological and chemical controls have been studied with favorable results mainly on dwarf mistletoes, although these options have not been tested in other mistletoe species. Therefore, this research was conducted in order to determine the potential of control using mistletoe associated fungi and ethephon application on the elimination, reduction, or delay dispersion of the true mistletoe *Struthanthus interruptus* in Mexico City. Associated fungi used for biological control assays were isolated from *Cladocolea* and *Struthanthus* plants and these were *Epicoccum*, *Fusarium*, *Phoma*, and *Pestalotia*. The four fungi and *F. solani* (isolation from *Arceuthobium* plants) were *in vitro* inoculated on *S. interruptus* detached leaves and, although these did not cause disease symptoms, on the field three doses of *Phoma*, three doses of *F. solani*, and sterile distilled water were applied. The inoculated leaf mistletoes showed small necrotic spots and partial defoliation of the twigs (20 to 50 %). Chemical control consisted on the application of three doses of the growth regulator ethephon to the trunk of *Populus deltoides* infected trees (host plants), causing a decrease in the mistletoe initial foliage density. The high dose caused the highest defoliation (56 %).

Keywords: Parasitic plants, *Phoma*, *Fusarium solani*, ethephon.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Los muérdagos son un grupo diverso de plantas parásitas pertenecientes al orden Santalales que tienen una amplia gama de hospedantes como coníferas y otras plantas leñosas (Kuijt, 1969; Calder, 1983). Causan daños económicamente importantes en diversas partes del mundo (Hawksworth, 1983; Knutson, 1983; Tainter y Baker, 1996; Nickrent y Musselman, 2004) y aunque algunos contienen clorofila funcional, dependen de sus hospedantes ya sea completa o parcialmente para cubrir sus necesidades mediante la unión de estructuras especializadas conocidas como haustorios (Tainter y Baker, 1996; Press y Phoenix, 2005), ocasionando alteraciones fisiológicas y en algunos casos la muerte (Hawksworth, 1983; Knutson, 1983; Manion, 1991; Tainter y Baker, 1996; Geils y Vázquez, 2002).

Las estrategias de manejo y control de muérdagos mediante la poda de ramas o la remoción de árboles severamente afectados son métodos generalmente disponibles; sin embargo, el costo de estas actividades es alto y sólo se justifica en árboles de alto valor, áreas urbanas o recreativas (Adams *et al.*, 1993; Vázquez *et al.*, 2006). En la actualidad, existen otras alternativas de control de las que se tiene mayor conocimiento y que constituyen medidas adicionales para la reducción del impacto ocasionado por estas plantas parásitas (Kuijt, 1969; Hawksworth, 1983; Geils y Vázquez, 2002; Vázquez *et al.*, 2006; Mathiasen *et al.*, 2008).

A pesar de que existen diversos hongos patógenos e insectos herbívoros, éstos no han sido suficientemente estudiados y desarrollados para su uso como agentes de control biológico; asimismo, la elección de un herbicida adecuado para el control químico ha sido por mucho tiempo un objetivo difícil de alcanzar. El verdadero reto es encontrar el agente biológico o producto químico que logre la muerte de la planta parásita sin provocar daños en el hospedante u otras especies arbóreas; de no ser así, se esperaría lograr la abscisión de los brotes de manera que reduzca y retarde la dispersión de estas plantas parásitas (Shamoun y DeWald, 2002; Shamoun *et al.*, 2003).

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México ofrecen una gran cantidad de beneficios ambientales, sociales, científicos y económicos que mejoran la calidad de vida de sus habitantes y demás seres vivos (GDF, 2000; SMA, 2013). La regulación del clima, captación del agua de lluvia, generación de oxígeno, captación de partículas contaminantes, amortiguamiento de los niveles de ruido, disminución de la erosión, sitios de refugio, protección y alimentación de fauna silvestre, son sólo algunos de los múltiples beneficios que ofrece el arbolado urbano (SMA, 2013). No obstante, la inadecuada selección de especies, la falta de planeación y mantenimiento junto con las actividades antropogénicas han generado numerosos problemas (Chacalo *et al.*, 1994) que favorecen la incidencia de plagas y enfermedades, deteriorando su estado fitosanitario (Velasco *et al.*, 2002; Alvarado *et al.*, 2009).

Una de las principales causas de afectación en el arbolado urbano de la Ciudad de México es la infección por diferentes muérdagos verdaderos de los géneros *Cladocolea*, *Phoradendron* y *Struthanthus* principalmente (Pérez *et al.*, 2006; Marchal, 2009; Arriola *et al.*, 2012). Se estima que el 16 % de las especies que componen el arbolado urbano están infectadas por estas plantas parásitas (Arriola *et al.*, 2012).

Las especies arbóreas más abundantes en la Ciudad de México son *Populus deltoides* y *P. tremuloides* (Arriola *et al.*, 2012), las cuales presentan la mayor incidencia de *Struthanthus interruptus* (Cibrián *et al.*, 2010), de ahí que la permanencia de un considerable número de árboles se ve afectado en gran medida por la infección de este muérdago, por lo que resulta necesario llevar a cabo estrategias de manejo del muérdago que incluyan métodos de control biológico y/o químico que favorezcan la reducción del impacto en sus hospedantes, retardando su propagación y dispersión. Dicho lo anterior, la presente investigación tuvo los siguientes objetivos:

3 OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el potencial de las alternativas de control biológico y químico en la eliminación, reducción o retraso en la dispersión del muérdago verdadero *Struthanthus interruptus*.

Objetivos particulares

- Determinar la patogenicidad *in vitro* y en campo de los hongos asociados a muérdagos para el control biológico del muérdago verdadero *S. interruptus*.
- Evaluar la aplicación de tres dosis del regulador de crecimiento etefón inyectadas en el tronco de árboles de *Populus deltoides* como medida de control químico del muérdago verdadero *S. interruptus*.

4 HIPÓTESIS

Control biológico

- La aspersión de esporas de hongos asociados a muérdagos causa manchas necróticas, que crecen y coalescen, causando la defoliación, la abscisión y muerte de las ramillas del muérdago verdadero *S. interruptus*.

Control químico

- La aplicación del regulador de crecimiento etefón inyectadas en el tronco de árboles hospedantes causa la caída temprana de las hojas, brotes y frutos; asimismo, la muerte del muérdago verdadero *S. interruptus*.

5 REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Introducción a la flora parasítica en el mundo

Las plantas parásitas son un grupo diverso de angiospermas que parasitan a otras plantas vasculares durante la mayor parte de su ciclo de vida (Tainter y Baker, 1996). Aunque muchas de ellas contienen clorofila funcional, dependen de sus hospedantes completa o parcialmente para cubrir sus necesidades de fijación de carbono, nutrientes y agua (Tainter y Baker, 1996; Press y Phoenix, 2005).

La diversidad de la flora parasítica en el mundo es de aproximadamente 4,200 especies distribuidas en 18 familias y 274 géneros, lo que representa el 1 % de todas las plantas con flores a nivel mundial (Nickrent *et al.*, 1998; Nickrent, 2002); se pueden encontrar en casi cualquier tipo de ecosistema alrededor del mundo, principalmente en aquellos que no han sido perturbados por las actividades humanas (Nickrent, 2002).

Solo un número relativamente reducido de plantas parásitas causan enfermedades importantes en cultivos agrícolas o en árboles forestales (Agrios, 2015). Las cúscutas (*Cuscuta*), los muérdagos enanos (*Arceuthobium*) y los muérdagos verdaderos (*Psittacanthus*, *Phoradendron*, *Struthanthus*) se encuentran entre las principales plantas parásitas que causan daños económicamente importantes a árboles frutales y forestales en el continente americano (Tainter y Baker, 1996; Nickrent y Musselman, 2004).

5.2 Tipos de plantas parásitas

Las plantas parásitas se agrupan en dos tipos principales, las que parasitan el tallo y las que parasitan la raíz. Las parásitas de tallo ocurren en varias familias, entre las cuales se incluyen algunos muérdagos (Loranthaceae y Viscaceae) y la cúscuta (*Cuscuta*), mientras que las parásitas de raíz son más comunes y se encuentran en diversos grupos taxonómicos como en la familia Orobanchaceae (Manion, 1991; Tainter y Baker, 1996; Nickrent y Musselman, 2004).

Las plantas parásitas también pueden clasificarse como holoparásitas, hemiparásitas, parásitos obligados y parásitos facultativos (Nickrent y Musselman, 2004). Las holoparásitas carecen de clorofila (son no fotosintéticas) y dependen totalmente del contenido del floema y xilema del hospedante. Las hemiparásitas contienen clorofila en la madurez (son fotosintéticas) y obtienen agua con nutrientes disueltos del hospedante (Manion, 1991; Nickrent y Musselman, 2004). Las parásitas obligadas requieren de un hospedante para madurar. Las parásitas facultativas contienen clorofila y pueden llegar a la madurez sin la presencia del hospedante (Nickrent y Musselman, 2004).

5.3 Plantas parásitas presentes en México

Las familias botánicas con especies representantes de holoparásitas, parásitas obligadas y hemiparásitas presentes en México son Convolvulaceae (*Cuscuta*), Santalaceae (*Antidaphne*, *Arceuthobium*, *Dendrophthora*, *Phoradendron*) y Loranthaceae (*Cladocolea*, *Ixocactus*, *Oryctanthus*, *Phthirusa*, *Psittacanthus*, *Struthanthus*) (Standley, 1922; Hawksworth, 1983; Tainter y Baker, 1996). Como parásitos de coníferas se reportan a los géneros *Arceuthobium*, *Cladocolea*, *Struthanthus*, *Psittacanthus* y *Phoradendron* (Geils y Vázquez, 2002; Vázquez *et al.*, 2006); mientras que los géneros más representativos que afectan a las latifoliadas o árboles de hoja ancha están los muérdagos verdaderos de los géneros *Antidaphne*, *Cladocolea*, *Dendrophthora*, *Ixocactus*, *Oryctanthus*, *Phoradendron*, *Phthirusa*, *Psittacanthus* y *Struthanthus* (Vázquez *et al.*, 2006).

5.4 Muérdagos

Los muérdagos son un grupo diverso de plantas parásitas pertenecientes al orden Santalales, con una amplia gama de coníferas y otras plantas leñosas como hospedantes (Kuijt, 1969; Calder, 1983). Estas plantas parásitas son de porte arbustivo (excepto *Nuytsia* que es considerada como árbol pequeño) que muestran algún grado de parasitismo o dependencia sobre el hospedante, ya sea como parásitos de la raíz (*Nuytsia*, *Atkinsonia* y *Gaiadendron*) o de tallo mediante la unión con el xilema conductor de nutrientes y agua del hospedante a partir de estructuras especializadas llamadas haustorios (Calder, 1983; Geils y Vázquez, 2002;

Mathiasen *et al.*, 2008). Las principales familias de muérdagos son Loranthaceae y Santalaceae (Viscaceae) (Calder, 1983).

El proceso de infección de los muérdagos se da de manera similar (Calder, 1983; Cibrián, 2007). Las semillas de la planta parásita son dispersadas por animales o por sí mismas; al ser depositadas sobre el tejido del hospedante, germinan y desarrollan una raíz lateral modificada conocida como haustorio, que responde a un gradiente químico y se conecta con la epidermis del hospedante. El haustorio se adhiere y empuja la corteza, forma un disco y secreta un adhesivo que lo fija a la superficie. La raíz penetra mecánicamente al hospedante estableciendo una conexión con el sistema vascular, obteniendo agua, nutrientes y compuestos orgánicos de su hospedante (Cibrián, 2007). La diferencia que existe entre hemiparásitas y holoparásitas, de acuerdo al sitio de infección, es que las hemiparásitas se establecen en el xilema del hospedante, accediendo al agua y nutrientes minerales pero poco carbono orgánico, el cual se proporcionan al menos por su propia actividad fotosintética. Las holoparásitas infectan floema y xilema, por lo que dependen de su hospedante para el suministro de nutrientes orgánicos e inorgánicos (Glatzel y Geils, 2009; Vijayan *et al.*, 2015).

La actividad metabólica comienza cuando se establece contacto con el xilema y/o floema, lo que da como resultado el incremento en la respiración y transpiración en los tejidos del hospedante. Después de unos días la fotosíntesis decrece. El sitio de infección comienza a actuar como un recipiente de compuestos orgánicos, tales como azúcares, fósforo, potasio y sulfuro (Tainter y Baker, 1996).

Los muérdagos afectan la fisiología de su hospedante (Knutson, 1983). Los efectos sobre el árbol son la hipertrofia, que sugiere una alteración de los reguladores del crecimiento; clorosis; escobas de bruja; muerte descendente; reducción en el crecimiento, sobrevivencia y capacidad reproductiva; aumento en la susceptibilidad a otras enfermedades o daños; y en algunos casos la muerte del hospedante (Manion, 1991; Tainter y Baker, 1996; Geils y Vázquez, 2002).

5.4.1 Muérdagos enanos

Los muérdagos enanos se encuentran ubicados actualmente en la familia Santalaceae (Viscaceae anteriormente), los cuales se distribuyen exclusivamente en el hemisferio norte y generalmente muestran cierta especificidad de hospedantes, particularmente coníferas (Olsen, 2003), aunque la transferencia de una especie o género de hospedante a otro puede ocurrir (Kuijt, 1955 citado por Boyce, 1961). Esta familia comprende los géneros *Arceuthobium*, *Dendrophthora*, *Ginallia*, *Notothixos*, *Phoradendron*, *Korthalsella* y *Viscum* (Cibrián, 2007), siendo *Arceuthobium* y *Phoradendron* los que se encuentran en México (Standley, 1922; Geils y Vázquez, 2002; Cibrián, 2007).

Todos los miembros de esta familia son parásitos aéreos, con raíces modificadas en haustorios. El sistema haustorial también llamado endofítico, se compone de elementos corticales en forma de cordones de tejido que se encuentran adyacentes al cambium y de proyecciones que penetran en el xilema (Cibrián, 2007).

Los muérdagos enanos del género *Arceuthobium* tienen un sistema endofítico altamente desarrollado compuesto de dos partes, una ubicada en el floema del hospedante y la otra en el xilema. En el floema se encuentra el sistema cortical y está formado por tejido conectado al sistema conductor de savia elaborada; mientras que en el xilema se encuentran los haustorios insertados en la madera, los cuales absorben agua y sustancias minerales (Cibrián *et al.*, 2007).

5.4.2 Muérdagos verdaderos

Los muérdagos verdaderos se ubican en la familia Loranthaceae (Cibrián, 2007), la cual constituye el grupo de plantas parásitas con mayor distribución en el mundo, representada por 73 géneros y 900 especies ampliamente distribuidas en los trópicos. Los géneros *Cladocolea*, *Ixocactus*, *Oryctanthus*, *Phthirusa*, *Psittacanthus* y *Struthanthus* se encuentran en México afectando una amplia gama de hospedantes (Standley, 1922; Calderón, 2010; Geils y Vázquez, 2002; Olsen, 2003; Vázquez *et al.*, 2006; Cibrián, 2007; Mathiasen *et al.*, 2008).

La mayoría de los miembros de esta familia son arbustos, algunas veces muy pequeños que parasitan las ramas de sus hospedantes. Presentan hojas perennes, generalmente opuestas, enteras, gruesas y coriáceas, bien desarrolladas o raramente reducidas a escamas. El crecimiento del tallo es simpodial. Las flores se agregan en inflorescencias como cimas, racimos, espigas, fascículos y umbelas; flores a menudo en grupos de tres, perfectas o unisexuales, generalmente de colores llamativos, el tamaño y la forma es variable, que son polinizadas principalmente por aves. El fruto generalmente es una baya o drupa, carnoso, indehiscente, sin testa, con una semilla por fruto. Debido a que los frutos maduros son de colores brillantes y las semillas están cubiertas con un material viscoso que permite su adherencia a cualquier objeto, las aves al ingerir la semilla y al ser regurgitada o defecada pero cubierta aún con un poco de este material permite la adherencia a hospedantes potenciales, facilitando la dispersión (Standley, 1922; Watson y Dallwitz, 1992; Nickrent y Musselman, 2004; Mathiasen *et al.*, 2008). Los muérdagos verdaderos, a menudo, forman raíces epicorticales que se ubican sobre las ramas y forman de manera intermitente conexiones haustoriales con el interior del hospedante (Cibrián, 2007).

5.5 Clave para identificar los géneros de muérdagos presentes en México

De acuerdo con Koch y Cibrián (2007), los géneros de muérdagos presentes en México se identifican considerando las siguientes características:

Flores con cáliz, con pétalos por lo general grandes y coloridos

(Loranthaceae):

Flores de menos de 1 cm de longitud, verde brillante o amarillento; hojas de menos de 5 cm de longitud y 2 cm de ancho.

Plantas dioicas:

- Inflorescencias determinadas: flores viejas, terminales, sobre el eje principal y sobre las ramas; flores jóvenes laterales (cimas) ***Cladocolea***

- Inflorescencias generalmente indeterminada; flores viejas basales, flores jóvenes hacia el ápice (racimos, panículas)

Struthanthus

Flores de 3 a 5 cm de longitud, pétalos amarillos o rojizos; hojas de 5-8 cm de longitud y más de 2 cm de ancho ***Psittacanthus***

Flores sin cáliz ni pétalos, con tépalos, de menos de 3 mm de longitud, del mismo color que la parte aérea, plantas sin hojas o con hojas de menos de 5 cm de longitud o 2 cm de ancho **(Viscaceae):**

Plantas de color rojizo, amarillento o negruzco, carentes de clorofila; hojas reducidas a brácteas, frutos elongados y bicoloreados, semillas dispersadas de manera explosiva (una excepción); parásitos de coníferas ***Arceuthobium***

Plantas verdes a amarillento, con clorofila; hojas bien desarrolladas, o algunas veces ausentes; frutos redondeados, rosas, rojo pálido o blancos; semillas dispersadas por aves; parásitos en juníferos, cipreses y plantas de flor ***Phoradendron***

5.6 Muérdago *Struthanthus* Mart.

Plantas generalmente arbustivas, hemiparásitas de árboles y arbustos, por lo general dioicas. Presentan raíces epicorticales, las cuales recorren la superficie del tejido del hospedante y forman una intermitente conexión haustorial. Las raíces típicamente son largas. Las hojas son simples, opuestas o alternas, bien desarrolladas, delgadas, gruesas o planas, casi suculentas, glabras. Ramas cilíndricas o comprimidas. Las flores con frecuencia dispuestas en fascículos de 3 (rara vez 2), organizados en inflorescencias indeterminadas; flores pequeñas en espigas, racimos o corimbos; caliculadas, rara vez pediceladas; 6 tépalos, libres, verdosos o amarillentos, las masculinas con 6 estambres y gineceo reducido, las femeninas con androceo reducido. El fruto generalmente es una baya o drupa con una semilla envuelta en una capa viscosa, el cáliz sólo en ocasiones es persistente

en la parte superior del fruto. Semilla con endospermo succulento, carente de testa y rara vez contiene más de un embrión (Cibrián y Alvarado, 2007; Calderón, 2010).

El género *Struthanthus* tiene afinidades a *Cladocolea*, pero se separa por tener inflorescencia indeterminada; es decir, cuando la flor de la punta abre no cesa el crecimiento de la espiga. El género reúne de 50 a 60 especies distribuidas desde México hasta Brasil (Cibrián y Alvarado, 2007). En México se reportan ocho especies, pero se requiere de una revisión taxonómica cuidadosa, ya que algunas especies pueden estar en sinonimia con *Cladocolea* (Cibrián y Alvarado, 2007). Las especies de *Struthanthus* que actualmente se reconocen son *S. condensatus*, *S. deppeanus*, *S. densiflorus*, *S. hankeanus*, *S. hartwegii*, *S. interruptus*, *S. palmeri*, *S. quercicola* y *S. venetus* (Cibrián y Alvarado, 2007) afectando un número reducido de coníferas y un amplio rango de otras plantas leñosas (Geils y Vázquez, 2002; Cibrián y Alvarado, 2007).

5.7 *Struthanthus interruptus* (Kunth) G. Don

La especie se reporta como nativa de México, aunque también se ha encontrado en bosques caducifolios de Nicaragua (Don, 1834). Es una planta arbustiva con tallos lisos excepto por algunas lenticelas dispersas. Hojas ampliamente lanceoladas, hasta 6 cm de largo y 3 cm de ancho, verde-grisáceo, agudas en ambos extremos, coriáceas; peciolo corto de 6 mm de largo. Inflorescencias indeterminadas con tres flores sésiles en el ápice, brácteas y bractéolas caducas; estaminodio en la flor pistilada con anteras sagitadas con conectivos en forma de cornículos, anteras de la flor estaminada claramente dimorfas y con conectivos en flor de cornículos no agudos; estilo extremadamente convoluto, excepto en la base y en el ápice en las flores de ambos sexos. Frutos ovados a elípticos, 9 mm de largo y 5 mm de ancho, rojizo-anaranjados (Don, 1834).

5.8 Estrategias de manejo y control de muérdagos

El control de muérdagos mediante la poda de ramas infectadas o la remoción de árboles severamente afectados son métodos generalmente disponibles; no obstante, existen otras alternativas de control de las que se tiene mayor

conocimiento y pueden constituir métodos adicionales para la reducción del impacto por estas plantas parásitas (Kuijt, 1969; Hawksworth, 1983; Geils y Vázquez, 2002; Vázquez *et al.*, 2006; Mathiasen *et al.*, 2008).

Los métodos de control incluyen el control cultural; control biológico con insectos, ácaros, hongos, aves, roedores e incluso otros muérdagos; control químico mediante la aplicación de herbicidas o reguladores de crecimiento a la planta o inyecciones al tronco; manejo silvícola y uso prescrito de fuego; así como también la selección genética. Estas estrategias de manejo y control pueden realizarse dependiendo de la naturaleza de la planta parásita y la situación, sin embargo, no siempre resultan ser exitosas (Kuijt, 1969; Hawksworth, 1983; Adams *et al.*, 1993; Geils y Vázquez, 2002; Vázquez *et al.*, 2006; Mathiasen *et al.*, 2008).

5.8.1 Manejo silvícola

Los muérdagos así como los árboles que afectan, son parte integral de los ecosistemas de bosques naturales, por lo que no pueden ser erradicados y lo mejor que se puede hacer es reducir las pérdidas provocadas (Muir y Geils, 2002; Vázquez *et al.*, 2006). El manejo integrado de la planta parásita dependerá entonces de las medidas de control (biológico, químico y silvícola) aplicadas, tomando en consideración factores como ubicación y tipo de rodal, incidencia de la planta parásita y situación económica de los propietarios o poseedores del terreno. Entre las prácticas más comunes se encuentran las podas, cortas de saneamiento, cortas intermedias, árboles padre o plus y matarrasa (Muir y Geils, 2002; Vázquez *et al.*, 2006); asimismo, el uso del fuego ha sido una práctica muy empleada como alternativa a las podas (Manion, 1991; Tainter y Baker, 1996; Muir y Geils, 2002).

5.8.2 Control cultural

La principal estrategia de control de muérdago sigue siendo la eliminación física de la planta parásita. Esto se logra podando las ramas infectadas, eliminando periódicamente los brotes de muérdago de las ramas o tronco del hospedante o bien, removiendo árboles severamente afectados (Boyce, 1961; Kuijt, 1969; Hawksworth, 1983; Manion, 1991; Tainter y Baker, 1996; Agrios, 2015). El costo de

estas actividades es alto y solo se justifica en áreas recreativas, urbanas y en árboles de gran valor (Vázquez *et al.*, 2006).

La remoción de los brotes del hospedante no elimina la infección pero reduce su reproducción, incrementa el vigor y reduce la mortalidad del hospedante; aunque muy a menudo los muérdagos rebrotan a partir de su sistema haustorial varios años después (Kuijt, 1969; Geils *et al.*, 2002; Vázquez *et al.*, 2006; Mathiasen *et al.*, 2008). Como medida complementaria a la remoción de brotes se ha llevado a cabo la aplicación de envolturas de plástico negro alrededor de la porción infectada de la rama con la finalidad de prevenir el rebrote (Parker y Riches, 1993 citado por Mathiasen *et al.*, 2008).

5.8.3 Control biológico

A pesar de que existen muchos hongos patógenos e insectos herbívoros de muérdagos, éstos no han sido suficientemente estudiados ni desarrollados para su uso como agentes de control biológico. El reto en su aplicación es asegurar la muerte de la planta parásita, ya que el sistema endofítico puede sobrevivir a pesar de la eliminación de la parte aérea, incluso si la eliminación se lleva a cabo repetidamente (Shamoun y DeWald, 2002; Shamoun *et al.*, 2003).

Las opciones de control biológico con insectos son escasas y se limitan al uso de insectos específicos a ciertos géneros de muérdagos. En *Phoradendron serotinum* se reportó e identificó un picudo barrenador de tallos del género *Myrmex* con potencial para matar los tallos de la planta parásita (Solomon *et al.*, 1984); en el género *Psittacanthus* se han identificado escamas de los géneros *Saccharicoccus* sp., *Gascardia* sp., *Aonidomytilus* sp., *Coccus* sp. y el pulgón del género *Macropiphum* sp., los cuales se alimentan de savia y pueden parasitar hojas, ramas, flores y frutos, causando enanismo y la muerte de las plantas cuando la infección es severa (Vázquez *et al.*, 1986).

En la actualidad existen estudios sobre hongos asociados a muérdagos con potencial para causar enfermedad en las plantas parásitas. En el género *Arceuthobium* se han reportado a los hongos *Colletotrichum gloeosporioides*,

Cylindrocarpon gillii, *Caliciopsis arceuthobii* y *Neonectria neomacrospora*, que pueden matar la parte aérea y el sistema endofítico del muérdago, además de interrumpir su ciclo de vida y reducir su propagación, intensificación y daño; aunque sólo *C. gloeosporioides* y *N. neomacrospora* representan agentes de control biológico más promisorios debido a que atacan brotes aéreos, frutos y sistema endofítico, además de ser virulentos y de fácil cultivo (Shamoun y DeWald, 2002; Shamoun *et al.*, 2003).

En México se han reportado diversos hongos como causantes de enfermedad en muérdagos. *Fusarium solani* se reportó como causante de clorosis, necrosis y defoliación en plantas de *Arceuthobium* spp. (Hernández, 2015); *Alternaria* como causante de necrosis y defoliación de plantas de *Cladocolea* sp. y *Struthanthus* sp. (Alvarado *et al.*, 2010); *Pestalotia* como causante de defoliación en *Cladocolea* sp. (Alvarado *et al.*, 2010); *Fusarium foae* y *F. equiseti* como causantes de clorosis, necrosis y defoliación en *Cladocolea loniceroides* y *Struthanthus interruptus* (Cárdenas, 2014); y *Ceratocystis* como causante del amarillamiento del follaje, tronco y ramillas, e incluso la muerte en *Psittacanthus calyculatus* y *P. americanus* (Vázquez *et al.*, 1986).

5.8.4 Control químico

La elección de un herbicida adecuado para el control de muérdagos ha sido el principal objetivo que por décadas ha sido difícil de alcanzar. El verdadero reto es encontrar un producto químico que sea fácil de aplicar y que cause la muerte del muérdago sin provocar fitotoxicidad en el hospedante u otras especies arbóreas importantes. De lo contrario, la segunda estrategia es lograr la abscisión de los brotes, de manera que reduzca y retarde la dispersión e intensificación de la infección (Shamoun y DeWald, 2002).

El control químico incluye la aplicación de herbicidas por inyección al tronco del hospedante, por aspersión directa a la planta parásita y por aspersión a los muñones como tratamiento complementario a la poda. Los árboles de alto valor en sitios de recreación, residencial o comercial podrían beneficiarse de las aplicaciones

para controlar la propagación e intensificación por estas plantas parásitas (Hoffman, 2004).

El etefón representa uno de los productos más utilizados y promisorios en el manejo y control de muérdagos, principalmente en especies de los géneros *Arceuthobium* y *Phoradendron* (Adams *et al.*, 1993; Shamoun y DeWald, 2002). Este regulador de crecimiento libera etileno mejorando el proceso de maduración, lo que conduce a la abscisión del brote (Adams *et al.*, 1993; Hoffman, 2004). En muérdagos enanos se ha realizado la aspersión directa de las plantas y a pesar de que el producto no logra matar el sistema endofítico y el parásito puede rebrotar rápidamente, se logra el retraso en la producción de semilla y la propagación de la planta de 2 a 4 años (Hoffman, 2004). Para muérdagos verdaderos se ha llevado a cabo la aplicación por aspersión directa de la planta y la aplicación a los muñones (tumores) (Adams *et al.*, 1993); y la inyección al tronco de árboles hospedantes (Cibrián *et al.*, 2010; Martínez, 2015).

Las formulaciones de 2,4-D resultan ser también un método prometedor en el control de muérdagos verdaderos del género *Phoradendron* (Tainter y Baker, 1996). En árboles de sombra severamente afectados con *Phoradendron tomentosum* subsp. *macrophyllum* se observó que la combinación de podas y la aplicación de tratamientos con una mezcla de 2,4-D plus y dicamba controlaron efectivamente el muérdago hasta un año y medio después del tratamiento, retrasando la producción de semilla (Michailides *et al.*, 1987). Árboles de *Carya illinoensis* en huertas del sureste de Estados Unidos fueron tratadas con seis reguladores de crecimiento contra el muérdago *Phoradendron flavescens*. Los tratamientos consistieron en la aspersión de 2,4-D (Amine-4 2,4D), etefón (Ethephon-6), glifosato (Roundup Ultra), paraquat (Gramoxone Extra), poliborato (Borosol-10) y dicamba (Banvel). Los tratamientos que resultaron ser más promisorios como agentes de control fueron 2,4-D y dicamba ya que lograron la muerte de la planta parásita sin mostrar evidencias de rebrote; sin embargo, dicamba mostró potencial de daño al hospedante; mientras que etefón, glifosato, paraquat y poliborato mostraron poca eficiencia. Los daños observados sobre el muérdago fueron desde clorosis ligera de

las hojas, necrosis de puntas y márgenes de las hojas, defoliación parcial o total y el rebrote del haustorio (Wood y Reilly, 2004).

El uso de 2,4-D en muérdagos del género *Psittacanthus* también ha mostrado tener resultados favorables. En árboles de *Pinus leiophylla* parasitados por *Psittacanthus calyculatus* y *P. americanus* se analizó el efecto de la aspersion de los herbicidas Karmex (Diurón), Esterón 47M (2,4-D), Gramoxone (paraquat) y Fitoamina (2,4-D). Los resultados mostraron que ningún producto presentó fitotoxicidad para el hospedante (excepto Gramoxone), mientras que el Esterón (2,4-D) dio el mejor resultado en el control del muérdago, ocasionando la defoliación completa de la planta, seguido de la Fitoamina, el Gramoxone y el Karmex (Vázquez *et al.*, 1986). Con base en estos resultados se realizó un estudio posterior mediante la aspersion del herbicida Esterón 47M (2,4-D) sobre *P. calyculatus* en *Prosopis laevigata*. El experimento consistió en evaluar el efecto de diferentes dosis aplicadas en dos diferentes épocas (verano y primavera) y evaluar la interacción entre dosis y época. Los resultados mostraron que existe diferencia en las tres fuentes de variación (época, dosis e interacción). La primavera resultó ser la mejor época de aplicación, que es cuando el muérdago inicia su crecimiento vegetativo y el herbicida se concentra en los tejidos jóvenes, donde el producto muestra sus mayores efectos al interferir con los procesos normales de crecimiento. Las dosis más eficientes fueron las tres más altas, ya que los efectos sobre la planta parásita fueron más rápidos y perdurables. Se observó defoliación, mortalidad del muérdago y en algunos casos el nulo rebrote. Con respecto a la interacción, se determinó que existe una fuerte relación entre época y dosis, ya que en verano, cuando el muérdago se encontró en sus fases fenológicas finales, se necesitaron dosis mayores para obtener buenos resultados en comparación a las dosis requeridas en primavera, cuando las fases fenológicas iniciaron, las dosis fueron menores (Vázquez, 1994).

La aplicación de herbicidas mediante la inyección al tronco se evaluó en árboles de eucalipto afectados por *Amyema* spp. Los herbicidas que se inyectaron fueron Garlon® (triclopir), Lontrel® (clopyralid), Roundup® (glifosato) y Velpar® (hexaxiona). La mayor eficacia se observó con glifosato y triclopir, mientras que

clopyralid y hexaxiona no mostraron resultados satisfactorios. Este estudio demostró que la inyección al hospedante de ciertos herbicidas es una técnica factible y eficaz para reducir las poblaciones del muérdago presentes en especies de eucalipto, y aunque los resultados pudiesen ser aplicados a otras especies de eucalipto creciendo bajo condiciones similares, la extrapolación a otras especies de hospedantes o muérdagos no es aconsejable sin antes realizar más pruebas (Minko y Fagg, 1989).

En la Ciudad de México, Cibrián *et al.* (2010) realizaron un ensayo con diferentes reguladores de crecimiento para el control químico de *Cladocolea diversifolia* en arbolado urbano compuesto por especies del género *Casuarina*, *Cupressus*, *Eucalyptus*, *Ficus*, *Fraxinus*, *Jacaranda*, *Ligustrum*, *Populus*, *Prunus* y *Schinus*. Los reguladores utilizados fueron paclobutrazol, etefón, ácido naftalenacético, ácido abscísico, muérdago killer inyectable MKI (ácido abscísico + ga3+ga4+ga7 + citocinina), de los cuales los tratamientos con etefón y mezcla MKI (muérdago killer inyectable) en dosis altas provocaron la mayor mortalidad de los brotes evaluados. Sin embargo, la dosis alta de etefón causó un impacto sobre los hospedantes, por lo que los autores recomendaron realizar ajustes a las dosis para evitar fitotoxicidad y propusieron evaluar dosis intermedias en un rango de 62,500 y 250,000 ppm; además de evaluar el producto en otras especies de muérdago de importancia como *Cladocolea loniceroides* y *Struthanthus interruptus* en el área urbana y *Phoradendron spp.* en el sur y poniente de la ciudad, así como evaluarlo en otras especies de árboles hospedantes.

En Hidalgo, México, Martínez (2015) realizó la aplicación de etefón a diferentes dosis para el control de *Phoradendron falcifer*, *Psittacanthus schiedeanus* y *Struthanthus sp.* infectando árboles de *Liquidambar styraciflua*. Las dosis media (2 mL) y alta (3 mL) causaron la defoliación y el desprendimiento de frutos en *Phoradendron falcifer* y *Psittacanthus schiedeanus*; no obstante, no presentaron afectación en *Struthanthus sp.* Asimismo, el autor reportó que la mejor época de aplicación es en enero en comparación con la realizada en abril.

6 LITERATURA CITADA

- Adams, D. H., S. J. Frankel and J. M. Lichter. 1993. Considerations when using ethephon for suppressing dwarf and leafy mistletoe infestations in ornamental landscapes. *Journal of Arboriculture*. 19(6): 351-357.
- Agrios, G. N. 2015. *Fitopatología*. Manuel Guzmán Ortiz (tr.). 2ª Edición. Limusa. México, D.F. pp: 635-647.
- Alvarado R., D., L. de L. Saavedra R., A. Almaraz S., M. Hernández A. y C. Martínez L. 2009. Impacto del muérdago en el arbolado del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente. 82 p.
- Alvarado R., D., L. de L. Saavedra R., A. Almaraz S., M. Hernández A. y C. Martínez L. 2010. Determinación taxonómica de los hongos presentes en las diferentes especies de muérdagos. CNF-CP-SMA, México. 25 p.
- Arriola P., V. J., E. Velasco B., T. Hernández T., A. González H. y M. E. Romero S. 2012. Los muérdagos verdaderos del arbolado de la Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4(19): 34-45.
- Boyce, J. S. 1961. Stem diseases caused by mistletoes, dwarf mistletoes, lichens, and climbers. *In: Forest Pathology*. Boyce, J. S. (ed.) 3rd. ed. McGraw-Hill New York, New York. United States of America. pp: 320-329.
- Calder, M. 1983. Mistletoes in focus: an introduction. *In: The Biology of Mistletoes*. Calder, M. and P. Bernhardt (eds.). Academic Press. Australia. pp: 1-18.
- Calderón, G. 2010. Loranthaceae. *In: Flora Fanerogámica del Valle de México*. J. Rzedowski y G. Calderón (eds.) Edición digital. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. pp: 98-102.
- Cárdenas S., V. 2014. Alternativas de control para el manejo de *Cladocolea Ioniceroides* (Van Tiegh) Kuijt y *Struthanthus interruptus* (Kunth) Blume

presentes en la zona urbana del Distrito Federal, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, México. 145 p.

Chacalo, A., A. Aldama, and J. Grabinsky. 1994. Street tree inventory in Mexico City. *Journal of Arboriculture*. 20(4): 222-226.

Cibrián T., D. 2007. Plantas parásitas – Parasitic plants. *In: Enfermedades Forestales en México - Forest Diseases in Mexico*. Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. (eds.). Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 91-93.

Cibrián T., D. y D. Alvarado R. 2007. Muérdago *Struthanthus* – *Struthanthus* mistletoe. *In: Enfermedades Forestales en México - Forest Diseases in Mexico*. Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. (eds.). Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 436.

Cibrián T., D., I. Vázquez C., J. Cibrián T. 2007. Muérdagos enanos del género *Arceuthobium* – Dwarf mistletoes of the genus *Arceuthobium*. *In: Enfermedades Forestales en México - Forest Diseases in Mexico*. Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. (eds.). Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 357.

Cibrián T., D., V. D. Cibrián Ll., D. G. Ruiz F., A. F. Burke R., U. M. Barrera R., H. C. Álvarez S. y J. M. Cadena B. 2010. Uso de plaguicidas con base en reguladores del crecimiento para el control de muérdago en arbolado urbano. *In: Manejo del Arbolado Urbano Infestado por Muérdago y Otros Agentes que Afectan su Salud en el Distrito Federal*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 106 p.

Don, G. 1834. A General History of the Dichlamydeous Plants, Comprising Complete Descriptions of the Different Orders. Vol. III. Calyciflorae. J. G. and F. Gilbert & Rivington, Printers. London. 413-414 pp.

- Geils, B. W. and I. Vázquez C. 2002. Loranthaceae and Viscaceae in North America. *In: Mistletoes of North American Conifers*. Geils, B. W., J. Cibrián T., and B. Moody (coords.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 1-8.
- Geils, B. W., D. Wiens, and F. G. Hawksworth. 2002. *Phoradendron* in Mexico and the United States. *In: Mistletoes of North American Conifers*. Geils, B. W., J. Cibrián T., and B. Moody (coords.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 19-28.
- Glatzel, G. and B. W. Geils. 2009. Mistletoe ecophysiology: host-parasite interactions. *Botany*. 87: 10-15.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2000. Manual Técnico para la Poda, Derribo y Trasplante de Árboles y Arbustos de la Ciudad de México. Impresora Deseret. México. 144 p.
- Hawksworth, F. G. 1983. Mistletoes as forest parasites. *In: The Biology of Mistletoes*. Calder, M. and P. Bernhardt (eds.). Academic Press. Australia. pp: 317-333.
- Hernández P., S. 2015. Búsqueda de agentes de control biológico en muérdago del género *Arceuthobium*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, México. 88 p.
- Hoffman, J. T. 2004. Management guide for dwarf mistletoe *Arceuthobium* spp. Forest Health Protection and State Forestry Organizations. 14 p.
- Knutson, D. M. 1983. Physiology of mistletoe parasitism and disease responses in the host. *In: The Biology of Mistletoes*. Calder, M. and P. Bernhardt (eds.). Academic Press. Australia. pp: 295-316.

- Koch D., S. y D. Cibrián T. 2007. Clave para los géneros de muérdagos de México / Key to Mexican mistletoe genera. *In: Enfermedades Forestales en México - Forest Diseases in Mexico*. Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. (eds.). Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 356.
- Kuijt, J. 1969. *The Biology of Parasitic Flowering Plants*. University of California Press. Berkeley and Los Angeles. United States of America. 246 p.
- Manion, P. D. 1991. *Tree Disease Concepts*. 2nd. ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, United States of America. pp: 315-327.
- Marchal V., D. 2009. El muérdago en la Ciudad de México. *Arbolama*. 2: 10-30.
- Martínez, M., J. J. 2015. Efecto del etefón en el control del muérdago y la producción de resina en liquidámbar. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. 103 p.
- Mathiasen, R. L., D. L. Nickrent, D. C. Shaw, and D. M. Watson. 2008. Mistletoes: pathology, systematics, ecology, and management. *Plant Disease*. 92(7): 988-1006.
- Michailides, T. J., J. M. Ogawa, J. R. Parmeter Jr., and S. Yoshimine. 1987. Survey for and chemical control of leafy mistletoe (*Phoradendron tomentosum* subsp. *macrophyllum*) on shade trees in Davis, California. *Plant Disease*. pp: 533-536.
- Minko, G. and P. C. Fagg. 1989. Control of some mistletoe species on eucalyptus by trunk injection with herbicides. (Abstr.) *Australian Forestry*. 52(2): 94-102.
- Muir, J. A. and B. W. Geils. 2002. Management strategies for dwarf mistletoe: Silviculture. *In: Mistletoes of North American Conifers*. Geils, B. W., J. Cibrián T., and B. Moody (coords.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 83-94.

- Nickrent, D. L. 2002. Parasitic plants of the world. *In*: Guide to the Parasitic Plants of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. López-Sáez, J. A., P. Catalán and L. Sáez (eds.). pp: 1-29.
- Nickrent, D. L., R. J. Duff, A. E. Colwell, A. D. Wolfe, N. D. Young, K. E. Steiner, and C. W. dePamphilis. 1998. Molecular phylogenetic and evolutionary studies of parasitic plants. *In*: Molecular Systematics of Plants II. Soltis, D. E., P. S. Soltis, J. J. Doyle (eds.). Springer US. United States of America. pp: 211-241.
- Nickrent, D. L. and L. J. Musselman. 2004. Introduction to parasitic flowering plants. The Plant Health Instructor. American Phytopathological Society. Disponible en:
<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/pathogengroups/pages/parasiticplants.aspx>
- Olsen, M. W. 2003. True Mistletoes. The University of Arizona Cooperative Extension. College of Agriculture and Life Sciences. Tucson, Arizona, United States of America. 3 p.
- Pérez O., C. de la P., J. Ceja R. y G. Vela R. 2006. Árboles y muérdagos: una relación que mata. ContactoS. 59: 28-34.
- Press, M. C. and G. K. Phoenix. 2005. Impacts of parasitic plants on natural communities. New Phytologist. 166: 737-751.
- Shamoun, S. F., T. D. Ramsfield, and B. J. van der Kamp. 2003. Biological control approach for management of dwarf mistletoes. New Zealand Journal of Forestry Science. 33(3): 373-384.
- Shamoun, S. F. and L. E. DeWald. 2002. Management strategies for dwarf mistletoes: biological, chemical, and genetic approaches. *In*: Mistletoes of North American Conifers. Geils, B. W., J. Cibrián T., and B. Moody (coords.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S. Department

of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 75-82.

SMA. 2013. Las áreas verdes urbanas y tú. Secretaría del Medio Ambiente, Distrito Federal, México. 14 p.

Solomon, J. D., L. Newsome, and T. H. Filer. 1984. Discovery and observations of a stem-boring weevil (*Myrmex* sp.) a potentially useful biocontrol of mistletoe. *Journal of the Mississippi Academy of Sciences*. 29: 7-11.

Standley, P.C. 1922. Trees and Shrubs of Mexico (Fagaceae-Fabaceae). Volume 23, Part 2. Washington Government Printing Office. United States of America. pp: 222-235.

Tainter, F. H. and F. A. Baker. 1996. Parasitic flowering plants. *In: Principles of Forest Pathology*. Tainter, F. H., and F. A. Baker. John Wiley & Sons, Inc. Canada. pp: 143-150.

Vázquez C., I. 1994. Determinación de la época y dosis del esterón 47M para el control del muérdago verdadero (*Psittacanthus calyculatus*) en mezquite (*Prosopis laevigata*). *Ciencia Forestal en México*. 19(76): 27-50.

Vázquez C., I., R. Pérez C. y R. Pérez C. 1986. Control químico del muérdago verdadero (*Psittacanthus* sp.) en la Sierra Purépecha (Meseta Tarasca). *Ciencia Forestal*. 11(59): 106-126.

Vázquez C., I., A. Villa R. y S. Madrigal H. 2006. Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 93 p.

Velasco B., E., J. F. Reséndiz M., L. Sandoval C., L. P. Olvera C., F. Moreno S., M. V. Gutiérrez G. y O. Cedeño S. 2002. Diagnóstico sanitario de los bosques del Distrito Federal, México. *Ciencia Forestal en México*. 27(91): 7-26.

- Vijayan, A., S. Santhakumar, P. Vivekraj, and S. Kalavathy. 2015. Parasitism of host trees by the Loranthaceae in the region of Sitheri Hills (Eastern Ghats), Tamil Nadu, India. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 4(3): 104-109.
- Watson, L. and M. J. Dallwitz. 1992. The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Digital version: 16th February 2016. Disponible en:
<http://delta-intkey.com/angio/www/lorantha.htm>
- Wood, B. W. and C. C. Reilly. 2004. Control of Mistletoe in Pecan Trees. *HortScience*. 39(1):110-114.

CAPITULO I. ESTUDIO PRELIMINAR PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DEL MUÉRDAGO VERDADERO *Struthanthus interruptus* (KUNTH) G. DON

Claudia Contreras Ruiz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

Una de las principales causas que afectan el arbolado urbano de la Ciudad de México es la infección por diferentes muérdagos. *Struthanthus* es uno de los géneros reportados como causantes de infecciones severas en las diversas áreas verdes. El manejo de estas plantas parásitas se ha enfocado principalmente a la poda de ramas y derribo de árboles, aunque, no siempre han generado resultados favorables. Estudios recientes han demostrado el potencial de diversos hongos como agentes de control biológico. Por lo que el objetivo de este estudio fue determinar la patogenicidad de hongos aislados de muérdagos contra *S. interruptus*. A partir del material vegetal colectado se aislaron hongos de los géneros *Epicoccum*, *Fusarium*, *Pestalotia* y *Phoma*. Los cuatro hongos y *F. solani* (aislamiento de *Arceuthobium* sp.) se inocularon de manera individual *in vitro* en hojas de *S. interruptus*. Al finalizar el periodo de evaluación no se observaron síntomas de enfermedad; sin embargo, en campo se asperjaron tres dosis de *Phoma*, tres de *F. solani* y agua destilada estéril (testigo). A los 45 días después de la aplicación de tratamientos se observaron pequeñas manchas necróticas en las hojas tratadas con hongos y agua destilada estéril. La aplicación de todos los tratamientos ocasionó la defoliación parcial. Se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. La aplicación de *F. solani* en dosis alta provocó la mayor defoliación (54.14 %), seguido del tratamiento con agua destilada estéril (39.57 %).

Palabras clave: *Phoma*, *Fusarium solani*, plantas parásitas.

CHAPTER I. PRELIMINARY STUDY FOR BIOLOGICAL CONTROL OF MISTLETOE TRUE *Struthanthus interruptus* (KUNTH) G. DON

Claudia Contreras Ruiz, M.Sc.

Colegio de Postgraduados, 2017

One of the main causes that affect the urban trees of Mexico City is the infection by different mistletoes. *Struthanthus* is one of the reported genera that causes severe infections in various green areas. Management of these parasitic plants has mainly focused on branch pruning and tree removal, however these practices are not always effective. Recent studies have demonstrated the potential of various fungi as biological control agents. So, this study aimed to determine the pathogenicity of fungi isolated from mistletoes against *S. interruptus*. From collected plant material were isolated *Epicoccum*, *Fusarium*, *Pestalotia*, and *Phoma* fungi genera. The four fungi and *F. solani* (isolation from *Arceuthobium* sp.) were individually *in vitro* inoculated on detached leaves of *S. interruptus*. At the end of the evaluation period no disease symptoms were observed; despite this, on the field, three doses of *Phoma*, three doses of *F. solani*, and sterile distilled water (control) were sprayed on mistletoe plants. At 45 days after application of treatments, small necrotic spots were observed on the leaves treated with fungi and those treated with sterile distilled water. The application of all treatments caused partial defoliation. Statistical differences were observed among treatments. The application of high dose of *F. solani* caused the highest defoliation (54.14 %), followed by sterile distilled water treatment (39.57 %).

Keywords: *Phoma*, *Fusarium solani*, parasitic plants.

1 INTRODUCCIÓN

Los muérdagos son un grupo diverso de plantas parásitas que comprenden cerca de 1,300 especies distribuidas ampliamente alrededor del mundo. Estas especies parasitan un gran número de coníferas y otras plantas leñosas (Calder, 1983; Calder y Bernhardt, 1983; Nickrent, 2002; Shaw y Mathiasen, 2013). La infección ocasiona escobas de bruja; muerte descendente; reducción del crecimiento, sobrevivencia y capacidad reproductiva; mayor susceptibilidad a otros daños o enfermedades; e incluso la muerte del hospedante cuando la infección es severa (Hawksworth, 1983; Knutson, 1983; Manion, 1991; Tainter y Baker, 1996; Geils y Vázquez, 2002).

En la actualidad existen diversos trabajos con hongos patógenos e insectos herbívoros que no han sido suficientemente estudiados ni desarrollados para su uso como agentes de control biológico (Shamoun y DeWald, 2002; Shamoun *et al.*, 2003). Algunos de ellos, sólo se limitan al uso de organismos específicos a ciertos géneros o especies de muérdagos, principalmente en *Arceuthobium* y *Phoradendron*.

En México, el control biológico con hongos asociados ha cobrado especial interés en los últimos años; lo que podría representar una alternativa complementaria y promisorio en el manejo de muérdagos. Algunos resultados favorables incluyen a *Ceratocystis* para el control de *Psittacanthus* sp. (Vázquez *et al.*, 1986); *Pestalotia* sp. y *Alternaria* spp. para el control de *Cladocolea* y *Struthanthus* (Alvarado *et al.*, 2010) y *Fusarium solani* en *Arceuthobium* spp. (Hernández, 2015).

El reto en la aplicación de dichos agentes es asegurar la muerte de la planta parásita, afectando la parte aérea y el sistema endofítico (Shamoun y DeWald, 2002; Shamoun *et al.*, 2003). Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la patogenicidad *in vitro* y en campo de los hongos aislados de muérdagos verdaderos presentes en la Ciudad de México para el control biológico del muérdago verdadero *S. interruptus*.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Colecta de material vegetal

La colecta de material vegetal se realizó en 15 áreas verdes distribuidas en cuatro zonas de la Ciudad de México (Cuadro 1) de enero a abril de 2015. Los géneros de muérdagos verdaderos que se colectaron fueron *Cladocolea* y *Struthanthus*. La muestra consistió en cortar un tallo del muérdago con presencia de hojas con síntomas (manchas necróticas). Las muestras se colocaron cuidadosamente en papel periódico y se llevaron al Laboratorio de Patología Forestal del Posgrado en Fitosanidad-Fitopatología en el Colegio de Postgraduados para su procesamiento.

Cuadro 1. Áreas verdes en la Ciudad de México donde se realizó la colecta de material vegetal.

Sitios de colecta	Coordenadas		Muestras colectadas
	Latitud (N)	Longitud (O)	
Centro-Cuauhtémoc			
Jardín Alexander Pushkin	19° 25' 13.12"	99° 09' 16.85"	10
Jardín Artes Gráficas	19° 24' 46.85"	99° 08' 52.25"	10
Jardín Ramón López Velarde	19° 24' 34.27"	99° 09' 22.66"	10
Centro-Venustiano Carranza			
Jardín Convención de Aguascalientes	19° 26' 13.98"	99° 06' 54.28"	5
Jardín Lecumberri	19° 26' 11.39"	99° 06' 41.29"	5
Jardín Oaxaca	19° 26' 09.63"	99° 06' 54.77"	5
Jardín Periodistas Ilustres	19° 25' 12.44"	99° 07' 08.18"	10
Plaza Cívica Venustiano Carranza	19° 26' 16.06"	99° 06' 39.44"	5
Norte			
Alameda Norte	19° 29' 57.00"	99° 10' 42.15"	10
Parque Tezozómoc	19° 29' 57.18"	99° 12' 33.88"	10

Continuación del **Cuadro 1.**

Sitios de colecta	Coordenadas		Muestras colectadas
	Latitud (N)	Longitud (O)	
Sur			
Museo Nacional de las Intervenciones	19° 21' 17.99"	99° 08' 54.52"	10
Parque de La Bombilla	19° 20' 48.82"	99° 11' 11.24"	5
Parque Tagle	19° 20' 54.15"	99° 10' 58.12"	5
Parque Xicoténcatl	19° 21' 22.59"	99° 09' 03.11"	10
Plaza San Jacinto	19° 20' 40.19"	99° 11' 31.78"	5
Total			115

2.2 Aislamiento y purificación

Muestras sintomáticas y asintomáticas colectadas en campo se cortaron en secciones de 0.4 x 1.0 cm. Las secciones se desinfectaron con hipoclorito de sodio (NaClO) al 1% durante tres minutos, se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril y se dejaron secar cerca del mechero sobre papel absorbente esterilizado. De cada muestra colectada se sembraron 10 secciones desinfectadas en medio PDA (papa-dextrosa-agar). Los hongos que se desarrollaron en las placas Petri se purificaron mediante la técnica de punta de hifa. El incremento del inóculo se realizó a partir de la siembra de discos miceliales en PDA, los cuales se incubaron durante 10 días. Las condiciones de incubación desde la siembra del material vegetal, purificación e incremento del inóculo fueron a 22 - 25 °C y 24 h luz.

2.3 Identificación de hongos

La identificación de los hongos aislados se realizó a partir de la observación de las estructuras de reproducción. Se realizaron preparaciones con glicerina al 10 % y con ayuda del microscopio compuesto se registraron los tamaños de 20 conidios y conidiomas en cada preparación. La identificación de género se realizó con las claves de Barnett y Hunter (2006).

La incidencia de los hongos se determinó con la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Número de muestras con presencia del hongo}}{\text{Número total de muestras colectadas}} \times 100$$

2.4 Pruebas de patogenicidad *in vitro*

La patogenicidad *in vitro* de los hongos aislados de muérdagos verdaderos y *Fusarium solani*, aislado del muérdago enano *Arceuthobium* por Hernández (2015), se corroboró mediante la aspersion de esporas en hojas de *S. interruptus*. Un día previo al establecimiento del experimento, el material vegetal se colectó en el Jardín Alexander Pushkin y se trasladó al Laboratorio de Patología Forestal. En cada placa Petri esterilizada se colocó una sanita estéril humedecida con agua destilada estéril; sobre ésta, se colocaron 10 hojas asintomáticas (sin manchas necróticas o con el menor número de ellas) previamente desinfestadas. La suspensión de esporas se ajustó con una cámara de Neubauer a 1×10^6 esporas mL^{-1} y se aplicó por goteo con una jeringa desechable de 10 mL. Todo lo anterior se realizó cerca de los mecheros. El experimento se mantuvo a 22 - 25 °C y luz constante. La unidad experimental estuvo constituida por una placa Petri con 10 hojas asintomáticas previamente desinfestadas. Se evaluaron 24 tratamientos inoculados de manera individual. En 15 tratamientos se aplicaron las cepas de *Phoma* aisladas de cada uno de los sitios de colecta; 5 tratamientos con las cepas de *Epicoccum*; un tratamiento con *Fusarium*; uno con *Pestalotia*; uno con *F. solani* y el último tratamiento con agua destilada estéril (testigo). Cada tratamiento presentó dos repeticiones en un diseño experimental completamente al azar. El número total de unidades experimentales que se estudiaron fueron 48. La variable evaluada fue incidencia de hojas necróticas (%) a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas después de haber sido inoculadas (hdi).

La incidencia de hojas necróticas se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Número de hojas necróticas en la unidad experimental}}{10} \times 100$$

2.5 Pruebas de patogenicidad *in vivo*

El experimento se estableció en el jardín Alexander Pushkin, ubicado en las coordenadas 19° 25' 12.64" de latitud norte y 99° 9' 17.03" de longitud oeste, en la colonia Roma Norte, delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México del 16 de octubre al 27 de noviembre de 2016. La selección del hongo con potencial para la aplicación en campo se realizó tomando en consideración los criterios de frecuencia en las áreas de colecta, cercanía al área del experimento, rápido crecimiento y fácil cultivo.

2.5.1 Diseño experimental

La unidad experimental estuvo constituida por una ramilla de *S. interruptus* con un mínimo de 10 hojas; con el propósito de evitar la contaminación de tratamientos, las unidades experimentales se colocaron a un distanciamiento de 60 cm. Para el control de esta planta parásita se evaluaron siete tratamientos inoculados de manera individual. En seis se aplicaron suspensiones de esporas de *Phoma* sp. y *Fusarium solani* en dosis clasificadas como alta (1×10^6 esporas mL⁻¹), media (5×10^5 esporas mL⁻¹) y baja (2.5×10^5 esporas mL⁻¹) y en el séptimo, agua destilada estéril (testigo). Cada tratamiento presentó siete repeticiones (una por árbol) en un diseño experimental completamente al azar. El número total de unidades experimentales que se estudiaron fueron 49. La variable evaluada fue defoliación (%) del muérdago verdadero días después de la aplicación de los tratamientos. Se realizaron un total de cuatro evaluaciones; una antes de realizar la aplicación de tratamientos y las tres restantes cada 14 días.

Para calcular el porcentaje de foliación del muérdago se contabilizó el número total de hojas de cada unidad experimental antes y después de la aplicación de tratamientos y a partir de ello, se calcularon los valores de defoliación con la siguiente fórmula:

$$\text{Defoliación del muérdago (\%)} = \frac{\text{Número inicial de hojas} - \text{Número final de hojas}}{\text{Número inicial de hojas}} \times 100$$

2.5.2 Aplicación de tratamientos

La aplicación de tratamientos consistió en la aspersión a punto de goteo de cada una de las unidades experimentales. Las suspensiones de esporas se ajustaron con una cámara de Neubauer a las dosis indicadas anteriormente. Al agua destilada estéril utilizada en la preparación de los tratamientos se le agregó 1.5 mL L⁻¹ del adherente Dap Plus®. Los tratamientos se prepararon en el Laboratorio de Patología Forestal y se trasladaron al jardín en una hielera.

Previo a la aplicación de tratamientos, las ramillas se desinfestaron con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 1% durante 3 minutos, se enjuagaron con suficiente agua destilada estéril; una vez que éstas se secaron, se asperjaron los tratamientos. Se realizaron dos aplicaciones de tratamientos, la primera el 16 de octubre de 2015 y la segunda cuatro semanas después. En ésta última, no se realizó la desinfestación de ramillas, no obstante, se consideraron las mismas condiciones que durante la primera aplicación.

Finalmente, el re-aislamiento de los hongos se realizó en medio PDA a partir de la colecta de la totalidad de hojas de cada tratamiento para cada una de las repeticiones. Lo anterior con el objetivo de corroborar que se trataran de los mismos hongos.

2.6 Análisis estadístico

La variable respuesta fue la defoliación del muérdago (%), cuyos valores se sometieron a un análisis de varianza y separación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Dicho análisis se realizó con el programa SPSS Statistics V 22 (IBM Corporation, USA).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Hongos aislados

Se identificaron cuatro hongos anamórficos de los géneros *Epicoccum*, *Fusarium*, *Pestalotia* y *Phoma* asociados a manchas necróticas en follaje de muérdagos verdaderos (**Figura 1**).

3.2 Descripción morfológica

Epicoccum produjo numerosos esporodoquios color café oscuro de 153 (130-187) μm de diámetro; conidióforos cortos, agrupados en racimos; conidios globosos a piriformes de 12 (10-15) μm con una base en forma de embudo, multicelulares (dictiosporas), pigmentados café oscuro con una superficie dentada externa. En medio PDA, las colonias se observaron algodonosas de color amarillo a naranja o rojo intenso. Todas las características coincidieron con lo reportado por Barnett y Hunter (2006) y Fatima *et al.* (2016).

Fusarium presentó conidios hialinos formados a partir de conidióforos simples en el micelio, septados (3-5), ligeramente curvos, miden 28 (25-35) \times 3 (2-5) μm ; tienen una célula basal en forma de pie y una célula apical puntiaguda. En PDA se observó abundante micelio de aspecto algodonoso de color crema a rosado. Lo anterior coincidió con lo reportado por Barnett y Hunter (2006).

Pestalotia mostró esporas fusiformes de color café de 25 (22-25) \times 5 (5-6) μm ; con cinco células, las centrales café y las del ápice hialinas; apéndices apicales hialinos (2-3). El hongo en medio PDA presentó acérvulos de color café oscuro a negro sobre el micelio blanquecino. Las características coincidieron con lo reportado por Barnett y Hunter (2006).

Phoma expuso abundantes picnidios de color café oscuro a negro de 114 (72-158) μm de diámetro, lenticulares a globos, abriéndose en un ostiolo; conidios pequeños, hialinos, unicelulares, ovoides de 4 (3-5) \times 2.5 μm . En medio PDA la colonia se observó de color café oscuro a negro oliváceo. Lo anterior coincidió con lo descrito por Boerema *et al.*, (2004) y Barnett y Hunter (2006).

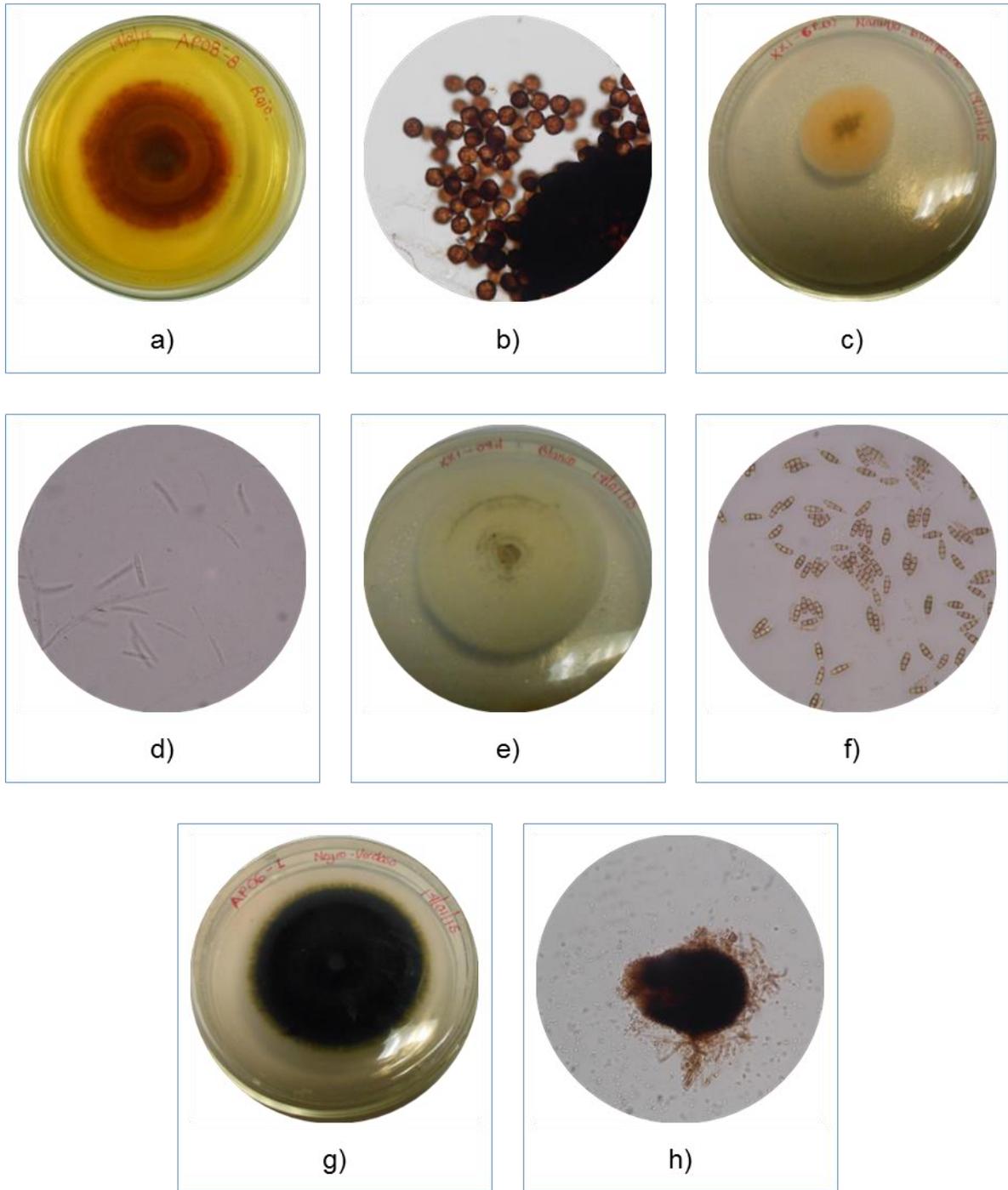


Figura 1. Hongos aislados de muérdagos verdaderos: a) colonia y b) conidios de *Epicoccum* sp.; c) colonias y d) conidios de *Fusarium* sp.; e) colonia y f) conidios de *Pestalotia* sp.; g) colonia y h) picnidio y conidios de *Phoma* sp.

3.3 Incidencia de hongos aislados

Phoma fue el hongo de mayor incidencia (53 %) en las muestras colectadas de *Cladocolea* y *Struthanthus*; encontrándose en todos los sitios de colecta. El segundo hongo de mayor incidencia fue *Epicoccum* (16 %) aislado en su mayoría de *S. interruptus*. Los hongos de menor incidencia fueron *Fusarium* y *Pestalotia* con 1 % cada uno, aislados de *S. interruptus* (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Incidencia de hongos aislados de muérdagos verdaderos en la Ciudad de México.

Muérdago	Sitio de colecta	Frecuencia (%)			
		<i>Epicoccum</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Pestalotia</i>	<i>Phoma</i>
<i>Cladocolea</i> spp.	Alameda Norte	0	0	0	5
	Parque de La Bombilla	0	0	0	1
	Parque Tagle	0	0	0	1
	Parque Tezozómoc	0	0	0	5
	Parque Xicoténcatl	0	0	0	4
	Plaza San Jacinto	3	0	0	2
	<i>Struthanthus</i> spp.	Jardín Convención de Aguascalientes	0	0	0
Jardín Lecumberri		0	0	0	3
Jardín Oaxaca		0	0	0	3
Jardín Periodistas Ilustres		0	0	0	7
Plaza Cívica Venustiano Carranza		0	0	0	2

Continuación **Cuadro 2.** Incidencia de hongos aislados de muérdagos verdaderos en la Ciudad de México.

Muérdago	Sitio de colecta	Frecuencia (%)			
		<i>Epicoccum</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Pestalotia</i>	<i>Phoma</i>
<i>Struthanthus interruptus</i>	Jardín Alexander Pushkin	4	0	0	5
	Jardín Artes Gráficas	4	1	0	4
	Jardín Ramón López Velarde	1	0	1	4
	Museo Nacional de las Intervenciones	4	0	0	5
	Total	16	1	1	53

3.4 Pruebas de patogenicidad *in vitro*

Se realizaron observaciones a las 24, 48, 72, 96 y 120 hddi; sin embargo, al término del periodo de evaluación, las hojas que se inocularon con la suspensión de esporas y aquellas que se trataron con agua destilada estéril, no mostraron síntomas ni signos. Alvarado *et al.* (2010) reportaron que la aplicación *in vitro* de *Pestalotia* (828,000 esporas mL⁻¹) causó a las 48 hddi, la necrosis en hojas de *Struthanthus*, mientras que los síntomas por *Phoma* (75,000 esporas mL⁻¹) se observaron 96 hddi; Hernández (2015) reportó que la aplicación de *Phoma* y *Fusarium* (20,000 y 100,000 esporas mL⁻¹) causaron la marchitez y necrosis en ramillas de *Arceuthobium* a las 96 hddi. A pesar de haber utilizado una concentración mayor que la reportada por estos autores (1 × 10⁶ esporas mL⁻¹), no se logró la observación de micelio, necrosis o marchitez en las hojas del muérdago *S. interruptus*.

3.5 Pruebas de patogenicidad *in vivo*

Los síntomas en campo se observaron 14 días después de la inoculación (ddi) y fueron más evidentes a los 42 ddi (**Figura 2**). La aspersion de *Phoma* y *Fusarium solani* ocasionaron la formación de pequeñas manchas necróticas en el follaje del

muérdago, lo que coincide con lo reportado por Alvarado *et al.* (2010) y Hernández (2015).

Los hongos re-aislados a partir de la colecta y procesamiento de las hojas de muérdago en cada uno de los tratamientos se muestran a continuación. Es importante aclarar que debido a las actividades de remodelación del jardín no se recolectó la totalidad del material vegetal (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Hongos re-aislados de las hojas de muérdago.

Tratamiento [†]	Número de ramillas colectadas	Re-aislamientos [‡]		
		<i>Phoma</i> sp.	<i>Fusarium solani</i>	Testigo
PhB	7	3	-	-
PhM	5	1	-	-
PhA	6	1	-	-
FsB	7	-	3	-
FsM	6	-	4	-
FsA	5	-	1	-
Tes	6	2	-	-

[†]Tratamientos aplicados a *S. interruptus*. Ph: tratamientos con *Phoma*; Fs: tratamientos con *Fusarium solani* en dosis baja (B), media (M) y alta (A); Tes: testigo. [‡]Número de ramillas donde se obtuvieron re-aislamientos de hongos.

En los tratamientos con agua destilada estéril (testigo) se re-aisló a *Phoma*, lo que sugiere la existencia del hongo de manera endofítica en el follaje del muérdago *S. interruptus*. Algunos autores han reportado hongos que pueden encontrarse dentro de los tejidos de las plantas sin ocasionarles síntomas aparentes de enfermedad (Suryanarayanan *et al.*, 2000; Martin *et al.*, 2012).



Figura 2. Pruebas de patogenicidad en ramillas de *Struthanthus interruptus* evaluados a los 42 ddi en dosis baja (2.5×10^5 esporas mL^{-1}), media (5×10^5 esporas mL^{-1}) y alta (1×10^6 esporas mL^{-1}) de *Phoma* sp. (a, b y c) y *Fusarium solani* (d, e y f); g) testigo.

La aplicación de *Phoma* sp. y *Fusarium solani* no logró la defoliación completa de la ramilla del muérdago verdadero *S. interruptus*; no obstante, todos los tratamientos causaron defoliación parcial. En los resultados de la evaluación realizada 42 ddi se observó que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos ($F=1.642$, $gl=6$, $p=0.164$), el mayor porcentaje de defoliación se observó en el tratamiento FsA (54 %); seguido por el Tes (40 %), FsM (38 %), FsB (30 %), PhA (23 %), PhM (23 %) y PhB (20 %) (**Cuadro 4**).

Cuadro 4. Defoliación del muérdago verdadero por efecto de la aplicación de *Phoma* sp. y *Fusarium solani*.

Tratamientos [†]	Número de ramillas evaluadas	Porcentaje de defoliación [§]
PhB	6	20.33 A
PhM	7	23.00 A
PhA	6	23.17 A
FsB	5	29.60 A
FsM	5	37.60 A
FsA	7	54.14 A
Tes	7	39.57 A

[†]Tratamientos aplicados a *S. interruptus*. Ph: tratamientos con *Phoma*; Fs: tratamientos con *Fusarium solani* en dosis baja (B), media (M) y alta (A); Tes: testigo. [§]Misma letra en la columna indica que son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los resultados de la aplicación en campo con hongos asociados y agua destilada estéril (testigos) no presentaron diferencias significativas en la defoliación de las ramillas de muérdago, lo que sugiere que la eficacia de los tratamientos pudo haber estado influenciada por otras variables. Ramsfield *et al.* (2005) mencionaron que las condiciones ambientales pueden ser limitantes en la aplicación de *Colletotrichum gloeosporioides* para el control de *Arceuthobium americanum*. Estos autores reportaron que la inoculación en verano no mostró diferencias estadísticamente significativas, por tal motivo, indicaron que la inoculación en primavera u otoño

podría afectar el resultado. Alvarado *et al.* (2010) realizaron la aplicación en primavera y verano de *Alternaria* y *Pestalotia* en plantas de *Cladoclea* y *Struthanthus*, encontrando resultados favorables. En la presente investigación, la inoculación de los hongos se realizó en otoño, de modo que la época de aplicación de tratamientos pudo afectar el resultado.

Durante el periodo de establecimiento y evaluación del experimento, se llevaron actividades de remodelación en el jardín, las cuales pudieron generar estrés en los árboles y afectar su crecimiento, salud y estructura (Coder, 2007), influyendo directamente en el vigor del muérdago (Knutson y Tinnin, 1980; Olsen, 2003).

Hernández (2015) reportó que la aplicación en campo de *F. solani* causó síntomas de marchitez y necrosis en plantas de *Arceuthobium* spp. A pesar de haber utilizado en la presente investigación la misma cepa e incluso una concentración mayor (1×10^6 esporas mL⁻¹), las plantas de *S. interruptus* no mostraron la misma severidad e incidencia de la enfermedad.

Aunque la aplicación en condiciones *in vitro* de *Epicoccum*, *Fusarium*, *Pestalotia*, *Phoma* y *F. solani* no causó síntomas de enfermedad, en campo *Phoma* sp. y *F. solani* causaron pequeñas manchas necróticas y defoliación parcial de la planta parásita, por lo que resulta importante continuar realizando más pruebas a fin de determinar la dosis y el periodo de aplicación más adecuado para el control biológico de *S. interruptus*.

4 CONCLUSIONES

- Se identificó a *Epicoccum*, *Fusarium*, *Pestalotia* y *Phoma* asociados al follaje de muérdagos verdaderos de los géneros *Cladocolea* y *Struthanthus*.
- *Phoma* sp. presentó la mayor incidencia encontrándose en todos los sitios de colecta en la Ciudad de México.
- *Fusarium solani* causó el porcentaje de defoliación más alto (54.14 %), por lo que puede tener gran potencial como agente de control biológico en muérdagos verdaderos del género *Struthanthus*.

5 LITERATURA CITADA

- Alvarado R., D., L. de L. Saavedra R., A. Almaraz S., M. Hernández A. y C. Martínez L. 2010. Determinación taxonómica de los hongos presentes en las diferentes especies de muérdagos. CNF-CP-SMA, México. 25 p.
- Barnett, H. L. and B. B. Hunter. 2006. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Fourth Edition. APS Press. United States of America. 218 p.
- Boerema, G. H., J de Gruyter, M. E. Noordeloos and M. E. C. Hamers. 2004. Phoma Identification Manual – Differentiation of Specific and Infra-specific Taxa in Culture. Biddles Ltd, King's Lynn. United Kingdom. pp: 11-12.
- Calder, M. 1983. Mistletoes in focus: an introduction. *In: The Biology of Mistletoes.* Calder, M. and P. Bernhardt (eds.). Academic Press. Australia. pp: 1-18.
- Calder, M. and P. Bernhardt. 1983. The Biology of Mistletoes. Calder, M. and P. Bernhardt (eds.) Academic Press, Australia. 348 p.
- Coder, K. D. 2007. Soil Compaction, Stress and Trees: Symptoms, Measures, Treatments. University of Georgia. Warnell School of Forestry & Natural Resources. Warnell School Outreach Monograph WSNR07-9. 99 p.
- Fatima N., T. Ismail, S. A. Muhammad, N. Jadoon, S. Ahmed, S. Azhar and A. Mumtaz. 2016. *Epicoccum* sp., an emerging source of unique bioactive metabolites. Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research. 73(1): 13-21.
- Geils, B. W. and I. Vázquez C. 2002. Loranthaceae and Viscaceae in North America. *In: Mistletoes of North American Conifers.* Geils, B. W., J. Cibrián T., and B. Moody (coords.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 1-8.

- Hawksworth, F. G. 1983. Mistletoes as forest parasites. *In: The Biology of Mistletoes.* Calder, M. and P. Bernhardt (eds.). Academic Press. Australia. pp: 317-333.
- Hernández P., S. 2015. Búsqueda de agentes de control biológico en muérdago del género *Arceuthobium*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, México. 88 p.
- Knutson, D. M. and R. Tinnin. 1980. Dwarf Mistletoe and Host Tree Interactions in Managed Forests of the Pacific Northwest. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-111. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 19 p.
- Manion, P. D. 1991. Tree Disease Concepts. 2nd. ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, United States of America. pp: 315-327.
- Martin, L. L., C. M. Ross F., and L. A. Phillips. 2012. Fungal endophytes of the obligate parasitic dwarf mistletoe *Arceuthobium americanum* (Santalaceae) act antagonistically *in vitro* against the native fungal pathogen *Cladosporium* (Davidiellaceae) of their host. American Journal of Botany. 99(12): 2027-2034.
- Nickrent, D. L. 2002. Parasitic plants of the world. *In: Guide to the Parasitic Plants of the Iberian Peninsula and Balearic Islands.* López-Sáez, J. A., P. Catalán and L. Sáez (eds.). pp: 1-29.
- Olsen, M. W. 2003. True Mistletoes. The University of Arizona Cooperative Extension. College of Agriculture and Life Sciences. Tucson, Arizona, United States of America. 3 p.
- Ramsfield, T. D., S. F. Shamoun, and B. J. van der Kamp. 2005. Infection of *Arceuthobium americanum* by *Colletotrichum gloeosporioides* and its potential for inundative biological control. Forest Pathology. 35: 332-338.

- Shamoun, S. F. and L. E. DeWald. 2002. Management strategies for dwarf mistletoes: biological, chemical, and genetic approaches. *In: Mistletoes of North American Conifers*. Geils, B. W., J. Cibrián T., and B. Moody (coords.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 75-82.
- Shamoun, S. F., T. D. Ramsfield, and B. J. van der Kamp. 2003. Biological control approach for management of dwarf mistletoes. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 33(3): 373-384.
- Shaw, D. C. and R.L. Mathiasen. 2013. Forest Diseases Caused by Higher Parasitic Plants: Mistletoes. *In: Infectious Forest Diseases*. Gonthier P. and G. Nicolotti (eds.) CPI Group. United Kingdom. pp: 97-114.
- Suryanarayanan, T. S., G. Senthilarasu, and V. Muruganandam. 2000. Endophytic fungi from *Cuscuta reflexa* and its host plants. *Fungal Diversity*. 4: 117-123.
- Tainter, F. H. and F. A. Baker. 1996. Parasitic flowering plants. *In: Principles of Forest Pathology*. Tainter, F. H., and F. A. Baker. John Wiley & Sons, Inc. Canada. pp: 143-150.
- Vázquez C., I., R. Pérez C. y R. Pérez C. 1986. Control químico del muérdago verdadero (*Psittacanthus* sp.) en la Sierra Purépecha (Meseta Tarasca). *Ciencia Forestal*. 11(59): 106-126.

CAPITULO II. CONTROL QUÍMICO CON ETEFÓN (ÁCIDO 2-CLOROETIL FOSFÓNICO) DEL MUÉRDAGO VERDADERO *Struthanthus interruptus* (KUNTH) G. DON

Claudia Contreras Ruiz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

El muérdago verdadero *Struthanthus interruptus* afecta numerosas especies arbóreas en la Ciudad de México, principalmente a *Populus deltoides*, una de las más abundantes. La infección ocasiona alteraciones fisiológicas y estructurales, y en algunos casos la muerte del hospedante, por lo que la permanencia de un considerable número de árboles se ve afectada en gran medida. Una de las opciones más promisorias en el corto plazo, además de la poda de ramas, es sin duda el control químico. La aplicación de tres dosis de etefón (ácido 2 cloroetil fosfónico) y agua destilada estéril (testigo) inyectadas al tronco de árboles de *P. deltoides* parasitados se evaluó. La aplicación del regulador de crecimiento no logró la muerte del muérdago verdadero; no obstante, causó la disminución de 9 a 56 % de la densidad de follaje inicial. Se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos con etefón y el testigo. La dosis alta provocó la mayor defoliación entre los tratamientos (56.29 %), seguida de la dosis media (31.14 %) y baja (31.00 %) que fueron estadísticamente iguales. Los tratamientos con este regulador de crecimiento ocasionaron agrietamientos sobre los puntos de inyección en la corteza del hospedante. Los resultados de la presente investigación constituyen un antecedente en la aplicación de etefón para el control del muérdago verdadero *S. interruptus*.

Palabras clave: *Struthanthus interruptus*, control químico, etefón.

**CHAPTER II. CHEMICAL CONTROL WITH ETHEPHON (2-
CHLOROETHYLPHOSPHONIC ACID) OF THE TRUE MISTLETOE**

***Struthanthus interruptus* (KUNTH) G. DON**

Claudia Contreras Ruiz, M.Sc.

Colegio de Postgraduados, 2017

The true mistletoe *Struthanthus interruptus* affects many tree species in Mexico City mainly *Populus deltoides*, one of the most abundant. The infection causes physiological and structural alterations, and in some cases the host death; so the permanence of a considerable number of trees is greatly affected. One of the most promising options in the short term, in addition to branch pruning, is undoubtedly the chemical control. The application of three doses of ethephon (2-chloroethylphosphonic acid) and sterile distilled water (control) injected into the tree trunk of *P. deltoides* parasitized was evaluated. The application of the growth regulator did not achieve the death of true mistletoe; however, it caused the decrease from 9 to 56 % of initial foliage density. Statistical differences among treatments were observed. The high dose of ethephon caused the highest defoliation among treatments (56.29 %), followed by medium dose (31.14 %) and low dose (31.00 %) that were equal statistically. Treatments with this growth regulator caused cracks at the injection sites on the host bark. The results of this research constitute a precedent in the ethephon application for control of true mistletoe *S. interruptus*.

Keywords: *Struthanthus interruptus*, chemical control, ethephon.

1 INTRODUCCIÓN

Los métodos más usados para el control de muérdagos han sido la poda de ramas infectadas o la remoción de árboles severamente afectados en comparación con el control biológico, químico o la selección genética (Geils y Vázquez, 2002). La selección del método de control varía dependiendo del tipo de planta parásita y el entorno en el que se desarrolla, lo que da lugar a resultados distintos que en ocasiones son positivos (Kuijt, 1969; Hawksworth, 1983; Geils y Vázquez, 2002; Vázquez *et al.*, 2006; Mathiasen *et al.*, 2008). La poda y el control biológico parecen ser insuficientes ante la creciente afectación y dispersión del muérdago (Wood y Reilly, 2004), por ello la opción más promisoría podría ser el control químico (Michailides *et al.*, 1987; Minko y Fagg, 1989).

A pesar de que se han probado numerosos herbicidas para el control químico, la elección de un producto adecuado sigue siendo un objetivo difícil de alcanzar, por lo que el verdadero reto es encontrar uno que sea fácil de aplicar y cause la muerte del muérdago sin provocar fitotoxicidad en el hospedante. De no ser así, se esperaría lograr la abscisión de los brotes de manera que reduzca y retarde la dispersión del patógeno (muérdago) (Shamoun y DeWald, 2002).

El etefón (ácido 2-cloroetil fosfónico) es un regulador de crecimiento que libera etileno y favorece el proceso de maduración, lo que ayuda a la abscisión de brotes de muérdago (Adams *et al.*, 1993; Shamoun y DeWald, 2002; Hoffman, 2004). Aunque el éxito relativo de este producto se ha reportado principalmente en *Arceuthobium* spp., *Phoradendron* spp. (Adams *et al.*, 1993; Shamoun y DeWald, 2002; Martínez, 2015), *Cladocolea* sp. (Cibrián *et al.*, 2010) y *Psittacanthus* sp. (Martínez, 2015), los resultados no pueden extrapolarse a otras especies o géneros de muérdago u hospedante sin antes realizar más pruebas (Minko y Fagg, 1989; Cibrián *et al.*, 2010). Por esta razón, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la aplicación de tres dosis del regulador de crecimiento etefón inyectadas en el tronco de árboles de *Populus deltoides* como medida de control químico del muérdago verdadero *Struthanthus interruptus*.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en el Jardín Alexander Pushkin, ubicado en las coordenadas 19° 25' 13.12" de latitud norte y 99° 9' 16.85" de longitud oeste, en la colonia Roma Norte, delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México.

Las principales especies arbóreas que se encuentran en el área de estudio pertenecen a los géneros *Populus*, *Ficus* y *Fraxinus*, las cuales son afectadas por el muérdago verdadero *S. interruptus*.

2.2 Diseño experimental

La unidad experimental fue un árbol de *P. deltoides* con presencia del muérdago *S. interruptus*. Para el control de esta planta parásita se establecieron cuatro tratamientos; un testigo (2 mL de agua destilada estéril) y tres dosis de etefón (Ethephon 240 LS®) clasificadas como dosis alta (4 mL), media (3 mL) y baja (2 mL). El volumen de cada tratamiento se estableció de acuerdo al diámetro normal del árbol (DN) en centímetros multiplicado por la dosis, conforme a lo sugerido por Cibrián *et al.* (2010). Cada tratamiento constó de siete repeticiones en un diseño experimental completamente al azar. El número total de unidades experimentales que se estudiaron fueron 28. La variable evaluada fue densidad de follaje (%) del muérdago verdadero días después de la aplicación de los tratamientos (ddat).

2.3 Aplicación de tratamientos

Los árboles seleccionados se marcaron con una placa de aluminio en la cual se registró el número de árbol y la dosis. La aplicación de tratamientos se realizó mediante un sistema de inyección dirigido hacia el xilema del hospedante.

La inyección consistió en realizar perforaciones con taladro y broca de 3/8" en la base del tronco, en el cual se introdujo un arborplug® No. 4 en cada perforación, y se colocó el dosificador con la dosis de producto para cada punto de inyección. Finalmente, se inyectó el producto con ayuda de una bomba de aire. El número de puntos de inyección se determinó de acuerdo a la circunferencia de la base del

árbol, realizando una perforación a cada 30 cm. La dosis del producto se repartió equitativamente en cada punto de inyección. Se realizaron dos aplicaciones de tratamientos, la primera el 17 de abril y la segunda el 4 de agosto de 2015, 99 días después. En la segunda aplicación de los tratamientos se realizaron nuevas perforaciones.

2.4 Evaluación de la densidad de follaje del muérdago

Para determinar el efecto de los tratamientos aplicados al tronco del hospedante, se realizaron evaluaciones de la densidad de follaje del muérdago verdadero; para ello, se utilizó una escala de evaluación de diez categorías (**Figura 3**). El registro de datos se realizó a partir del 17 de abril de 2015, fecha de la primera aplicación, concluyendo el 30 de septiembre del mismo año, debido a las actividades de remodelación del jardín, las cuales podrían generar problemas de estrés en los árboles y afectar su crecimiento, salud y estructura (Coder, 2007). Durante el primer mes, se realizaron dos evaluaciones por semana, posteriormente, una evaluación cada quince días, lo que resultó en un total de 20 evaluaciones.

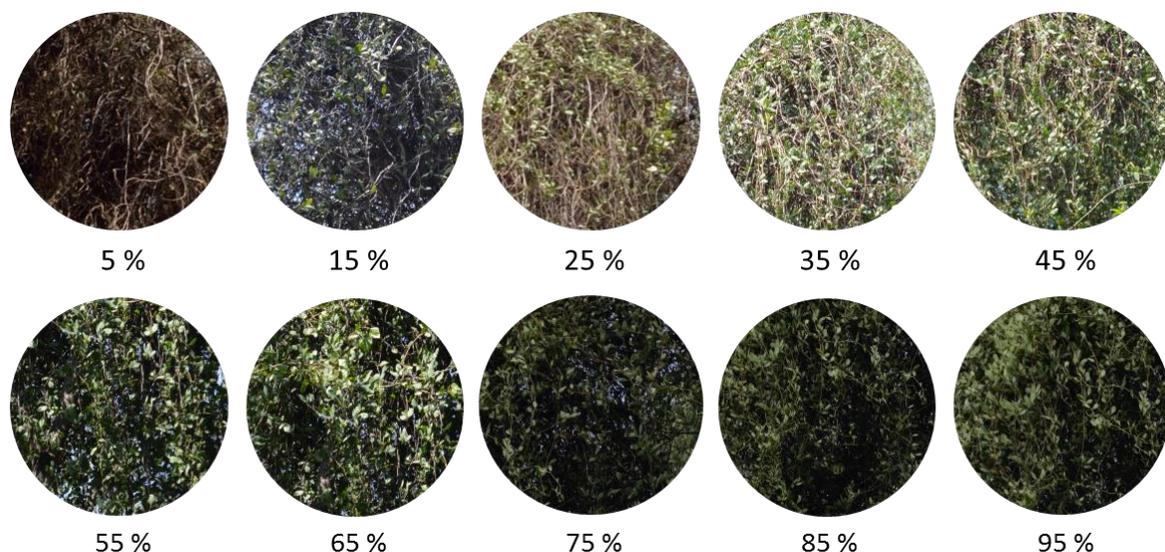


Figura 3. Escala de evaluación de la densidad de follaje del muérdago verdadero *Struthanthus interruptus*.

En la primera evaluación, el valor de la densidad de follaje registrado con la escala de evaluación de diez categorías se consideró como el 100 %. Los porcentajes de defoliación de muérdago se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\text{Defoliación (\%)} = 100 - \left(\frac{\text{Densidad de follaje inicial} - \text{Densidad de follaje final}}{\text{Densidad de follaje inicial}} \times 100 \right)$$

2.5 Análisis estadístico

La variable respuesta fue la defoliación del muérdago (%). La variable respuesta fue evaluada en una ocasión (a los 165 días después de iniciado el experimento y después de dos aplicaciones). Los datos se procesaron bajo un diseño completamente al azar con 7 repeticiones. Se llevó a cabo un análisis de la varianza utilizando el modelo general lineal (proc glm) en SAS (versión 9.5) y la comparación de medias mediante la diferencia mínima significativa (LSD) en el mismo programa.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de etefón causó una defoliación significativa ($p=0.0008$) del muérdago verdadero *S. interruptus* desarrollado sobre *P. deltoides*, cuando los valores de defoliación se comparan con el testigo absoluto. La defoliación del muérdago incluyó la pérdida de hojas y el desprendimiento de flores y frutos. Cuando se aplicó etefón a dosis alta (4 mL) el muérdago se defolió en 56.29 %, cuando se aplicó la dosis media (3 mL) el muérdago se defolió en 31.14 %, y cuando se aplicó etefón a dosis baja (2 mL) el muérdago se defolió en 31.00 %. La dosis alta provocó la mayor defoliación entre los tratamientos, seguida de la dosis media y baja que fueron estadísticamente iguales. También fue notable una correlación entre dosis y porcentaje de defoliación, es decir que entre más alta fue la dosis mayor defoliación se observó en el muérdago verdadero (**Cuadro 5**).

Cuadro 5. Efecto de etefón sobre la defoliación del muérdago verdadero *Struthanthus interruptus* en árboles de *Populus deltoides*.

Dosis de etefón (mL) [†]	Porcentaje de defoliación [§]
4	56.29 A
3	31.14 B
2	31.00 B*
T	9.86 C

[†]Dosis de etefón y T: testigo con agua destilada estéril (2 mL). [§]Misma letra en la columna indica que son estadísticamente iguales (LSD, $p\leq 0.05$). Cada dato representa el promedio de siete y seis (*) árboles evaluados.

Independientemente del tratamiento aplicado, la dinámica de la defoliación resultó diferente en cada caso, lo que se significó que el efecto se observó en distinto tiempo e intensidad. La defoliación del muérdago por efecto de la primera aplicación de etefón realizada en abril se presentó a los cuatro días posteriores a la inyección, lo que representó un tiempo menor en comparación con la segunda aplicación realizada en julio, la cual mostró efecto a los 14 días (**Figura 4**). Es probable que la circulación del producto químico inyectado en la segunda aplicación fuese

influenciada por condiciones ambientales como la precipitación. Doccola y Wild (2012) reportaron que el efecto de las inyecciones es mayor cuando el árbol está transpirando; sin embargo, la transpiración se reduce en días lluviosos debido al incremento en la humedad relativa que provoca una mayor acumulación de agua en el suelo (Sánchez y Fernández, 2000).

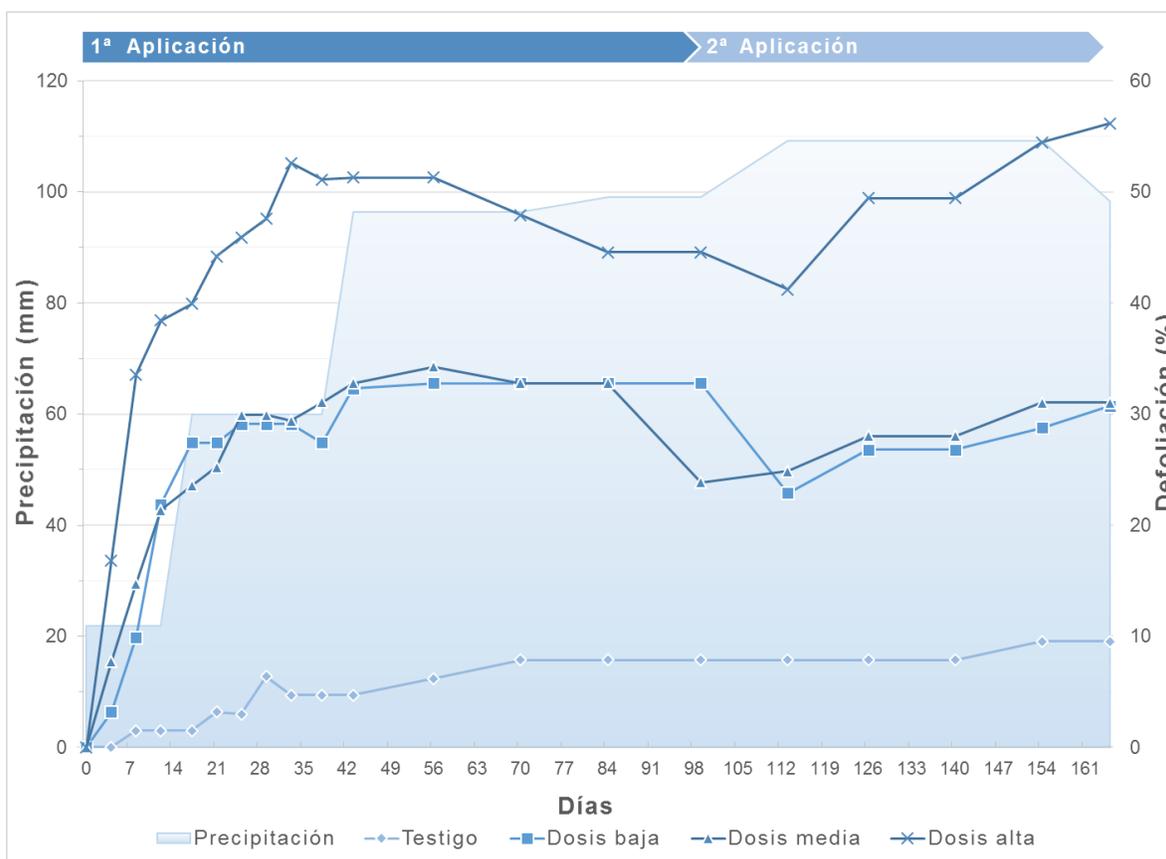


Figura 4. Dinámica de la defoliación del muérdago verdadero *Struthanthus interruptus* como efecto a tratamientos con etefón. Fuente: CONAGUA, 2015.

Durante la primera aplicación de tratamientos con etefón, los valores máximos de defoliación se presentaron a los 33 (dosis alta) y 56 (dosis baja y media) días después de la aplicación. Lo anterior indicó que cuando la dosis de etefón fue alta, la defoliación fue mayor y se presentó en menor tiempo que cuando se trató de una dosis media y baja; no obstante, el testigo se mantuvo constante a lo largo del periodo de evaluación (**Figura 4**).

Después de la primera aplicación de tratamientos con etefón, se observó una recuperación del follaje del muérdago a partir del día 33 (dosis alta) y 56 (dosis media y baja), que coincidió con el incremento en la precipitación (**Figura 4**). Lo anterior pudo deberse a la relación que existe entre el vigor del hospedante y el del muérdago (Knutson y Tinnin, 1980; Olsen, 2003), pues se ha reportado que algunas especies de muérdagos tienen una respuesta positiva en su crecimiento debido a mejores condiciones del hospedante, tales como la disponibilidad de agua y carbón (Glatzel y Geils, 2008).

En la última evaluación a los 165 días de la aplicación de los tratamientos, se registró una disminución de la densidad de follaje del muérdago verdadero que osciló de 9.86 a 56.29 %. La defoliación promedio en los testigos no rebasó el 10 %, mientras que la defoliación en los tratamientos con etefón oscilaron entre 23 y 56 %. La efectividad en los tratamientos pudo ser afectada debido a que la aplicación se realizó después del crecimiento del muérdago, ya que las hojas jóvenes y yemas en desarrollo son menos afectadas por el etefón (Berry *et al.*, 1992); por ello resultará efectiva realizar la aplicación antes de la emisión de hojas jóvenes del muérdago (Perry y Elmore, 2006).

Berry *et al.* (1992), Mallams y Mathiasen (2010), y Martínez (2015) reportaron que la aplicación en invierno resulta efectiva cuando el hospedante se encuentra en reposo y el muérdago fisiológicamente activo, por lo que absorbe el producto químico, logrando su reducción o muerte y evita el daño a los tejidos del hospedante por efecto del producto. Lo anterior sugiere que el éxito en el control químico se ve influenciado por la época de aplicación así como la etapa fisiológica del muérdago y del hospedante.

En las **Figuras 6, 7, 8 y 9** se observa la variación en la densidad de follaje del muérdago evaluado a diferentes tiempos. El tratamiento con agua destilada estéril causó una defoliación gradual, casi imperceptible, siendo notoria a partir del segundo mes después de la aplicación del tratamiento (**Figura 6**). Las dosis baja y media de etefón mostraron una dinámica de la defoliación muy similar (**Figura 7 y**

Figura 8). La pérdida de follaje como efecto de la primera aplicación de tratamientos se observó durante los primeros tres meses, seguida de un ligero incremento de follaje, el cual disminuyó justo después de la segunda aplicación de tratamientos. La dosis alta de etefón provocó la mayor defoliación en comparación a las demás dosis (**Figura 9**); el efecto se observó durante el primer mes después de la aplicación y se vio disminuida durante los tres meses posteriores, aumentando nuevamente como efecto de la segunda aplicación.

Los tratamientos con etefón ocasionaron agrietamientos en la corteza sobre aquellos puntos de inyección en el hospedante (**Figura 10**); aunque este efecto no se ha reportado como síntoma de fitotoxicidad ocasionado por éste regulador de crecimiento.

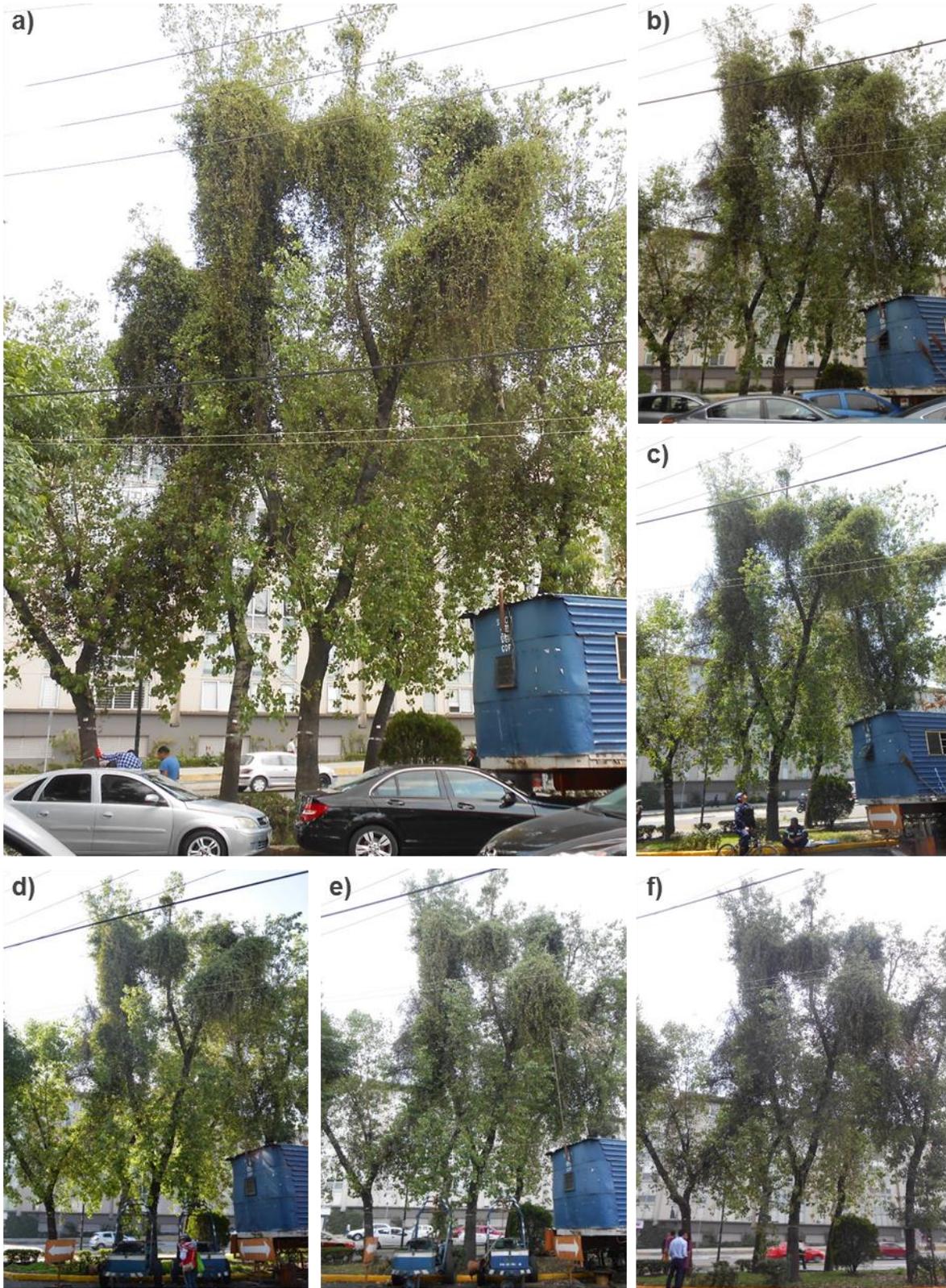


Figura 5. Tratamiento con agua destilada estéril (testigo) evaluado a los a) 0, b) 29, c) 70, d) 99, e) 126 y f) 165 días después de la aplicación de tratamientos.



Figura 6. Tratamiento con dosis baja de etefón evaluado a los a) 0, b) 29, c) 70, d) 99, e) 126 y f) 165 días después de la aplicación de tratamientos.



Figura 7. Tratamiento con dosis media de etefón evaluado a los a) 0, b) 29, c) 70, d) 99, e) 126 y f) 165 días después de la aplicación de tratamientos.



Figura 8. Tratamiento con dosis alta de etefón evaluado a los a) 0, b) 29, c) 70, d) 99, e) 126 y f) 165 días después de la aplicación de tratamientos.



Figura 9. Agrietamientos en la corteza de *Populus deltoides* como efecto a la aplicación de etefón: a) testigo, b) dosis baja, c) dosis media y d) dosis alta.

En México, el control químico de muérdagos verdaderos ha sido poco explorado. Se ha reportado el éxito de la inyección de etefón en el tronco de árboles hospedantes para el control de *Cladocolea diversifolia* (Cibrián *et al.*, 2010), *Psittacanthus schiedeanus* y *Phoradendron falcifer* (Martínez, 2015), logrando la caída de hojas, frutos y ramillas de la planta parásita; sin embargo, en *Struthanthus* la inyección de este regulador de crecimiento no mostró tener el mismo efecto (Martínez, 2015), por lo que los resultados de la presente investigación constituyen un antecedente para el control químico del muérdago verdadero *S. interruptus*.

La inyección de tres dosis de etefón no fue letal para el muérdago verdadero *S. interruptus*; no obstante, causó la defoliación, la reducción de semilla así como la disminución de nuevas infecciones; pues estudios indican que los muérdagos representan una fuente atractiva y nutritiva de alimento para las aves dispersoras (incluso cuando existe la escases de alimento de otras fuentes) que consumen los frutos y depositan las semillas en nuevos árboles, logrando su infección (Kuijt, 1969; López de Buen y Ornelas; 2001; Coder, 2008; Mathiasen *et al.*, 2008).

Es por esto que resulta importante continuar realizando más pruebas en el arbolado urbano de la Ciudad de México, a fin de determinar la dosis, la época de aplicación y la etapa fenológica del muérdago más adecuadas, que logren la muerte selectiva de la planta parásita sin dañar al hospedante.

Por otro lado, es necesario determinar las estrategias para el manejo integrado de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México que incluyan actividades de mantenimiento que coadyuven a mejorar las condiciones del arbolado, realizar la poda de ramas y derribo de árboles severamente afectados; continuar con la búsqueda de enemigos naturales y herbicidas con potencial para el control; sin dejar a un lado la utilización de especies resistentes a la infección del muérdago (Shamoun y DeWald, 2002; Pérez *et al.*, 2006; Marchal, 2009).

4 CONCLUSIONES

- Todos los tratamientos con etefón causaron la caída de hojas y el desprendimiento de flores y frutos del muérdago verdadero *S. interruptus*.
- El efecto de la aplicación de etefón se observó a partir de los 4 y 14 días después de la primera y segunda aplicación respectivamente.
- La dosis alta de etefón causó el porcentaje de defoliación más alto (56.29 %), seguido por la dosis media (31.14 %) y baja (31.00 %), que fueron estadísticamente iguales.
- Los porcentajes de defoliación en los tratamientos con etefón fueron estadísticamente mayores en comparación con el testigo (9.86 %).

5 LITERATURA CITADA

- Adams, D. H., S. J. Frankel, and J. M. Lichter. 1993. Considerations when using ethephon for suppressing dwarf and leafy mistletoe infestations in ornamental landscapes. *Journal of Arboriculture*. 19(6): 351-357.
- Berry, A. M., J. M. Lichter, and M. S. Reid. 1992. New Methods for Mistletoe Control. Final Report. Elvenia J. Slossen Endowment Fund. pp: 29-32.
- Cibrián T., D., V. D. Cibrián Ll., D. G. Ruiz F., A. F. Burke R., U. M. Barrera R., H. C. Álvarez S. y J. M. Cadena B. 2010. Uso de plaguicidas con base en reguladores del crecimiento para el control de muérdago en arbolado urbano. *In: Manejo del Arbolado Urbano Infestado por Muérdago y Otros Agentes que Afectan su Salud en el Distrito Federal*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 106 p.
- Coder, K. D. 2007. Soil Compaction, Stress and Trees: Symptoms, Measures, Treatments. University of Georgia. Warnell School of Forestry & Natural Resources. Warnell School Outreach Monograph WSNR07-9. 99 p.
- Coder, K. D. 2008. American Mistletoe (*Phoradendron serotinum* var. *serotinum*) Infection in Trees. Tree Health Series. Warnell School of Forestry & Natural Resources. 36 p.
- CONAGUA. 2015. Reporte del clima en México. 30 p. Disponible en: <http://smn1.conagua.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2015.pdf>
- Doccola, J. J. and P. M. Wild. 2012. Tree Injection as an Alternative Method of Insecticide Application. *In: Insecticides – Basic and Other Applications*. Dr. Sonia Soloneski (Ed.). InTech. 61-78 pp.
- Geils, B. W. and I. Vázquez C. 2002. Loranthaceae and Viscaceae in North America. *In: Mistletoes of North American Conifers*. Geils, B. W., J. Cibrián T., and B. Moody (coords.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S.

Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 1-8.

Glatzel, G. and B. W. Geils. 2009. Mistletoe ecophysiology: host-parasite interactions. *Botany*. 87: 10-15.

Hawksworth, F. G. 1983. Mistletoes as forest parasites. *In: The Biology of Mistletoes*. Calder, M. and P. Bernhardt (eds.). Academic Press. Australia. pp: 317-333.

Hoffman, J. T. 2004. Management guide for dwarf mistletoe *Arceuthobium* spp. Forest Health Protection and State Forestry Organizations. 14 p.

Knutson, D. M. and R. Tinnin. 1980. Dwarf Mistletoe and Host Tree Interactions in Managed Forests of the Pacific Northwest. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-111. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 19 p.

Kuijt, J. 1969. *The Biology of Parasitic Flowering Plants*. University of California Press. Berkeley and Los Angeles. United States of America. 246 p.

López de Buen, L. and J. F. Ornelas. 2001. Seed dispersal of the mistletoe *Psittacanthus schiedeanus* by birds in Central Veracruz, Mexico. *BIOTROPICA*. 33(3): 487-494.

Mallams, K. M. and R. L. Mathiasen. 2010. Mistletoes on hardwoods in the United States. Forest Insect & Disease Leaflet 147. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. 12 p.

Marchal V., D. 2009. El muérdago en la Ciudad de México. *Arbolama*. 2: 10-30.

Martínez, M., J. J. 2015. Efecto del etefón en el control del muérdago y la producción de resina en liquidámbar. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. 103 p.

- Mathiasen, R. L., D. L. Nickrent, D. C. Shaw, and D. M. Watson. 2008. Mistletoes: pathology, systematics, ecology, and management. *Plant Disease*. 92(7): 988-1006.
- Michailides, T. J., J. M. Ogawa, J. R. Parmeter Jr., and S. Yoshimine. 1987. Survey for and chemical control of leafy mistletoe (*Phoradendron tomentosum* subsp. *macrophyllum*) on shade trees in Davis, California. *Plant Disease*. pp: 533-536.
- Minko, G. and P. C. Fagg. 1989. Control of some mistletoe species on eucalyptus by trunk injection with herbicides. (Abstr.) *Australian Forestry*. 52(2): 94-102.
- Olsen, M. W. 2003. True Mistletoes. The University of Arizona Cooperative Extension. College of Agriculture and Life Sciences. Tucson, Arizona, United States of America. 3 p.
- Pérez O., C. de la P., J. Ceja R. y G. Vela R. 2006. Árboles y muérdagos: una relación que mata. *ContactoS*. 59: 28-34.
- Perry, E. J. and C. L. Elmore. 2006. Mistletoe. Integrated pest management for home gardeners and landscape professionals. Publication 7437. Pest Notes. University of California. Agriculture and Natural Resources. 3 p.
- Sánchez Z., M. A. and R. Fernández E. 2000. Injector-size and the time of application affects uptake of tree trunk-injected solutions. *Scientia Horticulturae*. 84: 163-177.
- Shamoun, S. F. and L. E. DeWald. 2002. Management strategies for dwarf mistletoes: biological, chemical, and genetic approaches. *In: Mistletoes of North American Conifers*. Geils, B. W., J. Cibrián T., and B. Moody (coords.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 75-82.

Vázquez C., I., A. Villa R. y S. Madrigal H. 2006. Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 93 p.

Wood, B. W. and C. C. Reilly. 2004. Control of mistletoe in pecan trees. HortScience. 39(1): 110-114.