



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**Incidencia y severidad de daño por descortezadores y barrenadores
en *Eucalyptus camaldulensis* de la Ciudad de México**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P R E S E N T A:

BIÓL. SURYA IVONNE GONZÁLEZ JARAMILLO

DIRECTOR(A) DE TESIS: DR. ZENÓN CANO SANTANA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. KARINA BOEGÉ PARE
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ
MARCADORES MOLECULARES CIByC, UAEM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX., 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS FACULTAD DE CIENCIAS MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**Incidencia y severidad de daño por descortezadores y barrenadores
en *Eucalyptus camaldulensis* de la Ciudad de México**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P R E S E N T A:

BIÓL. SURYA IVONNE GONZÁLEZ JARAMILLO

**DIRECTOR(A) DE TESIS: DR. ZENÓN CANO SANTANA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. KARINA BOEGÉ PARE
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DR. EFRAÍN TOVAR SÁNCHEZ
MARCADORES MOLECULARES CIByC, UAEM**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX., 2021

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

OFICIO CPCB/982/2021

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión virtual del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 18 de agosto de 2021 se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS** de la estudiante **GONZÁLEZ JARAMILLO SURYA IVONNE** con número de cuenta 309038001 con la tesis titulada "**INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE DAÑO POR DESCORTEZADORES Y BARRENADORES EN *Eucalyptus camaldulensis* DE LA CIUDAD DE MÉXICO**", realizada bajo la dirección del **DR. ZENÓN CANO SANTANA**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DRA. ALICIA CALLEJAS CHAVERO
Vocal: DR. ALEJANDRO CÓRDOBA AGUILAR
Vocal: DR. JORDAN KYRIL GOLUBOV FIGUEROA
Vocal: DRA. HEIKE DORA MARIE VIBRANS LINDEMANN
Secretario: DRA. KARINA BOEGE PARÉ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 14 de octubre de 2021

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Unidad de Posgrado, Edificio D, 1º Piso, Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria
Alcaldía Coyoacán, C. P. 04510 CDMX Tel. (+5255)5623 7002 <http://pcbiol.posgrado.unam.mx/>

Agradecimientos Institucionales

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada otorgada para la realización de este trabajo de 2019 a 2021 (CVU/Becario: 1002571/749953).

A mi asesor el Dr. Zenón Cano Santana y a mi comité tutor formado por la Dra. Karina Boegé Pare y el Dr. Efraín Tovar Sánchez por su asesoría para la realización de este trabajo.

Agradecimientos Personales

A mis papás, José Guadalupe González López y María Virginia Jaramillo Ordóñez, por creer en mí, por hacer suyos mis sueños, tristezas y alegrías. Gracias papá porque, a pesar del cansancio, me acompañaste siempre a campo, y a ti mamá porque siempre te encontraba buscando información útil para mi tesis. Este logro es de ustedes también. Los amo.

A mi asesor y amigo, el Dr. Zenón Cano Santana, por su cariño y motivación constante, así como la oportunidad de realizar este trabajo bajo su tutoría. Nos confundimos muchas veces juntos, pero lo logramos.

A mi comité tutor, la Dra. Karina Boegé Pare y el Dr. Efraín Tovar Sánchez, por la confianza, los comentarios y las valiosas aportaciones a este trabajo.

A mi jurado, los doctores Alicia Callejas Chavero, Alejandro Córdoba Aguilar, Jordan Kyrill Gulubov Figueroa, Heike Dora Marie Vibrans Lindemann y Karina Boegé Pare por sus aportaciones y comentarios a este trabajo.

A mi amiga, la Biól. Nayeli González Mateos por siempre estar pendiente de mí, por compartir conmigo el amor por los seres vivos y por informarme sobre conferencias y ponencias que enriquecieron este trabajo.

Al Dr. Pedro Eloy Mendoza por creer en mí e invitarme a colaborar en diversos proyectos que ampliaron mi panorama sobre las especies exóticas.

A la Psicól. Stephanie Jacquelin Hernández Ángel, por su apoyo y motivación para continuar esta meta en mi vida.

A los biólogos Mirely Guzmán Torres, Verónica Herrera Barrientos, Jesús Morelos Rebollar, Miguel Hernández Palacios y al M. en C. Iván Castellanos Vargas, por su invaluable apoyo en campo. Sin ustedes la realización de este trabajo no habría sido posible.

A la Dra. Mónica Queijeiro Bolaños, el Dr. Santiago Alejandro Ramírez Barahona y al M. en C. Yury Glebskiy, por la asesoría en la parte estadística de este trabajo.

A la Biól. Norma Guadalupe Rodríguez Luis por la identificación del carpintero.

Al M. en C. Iván Israel Castellanos Vargas y la Biól. Carmen Natalia Castañeda García, por proporcionarme la literatura necesaria para la identificación de los escarabajos de este trabajo y por el apoyo técnico.

A la M. en C. Hilda Marcela Pérez Escobedo de la SEREPSA por proporcionarme los permisos necesarios para entrar a la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Al Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos por el enriquecimiento de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ciencias por ser siempre mi segundo hogar y permitirme formarme en sus aulas.

A todos los que han fallecido por el Covid-19.

*A las raíces de mi gran árbol; mis padres y
abuelos.*

*A mis guías de vida; Nayeli, Stephanie, Zenón,
Pedro e Iván.*

A mis hermanas del alma; Norma, Liz y Ale.

Al armadillo.

*A cada ser humano en cada parte del planeta que
se vea así mismo como una parte esencial de un
gran todo.*

Usualmente los científicos y ambientalistas hemos sido duramente juzgados por la sociedad como personas alarmistas e incluso muchos han pagado con su vida la defensa de la naturaleza. Hoy, el mundo enfrenta una dura realidad que nos negamos a ver durante mucho tiempo; el que cada una de nuestras decisiones, sean grandes o pequeñas tienen un impacto a gran escala, la pandemia que estamos viviendo es el resultado de ello.

Los humanos, al igual que todos los demás seres vivos, nos encontramos relacionados en una compleja red de interacciones, en la que cada uno tiene un papel importante, lo cual mantiene el delicado equilibrio dinámico de esa red. El polvo del desierto del Sahara fertiliza la Amazonia, la introducción de una especie exótica puede dejar a una comunidad sin comida, la convivencia con animales no domésticos como el murciélago o el pangolín pueden causar una pandemia.

Hoy, un virus que surgió de la extracción de seres vivos de su entorno natural y su introducción innecesaria a lugares distintos a su origen, libres de competencia y depredadores, nos ha quitado a familiares, amigos y conocidos. Nos ha alejado de nuestros trabajos, escuelas y lugares favoritos.

Sin embargo, aún podemos aprender. Aún se pueden prevenir más pandemias, más hambrunas, mas degradación, más desertificación y más sufrimiento innecesario de los humanos y los demás seres vivos a través de la restauración de la relación de cada ser humano con su entorno. Que las muertes de nuestros amigos y familiares no sean en vano. Aprendamos de esta situación y cambiémosla. Volvamos a nuestras raíces en las que cada ser vivo tenga el mismo derecho que nosotros a permanecer en su hogar y a vivir una vida digna manteniendo el ciclo de la vida.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Las especies exóticas invasoras y su riesgo para la biodiversidad	4
1.2. Los eucaliptos: especies invasoras en el Valle de México	5
1.3. Enemigos naturales de <i>E. camaldulensis</i>	7
1.4. Justificación	11
2. OBJETIVOS.....	12
3. MÉTODOS.....	13
3.1. Selección de sitios y árboles	13
3.2. <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	14
3.3. Registro de escarabajos descortezadores y carpinteros barrenadores	14
3.4. Registro de variables	15
3.5. Análisis estadísticos	19
4. RESULTADOS	21
4.1. Escarabajos barrenadores y descortezadores.....	21
4.2. Avistamientos de pájaros carpinteros.....	24
4.3. Incidencia y severidad de escarabajos descortezadores y barrenadores	26
4.4. Incidencia y severidad de daño por carpinteros	30
4.5. Índice de disturbio	33
4.6. Modelos lineales generalizados y relación entre variables	33
5. DISCUSIÓN.....	50
5.1 Enemigos del eucalipto en la Ciudad de México. Escarabajos y carpintero.....	50
5.2. Incidencia y severidad de daño por escarabajos y carpinteros.....	52
5.3 Factores que afectan el daño por escarabajos barrenadores	53
5.4 Factores que afectan el daño por carpinteros	57
6. CONCLUSIONES.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
Anexo 1	70
Anexo 2	73
Anexo 3	74

RESUMEN

Las especies exóticas invasoras constituyen la segunda causa de la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial y la tercera en México, su manejo y control es un problema, debido a que el lugar donde fueron introducidas carece de enemigos naturales que regulen sus poblaciones. Un ejemplo es el árbol de origen australiano *Eucalyptus camaldulensis*, especie exótica invasora, introducida en 1930 a la Ciudad de México con el fin de reforestar; en la cual se desconocen sus enemigos naturales y el daño que causan a estos árboles. El objetivo de este trabajo fue conocer la incidencia y severidad del daño por descortezadores y barrenadores en poblaciones de *Eucalyptus camaldulensis* de diversas áreas verdes de la Ciudad de México. Se eligieron 20 sitios de nueve alcaldías con abundancia de eucaliptos, se tomaron 60 árboles en cada uno de ellos. A cada árbol se le registró sus tallas, presencia de patógenos y características del sitio, se identificaron los escarabajos presentes bajo su corteza y los carpinteros avistados haciendo barrenos. Se encontró que los barrenadores de los eucaliptos son los escarabajos *Phoracatha recurva*, *P. semipunctata* y *Lichenophanes* sp. y el carpintero *Sphyrpicus varius*. Se identificaron 48 especies de escarabajos en total. Todos los sitios presentaron incidencia de galerías de escarabajos y anillos de carpintero. Los principales factores que afectan la incidencia y severidad de galerías son el porcentaje de árboles con ramas secas, muérdago y la incidencia de carpintero, mientras que los que afectan la incidencia de anillos de carpintero son el porcentaje de árboles con muérdago, con heridas y el pap promedio del sitio y los que afectan la severidad de anillos de carpintero son el porcentaje de árboles con corteza desprendida, insecto escama y epífitas. Los carpinteros pueden alimentarse de las larvas de escarabajos, pero lo más posible es que estén compitiendo por la savia del árbol. Los árboles expuestos a patógenos y disturbios antropogénicos son menos vigorosos y vulnerables a los ataques de los escarabajos. Los presentes resultados pueden influir en el desarrollo de un estudio a mayor escala del estado sanitario de estos árboles exóticos y el planteamiento de un programa, en el tiempo, de manejo prioritario por zonas, que nos permita conocer y analizar la ecología de las especies exóticas invasoras y sus interacciones con las

especies nativas o su papel como vector de patógenos de su misma región de origen con el fin de plantear programas de prevención de enfermedades fitosanitarias.

Palabras clave: *Phoracantha recurva*, *Phoracantha semipunctata*, *Lichenophanes* sp., *Sphyrapicus varius*, *Cladocolea* sp., arbolado urbano.

ABSTRACT

Invasive alien species are the second cause of biodiversity loss worldwide and the third in Mexico, their management and control is a problem, because the place where they were introduced lacks natural enemies that regulate their populations. An example is the tree of Australian origin *Eucalyptus camaldulensis*, an invasive exotic species, introduced in 1930 to Mexico City in order to reforest; in which their natural enemies and the damage they cause to these trees are unknown. The objective of this work was to know the incidence and severity of damage by bark cutters and borers in populations of *Eucalyptus camaldulensis* in various green areas of Mexico City. 20 sites were chosen from nine municipalities with an abundance of eucalyptus, 60 trees were taken in each one of them. Each tree was recorded its size, presence of pathogens and characteristics of the site, the beetles present under its bark and the woodpeckers sighted making holes were identified. Eucalyptus borers were found to be *Phoracantha recurva*, *P. semipunctata*, and *Lichenophanes* sp. and the woodpecker *Sphyrapicus varius*. A total of 48 species of beetles were identified. All sites show incidence of beetle galleries and carpenter rings. The main factors that affect the incidence and severity of galleries are the percentage of trees with dry branches, mistletoe and the incidence of woodpecker, while those that affect the incidence of woodpecker rings are the percentage of trees with mistletoe, with wound and the Average pap of the site and those to see the severity of woodpecker rings are the percentage of trees with shed bark, scale insects and epiphytes. Woodpeckers can feed on beetle larvae, but most likely they are competing for tree sap. Trees exposed to pathogens and anthropogenic disturbances are less vigorous and vulnerable to beetle attacks. The present results may influence the development of a larger-scale study of the health status of these exotic trees and the proposal of a program, over time, of priority management by zones,

which allow us to know and analyze the ecology of exotic species. invasives and their interactions with native species or their role as a vector of pathogens from their same region of origin in order to propose phytosanitary disease prevention programs.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Las especies exóticas invasoras y su riesgo para la biodiversidad

Las especies exóticas invasoras constituyen la segunda causa de la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial y la tercera en México, por lo cual son un problema importante de abordar en todos los países (CONABIO, 2020).

La designación de una especie como nativa o exótica es difícil por diversas causas, como el desconocimiento del ecosistema nativo, el nivel de naturalización y tiempo que lleva esa especie en la región, sin embargo, autores como Blackburn *et al.* (2011) mencionan que cualquier especie puede transicionar de nativo a exótico invasor, siempre y cuando pase una serie de diferentes barreras (CONABIO, 2020).

No obstante, no toda especie exótica tiene la capacidad de volverse invasora. Cuando una especie de este tipo llega a un nuevo ecosistema, puede morir o adaptarse sin representar ningún peligro para las especies locales. Existen especies que se ven favorecidas por la falta de enemigos naturales o competidores en el lugar de introducción, además de ser altamente tolerantes a las condiciones del lugar (CBD, 2009; CONABIO, 2020). Esto ayuda a que su área de distribución y reproducción aumenten, colonizando zonas aledañas a las que fueron introducidas, llegando a desplazar a las especies nativas por competencia. Este fenómeno, algunas veces representa una amenaza para la diversidad nativa y en algunas ocasiones causa modificación en el hábitat, y como consecuencia, problemas económicos, sociales y de salud (CBD, 2009).

El manejo y control de las poblaciones de las especies exóticas invasoras es un problema en muchos países debido, entre otras razones, a que en el lugar donde fueron introducidas carecen de enemigos naturales que regulen sus poblaciones, por lo cual experimentan un crecimiento demográfico alto (CBD, 2009; CONABIO, 2020). En este contexto, frecuentemente se tienen que tomar acciones costosas, para su control y erradicación, poco seguras para el ecosistema y que no solucionan de raíz el problema (CBD, 2009; CONABIO, 2020). Por esta razón resulta relevante estudiar el papel de los enemigos naturales nativos o introducidos de las especies exóticas, para poder planear

estrategias que ayuden a su manejo y control (Monroy-Vilchis, 2003; Osejos-Merino *et al.*, 2018).

1.2. Los eucaliptos: especies invasoras en el Valle de México

Se reconocen 1 100 especies de plantas y animales exóticos presentes en México, de las cuales 348 son consideradas invasoras (CONABIO, 2020). De las invasoras, se encuentra el eucalipto *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, un árbol de origen australiano que ha sido dispersado en algunas regiones de México.

Fue introducido a la Ciudad de México en el siglo XX para desecar las zonas pantanosas y, con ello, controlar los brotes de malaria (Hinke, 2000). Posteriormente, en la década de 1930 el ingeniero forestal Miguel Ángel de Quevedo usó eucaliptos para reforestar la Ciudad de México y evitar las inundaciones ante la dificultad de hacerlo con especies nativas, por su rápido crecimiento y alta demanda de agua (Cano-Santana *et al.*, 2006; SEDEMA, 2019).

Posteriormente, se comenzó a utilizar como ornato y para fines industriales ha sido explotado por papeleras nacionales (Ceccon y Martínez-Ramos, 1999; Hinke, 2000; Vega y Ortega, 2016). Además de que se le atribuyen propiedades medicinales para combatir la bronquitis, laringitis, tuberculosis, pulmonías, gangrenas pulmonares, tos y enfisemas (Ceccon y Martínez-Ramos, 1999; Hinke, 2000; Vega y Ortega, 2016).

Fue hasta 1980 que se dieron a conocer los efectos negativos de los eucaliptos en los ecosistemas donde se introducen, se aprendió que desprenden sustancias aleloquímicas que afectan el crecimiento y establecimiento de otras plantas así como a las bacterias fijadoras de nitrógeno en el suelo y hongos formadores de micorrizas (Espinosa-García, 1996; Cano-Santana *et al.*, 2006; SEDEMA, 2019).

Se descubrió que modifican el ambiente donde se encuentran, ya que sus hojas forman un mantillo que reduce la tasa de descomposición de la materia orgánica en el suelo, además de que su copa disminuye la cantidad de luz que llega a los estratos inferiores y al ser demandante de agua, reduce la cantidad de agua disponible en el subsuelo (Cano-Santana *et al.*, 2006; SEDEMA, 2019).

Además, son pirófilos lo cual hace que facilite incendios por la rápida combustión de su madera (Ceccon y Martínez-Ramos, 1999; Cano-Santana *et al.*, 2006; SEDEMA, 2019). Así mismo, representa un peligro para las personas y sus bienes porque sus raíces y ramas son frágiles y tienden a caerse más que las de otros árboles.

En 2001 existían en la Ciudad de México alrededor de tres millones de eucaliptos (*Eucalyptus cinerea* F. Muell. ex. Benth., *E. globulus* Labill y *E. camaldulensis* Dehnh) distribuidos en 4 900 ha entre áreas verdes y parques urbanos. Destaca *E. camaldulensis*, pues representaba el 80% de los especímenes (Romo-Lozano *et al.*, 2007, Cantoral-Herrera, 2015). Esta especie se encuentra ampliamente distribuida en la Ciudad de México, tanto en las zonas urbanas como en las áreas verdes, pues es una especie altamente tolerante que crece bien en una amplia variedad de climas y suelos, y resiste altos niveles de salinidad, inundaciones y heladas (Hughell, 1900; Stone y Bacon, 1994; CONABIO, 2016). Su distribución en México ha aumentado en las últimas décadas, y abarca los estados de Michoacán, Oaxaca y Jalisco y la Ciudad de México, entidades en las que su manejo ha sido difícil y poco efectivo, ya que después de ser talado, el árbol rebrota la mayor parte de las veces (Martínez, 1990; CONABIO, 2016; González-Jaramillo, 2018). Además de esto, se le considera como una especie de alto riesgo para las especies nativas por ser considerado un vector de patógenos de importancia para la vida silvestre (CONABIO, 2016).

Varios estudios en la Ciudad de México, han detectado que *E. camaldulensis* es una de las especies más susceptibles a la infestación por agentes patógenos biológicos, del arbolado urbano de parques y bosques tales como Chapultepec y las Alamedas Central, Sur y Norte (SEDEMA, 2004; Zaragoza-Hernández *et al.*, 2015, Zara Reséndiz-Martínez *et al.*, 2019). Entre los patógenos más conocidos que los atacan se encuentra el muérdago *Cladocolea* sp. y el insecto escama *Glycaspis brimblecombei*, además al ser parte del arbolado urbano, han estado sujetos a daños mecánicos como el vandalismo (SEDEMA, 2004; Zaragoza-Hernández *et al.*, 2015, Zara Reséndiz-Martínez *et al.*, 2019).

Todo esto en conjunto, ha disminuido su vigor y dañado su estado sanitario, lo cual como cualquier otro organismo debilitado lo convierte en un blanco importante para otro tipo de depredadores (SEDEMA, 2004; Zaragoza-Hernández *et al.*, 2015, Zara Reséndiz-Martínez *et al.*, 2019).

1.3. Enemigos naturales de *E. camaldulensis*

Estudiar los enemigos naturales como hongos, virus, insectos o bacterias de las especies invasoras es importante ya que éstos pueden ser útiles en su control (FAO, 2006). Lamentablemente, se tienen pocos registros de los enemigos naturales de los eucaliptos, y la mayoría de los estudios están enfocados a su combate en plantaciones donde se obtiene papel o madera de estos árboles y poco se sabe de los depredadores que han viajado con este árbol desde Australia a las diferentes regiones del mundo, y que han sobrevivido, se han adaptado y continúan depredándolo en su nuevo hogar (FAO, 2006).

Los enemigos naturales nativos de *E. camaldulensis*, incluyen, por ejemplo, el gorgojo *Gonipterus stecullatus*, los cerambícidos *Phoracantha recurva* y *P. semipunctata*, el tisanóptero *Isoneurothrips australis* y los psílicos *Glycaspis brimblecombei*, *Blatopsylla occidentalis* y *Ctenarytaina eucalypti*.

No obstante fuera de Australia, se han reportado depredadores nativos de los lugares donde se han introducido éstos árboles, por ejemplo, en Sudamérica hormigas de los géneros *Atta* y *Acromyrmex*; en Nueva Zelanda el cóccido *Ericoccus coriaceus*, en Brasil los lepidópteros *Phassus giganteus* y *Thyintaina arnobia* y el coleóptero *Sternocolapsis quatordecimcostata*, en Argentina el gorgojo *Gonipterus gibberus*, en Ecuador los coleópteros *Paramallocera ilinizae* y *Paropsis dilatata*, en España el psílido *Ctenarytaina spatulata* y los escarabajos *Gonipterus platensis*, *Xyleborinus saxeseni*, *X. dispar* y *Platypus cylinders* (FAO, 1958; Lombardero y Fernández, 1997; Cantoral-Herrera, 2015; Gil *et al.*, 2018).

Sin embargo, no todos los depredadores causan el mismo nivel de daño a los árboles, en la literatura se reporta que los enemigos naturales que causan mayor daño

a los árboles de este género son los escarabajos descortezadores y barrenadores, ya que al barrenar la corteza generalmente el árbol muere (González-Tirado, 1984; Lombardero y Fernández, 1997; Beéche *et al.*, 2003; Ruíz-Fernández, 2007).

Eucalyptus camaldulensis, en Australia, Chile y España se reporta que es atacado por dos especies de escarabajos cerambícidos *Phoracantha recurva* y *P. semipunctata* (Ruíz-Fernández, 2007; González-Tirado, 1984; Beéche *et al.*, 2003; Fig. 1.1). Estos escarabajos se distinguen por causar un daño a nivel floema cuando la larva barrena el tronco y las ramas del árbol para alimentarse de la savia en los tejidos conductores del árbol, lo que provoca el anillamiento¹ del mismo y, finalmente, su muerte. Los cerambícidos adultos tienen preferencia por árboles bajo estrés hídrico, ya que en árboles sin estrés hídrico, las larvas podrían morir ahogadas por la savia del árbol (González-Tirado, 1984; Beéche *et al.*, 2003).

Phoracantha recurva y *P. semipunctata*, de origen australiano, tienen, como todos los coleópteros, una metamorfosis holometábola (con cuatro estados de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto) y tienen de una a dos generaciones al año (González-Tirado, 1984). Cuando un eucalipto es atacado por estos cerambícidos experimenta disminución de follaje, secreción de resina en el fuste, corteza desprendida, y manifestaciones longitudinales de las galerías (Ruíz-Fernández, 2007; González-Tirado, 1984; Beéche *et al.*, 2003; Fig. 1.2).

¹ Anillamiento: se refiere al proceso de eliminar una porción de la corteza y floema del árbol, cortando una franja alrededor del tronco para impedir el flujo de sustancias elaboradas, provocando finalmente la muerte del árbol (Louman *et al.*, 2001).

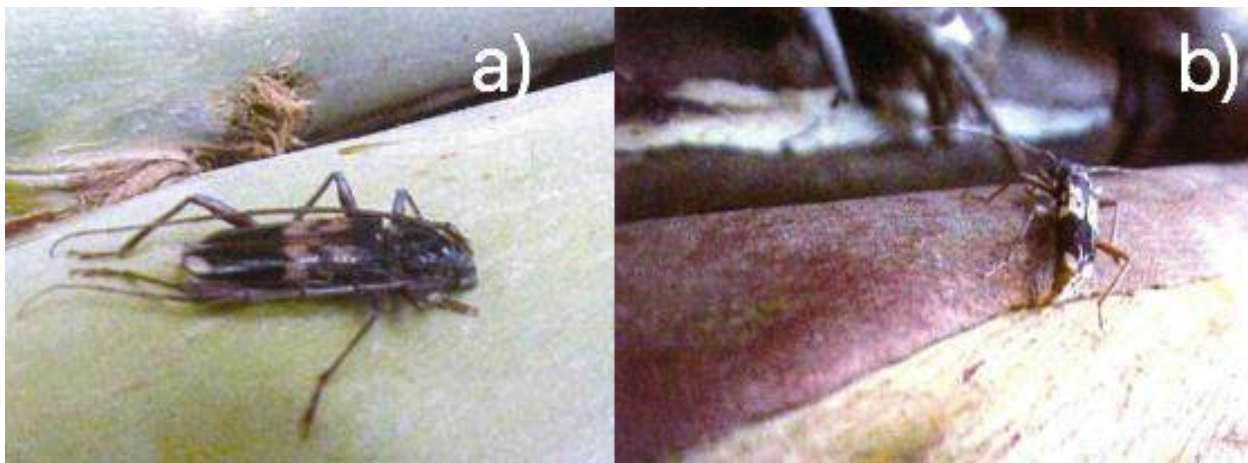


Figura 1.1. a) Adulto de *Phoracantha recurva* sobre tronco de eucalipto, b) adulto de *Phoracantha semipunctata* sobre tronco de eucalipto. Fotografías tomadas de Beéche *et al.* (2003).

En México, el único enemigo natural que se ha estudiado es el psílido *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae), el cual llegó a México en el año 2000 a las plantaciones comerciales de eucalipto de Tabasco y Veracruz, y ha causando la muerte de muchos individuos (García *et al.*, 2003; Romo-Lozano *et al.*, 2007). Sin embargo, Llorente-Bousquets *et al.* (1996) reportó a *Phoracantha semipunctata* en el estado Baja California y Cortés-Aguilar *et al.* (2019), encontró a *Phoracantha recurva* en Ensenada y la Ciudad de México.

Por otra parte, existen otro tipos de barrenadores de los árboles, los pícidos, conocidos comunmente como pájaros carpinteros, los géneros *Melanerpes*, *Sphyrapicus*, *Picoides* y *Campephilus*, poseen la capacidad de barrenar el tronco del árbol y perforar el floema para alimentarse de los flujos de savia, haciendo agujeros que hacen varían en forma, tamaño y disposición en cada especie de árbol, dependiendo de su tamaño con el fin de maximizar la recolección de savia, en árboles grandes las perforaciones suelen ser pequeñas y redondas formando hileras, mientras que en los árboles pequeños son grandes e irregulares (Núñez-Montellano y Blendinger, 2015). En la Ciudad de México se encuentran los carpinteros *Melanerpes formicivorus* y *Sphyrapicus varius* que han sido reportados como barrenadores de encino, sin embargo, en 2019 se han observado pájaros carpinteros (Piciformes:

Picidae) barrenando árboles de *E. camaldulensis* en diversas localidades de la Ciudad de México (obs. pers; M. Bonilla-Rodríguez, com. pers.).

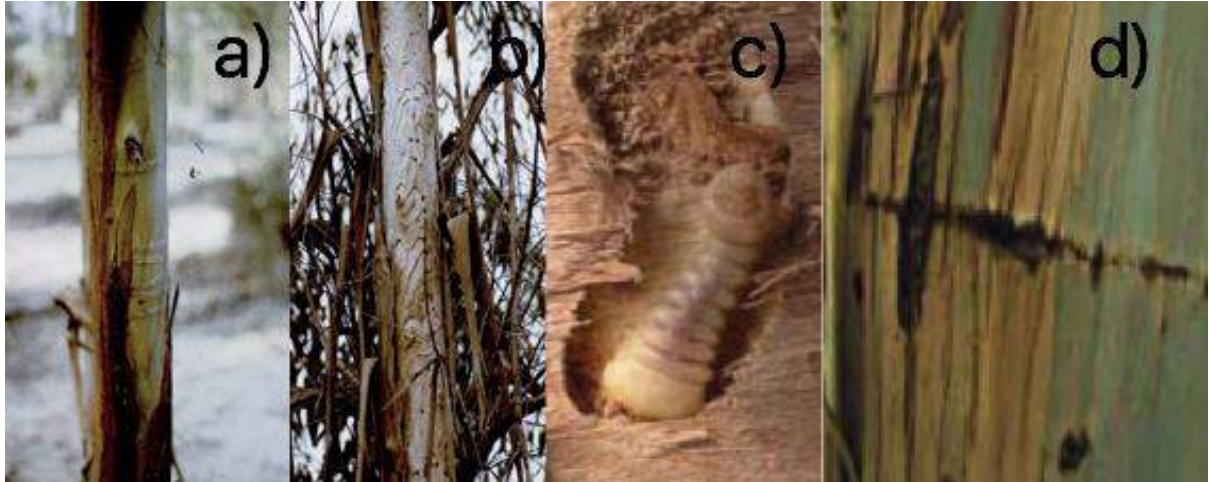


Figura 1.2. a) Secreción de resina, b) corteza desprendida, c) larva de *Phoracantha semipunctata* haciendo galerías en el tronco (tomadas de González-Tirado, 1984). d) manifestación longitudinal de las galerías (fotografías tomadas de Ruíz-Fernández, 2007).

Melanerpes formicivorus es una especie residente reportada en bosques de encino de Tarango y del Parque Fuentes Brotantes, que es conocida comúnmente como carpintero bellotero debido a que almacena bellotas en hoyos que hace en la corteza de los árboles para la época de escasez, aunque también puede alimentarse de insectos y de savia (Del Olmo, 2013). Por otra parte, *Sphyrapicus varius*, que ha sido avistada en el Parque México, el Bosque de Aragón y Ciudad Universitaria, es un ave migratoria conocida como chupasavia, por sus hábitos alimentarios, ya que obtiene la savia haciendo pequeños agujeros alineados en la corteza para que ésta brote y pueda lamerla, aunque también come invertebrados terrestres (Del Olmo, 2013).

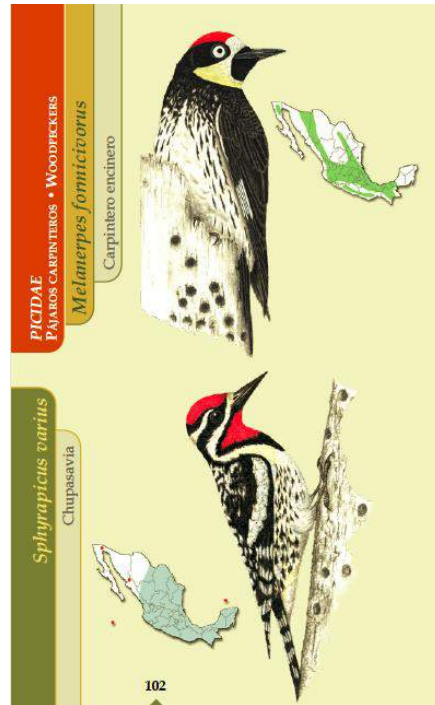


Figura 1.3. *Melanerpes formicivorus* y *Sphyrapicus varius* (Ilustración tomada de Del Olmo, 2013).

1.4. Justificación

Eucalyptus camaldulensis es un parte importante del arbolado urbano en la Ciudad de México, así como una de las especies más susceptibles al ataque de patógenos, por ello, es esencial conocer cuáles son éstos depredadores, principalmente los barrenadores y descortezadores, cuál es su incidencia y severidad de ataque y qué factores influyen para que éstos lo depreden.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue conocer la incidencia y severidad del daño por descortezadores y barrenadores en poblaciones de *Eucalyptus camaldulensis* de diversas áreas verdes de la Ciudad de México. Los siguientes son los objetivos particulares:

1. Conocer las especies de escarabajos y carpinteros que descortezan y barrenan los troncos de *E. camaldulensis* en la Ciudad de México.
2. Evaluar la relación entre la talla y densidad de árboles con la incidencia y severidad de daño ocasionado por insectos y carpinteros
3. Explorar la asociación entre los patógenos, epífitas y trepadoras, la composición de la matriz vegetal y el grado perturbación antropogénica con el vigor de los árboles de *E. camaldulensis*.

3. MÉTODOS

3.1. Selección de sitios y árboles

Se eligieron 20 sitios en parques, bosques, cerros y reservas ecológicas presentes en nueve alcaldías de la Ciudad de México (Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Miguel Hidalgo, Tlalpan y Xochimilco), reportados por la SEDEMA (2004) con mayor abundancia de eucaliptos y que cumplieran con tener al menos 60 árboles en cada uno de ellos.

Los sitios que se encontraban en la misma alcaldía debían tener al menos una distancia de 50 m entre ellos, para poder ver si existían diferencias entre la incidencia y severidad aún en parcelas del mismo sitio. Los rasgos y ubicaciones de los sitios se muestran en el anexo 1 (Fig. 3.1).

En cada uno de los 20 sitios se escogió como eucalipto focal el individuo que quedara en el centro del sitio, el cual fue georreferenciado y a partir del cual se seleccionaron 59 eucaliptos más cercanos a la redonda, registrando un total de 60 árboles por sitio. Cada árbol debía medir arriba de 4.5 m de altura.



Figura 3.1 Ubicación de los 20 sitios muestrados en la Ciudad de México.

3.2. *Eucalyptus camaldulensis*

Eucalyptus camaldulensis es un árbol que puede alcanzar hasta los 60 m de altura. Tiene una copa abierta e irregular y un tronco de hasta 1 m de diámetro con corteza lisa que se desprende fácilmente. Sus hojas maduras son lanceoladas y pecioladas con un borde liso y color verde opaco, mientras que las juveniles son ovadas y anchamente lanceoladas. Sus flores están acomodadas en inflorescencias en forma de umbelas de siete a 11 flores y con estambres de color blanco o amarillo sin pétalos. Su fruto es capsular, mide de 5 a 8 mm de longitud y tiene un opérculo puntiagudo y numerosas semillas pequeñas angostas y de color café que carecen de apéndices. Florece de abril a junio y la liberación de semillas ocurre durante todo el año, teniendo su mayor pico en agosto (Valdebenito *et al.*, 2001; CONABIO, 2016; Lorenzo-Cáceres 2016).

3.3. Registro de escarabajos descortezadores y carpinteros barrenadores

Durante los muestreos se colectaron todos los escarabajos presentes bajo la corteza de todos los eucaliptos, desprendiéndola en todo el tronco, desde la base hasta 2.5 m de altura, posteriormente cada escarabajo fue depositado en alcohol al 70% e identificado al máximo nivel taxonómico posible con las claves del libro American Beetles (Arnett y Thomas, 2000), con la Guía para las familias comunes de coleoptera de México (Fierros-López, 2005) y con el apoyo del M. en C. Iván Castellanos Vargas, ecólogo de insectos.

Cada ejemplar fue catalogado como nativo o exótico, y se buscó en la literatura si era reportada como una especie barrenadora. Con los datos obtenidos se obtuvo la riqueza de escarabajos descortezadores y barrenadores registrada en cada población en cada árbol y se les clasificó en nativos y exóticos.

Durante los muestreos, de las 9 am hasta las 3 pm, se realizaron avistamientos de aves que estuvieran barrenando el árbol, se tomó como barrenador el ave que realizara una perforación directa y constante al árbol, se le tomó fotografía, video y se identificó la especie, también se dio su temporada de avistamiento.

3.4. Registro de variables

A cada árbol se le registró el nivel de severidad de daño por escarabajos descortezadores y el provocado por pájaros carpinteros.

La severidad de galerías de escarabajos barrenadores se tomó en una escala de 0 (sin daño) y 5 (grado máximo de daño; Fig. 3.2).

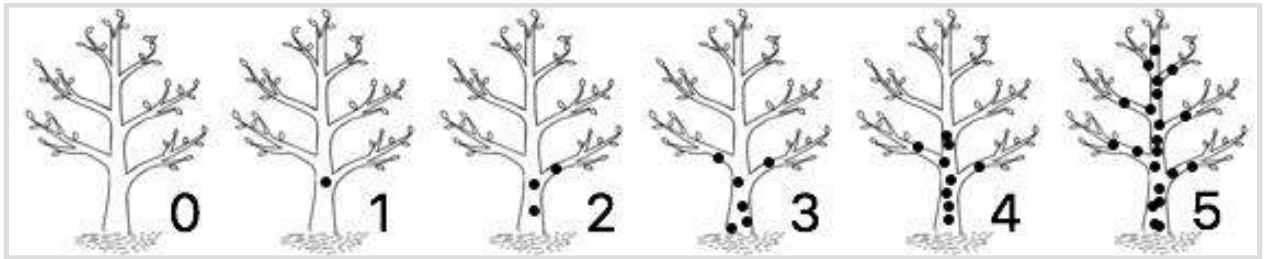


Figura 3.2. Escala cualitativa de grado de daño de escarabajos barrenadores. Elaboración propia.

Los pájaros carpinteros se alimentan haciendo barrenos alrededor del tronco dejando tras de sí anillos irregulares (Fig. 3.4). Por ello, la severidad por ataque de pájaros carpinteros se registró como el número promedio de anillos registrados en cuatro puntos cardinales del tronco.

La incidencia se midió como el porcentaje de árboles por sitio que presentaron galerías de escarabajo y anillos de carpintero. Se calculó también la prevalencia de daño por galerías de escarabajos, así como de daño por carpintero tomando la severidad promedio de galerías o de anillos de carpintero únicamente en los árboles con daño. Asimismo, a cada árbol seleccionado también se le registraron distintas variables señaladas y explicadas en la Tabla 3.1, las cuales se analizaron a nivel poblacional (20 poblaciones) e individual (1 200 especímenes).

Por otra parte, se calculó un índice de disturbio en cada uno de los 20 sitios con la suma de cuatro indicadores, dos cualitativos: porcentaje del sitio con basura, porcentaje de caminos y dos cuantitativos: porcentaje de árboles con vandalismo, y porcentaje de árboles quemados (ver anexo 3).

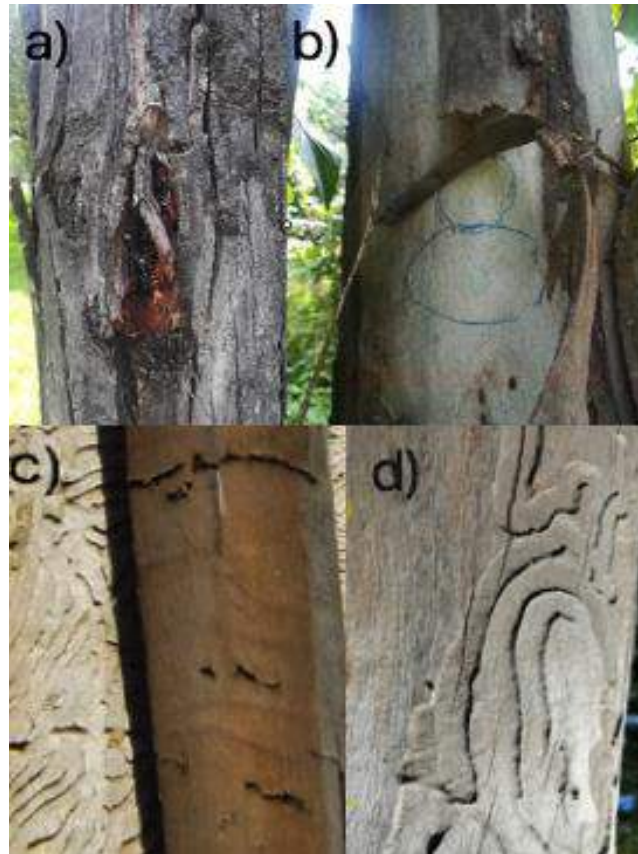


Figura 3.3. a) Resina en el fuste, b) corteza desprendida y c) manifestaciones longitudinales de las galerías d) galerías de escarabajos descortezadores. Fotos: S.I. González-Jaramillo.



Figura 3.4 Patrón de anillos hecho por pájaros carpinteros en *Eucalyptus camaldulensis* de la Ciudad de México, en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Área de Amortiguamiento 8. Fotos: S.I. González-Jaramillo.

Tabla 3.1. Variables explicatorias registradas en cada uno de los 1200 árboles de *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México. Se muestran los valores que se le asignó a cada variable de manera poblacional e individual. *Pap*, perímetro a la altura del pecho

Variable	Valor	Poblacional (20 sitios)	Individual (1200 árboles)
Estado	0 o 1 (0, muerto; 1, vivo)	% de árboles vivos	0, muerto; 1, vivo
Posición en la matriz vegetal	0 o 1 [0, en el borde (a menos de 5 m de un camino); 1, en el interior (a más de 5 m de un camino)]	% de árboles en el interior	0, borde; 1, interior
Altura	altura del árbol en m	altura promedio	altura del árbol
Perímetro a la altura del pecho	<i>pap</i> del árbol en cm	<i>pap</i> promedio	<i>pap</i> del árbol
Vigor	1 a 5 (1 vigor óptimo 5 muerto) según la escala de Benavides-Meza (2015; ver anexo 2)	vigor promedio	vigor de cada árbol
Desprendimiento de corteza	Evidencia de corteza desprendida (Figs.1.2 y 3.3)	% de árboles con corteza desprendida (incidencia)	0. ausencia: 1, presencia
Heridas	Presencia de heridas longitudinales (Figs.1.2 y 3.3)	% de árboles con heridas longitudinales	0. ausencia: 1, presencia
Resina	Resina en el tronco	% de árboles con resina en el tronco	0. ausencia: 1, presencia
Muérdago	Presencia de muérdago en las ramas del árbol	% de árboles con muérdago	0. ausencia: 1, presencia
Hongo <i>Kirramyces</i>	Presencia del hongo <i>Kirramyces</i> sp. en las hojas del árbol	% de árboles con <i>Kirramyces</i> sp.	0. ausencia: 1, presencia
Insecto	Presencia del psílido <i>Glycaspis</i>	% de árboles con <i>Glycaspis</i>	0. ausencia: 1, presencia

Variable	Valor	Poblacional (20 sitios)	Individual (1200 árboles)
escama	<i>brimblecombei</i> en el árbol	<i>brimblecombei</i>	presencia
Plantas epífitas y trepadoras	Presencia de plantas epífitas y trepadoras sobre el tronco del árbol (en adelante epífitas)	% de árboles con epífitas	0. ausencia: 1, presencia
Traslape copa	Existencia de traslape de la copa del árbol con otro árbol de la misma u otra especie	% de árboles con copa traslapada	0. ausencia: 1, presencia
Ramas secas	Existencia de ramas secas en el árbol	% de árboles con ramas secas	0. ausencia: 1, presencia
Ramas basales	Ramas vivas en la parte más baja del tronco del árbol	% de árboles con ramas basales	0. ausencia: 1, presencia
Tronco principal muerto	Tronco más alto y grueso del árbol muerto que aún tiene ramas basales vivas	% de árboles con tronco principal muerto	0. ausencia: 1, presencia
Árboles quemados	Árbol con marcas de fuego en él	% de árboles quemados	0. ausencia: 1, presencia
Vandalismo	Clavos en el árbol o marcas hechas con objetos punzocortantes en el tronco	% de árboles con vandalismo	0. ausencia: 1, presencia
Tocón	Marca de tala del pie del tronco del árbol	% de árboles con tocón	0. ausencia: 1, presencia
Desmoche	Marca de poda de la copa del árbol	% de árboles con desmoche	0. ausencia: 1, presencia
Herbivoría	Herbivoría en las hojas del árbol	% de árboles con herbivoría	0. ausencia: 1, presencia
Tumores	Protuberancia en el tronco del árbol causada por bacterias	% de árboles con tumores	0. ausencia: 1, presencia
Hongos en tronco	Macromicetos en el tronco del árbol	% de árboles con hongos en el tronco	0. ausencia: 1, presencia
Anillado	Árbol con lesiones hechas por hacha o	% de árboles con	0. ausencia: 1,

Variable	Valor	Poblacional (20 sitios)	Individual (1200 árboles)
	alambre alrededor del tronco (Louman <i>et al.</i> , 2001)	anillado	presencia
Índice disturbio	% quemados+ % de vandalismo + % de basura+ % de caminos en el sitio	valor por sitio	-
Tamaño parche	Tamaño del parche en ha en las que se encontraron los 60 eucaliptos	valor por sitio	-
Riqueza de escarabajos	Número de especies de escarabajos presentes bajo la corteza de cada árbol	riqueza por sitio	riqueza por árbol
Densidad eucaliptos	No. de árboles/ 100 m ²	densidad por sitio	-
Pendiente sitio	Grado de inclinación del sitio en donde estaban los árboles	valor por sitio	-
% Basura sitio	0 a 100 % (0 sin basura, 100 lleno de basura) cualitativo	valor por sitio	-
% Caminos sitio	0 a 100 % (0 sin caminos, 100 lleno de caminos) cualitativo	valor por sitio	-
Prevalencia de daño por escarabajos	Severidad promedio solamente en los árboles con daño	valor por sitio	-
Prevalencia de daño por carpinteros	Severidad promedio solamente en los árboles con daño	valor por sitio	-
Sitio	Letra por sitio	a a la t	-

3.5. Análisis estadísticos

Para conocer cuál es la variable que más explica la incidencia y severidad de galerías de escarabajo y anillos de carpintero se calcularon cuatro modelos lineales generalizados (GLM) de manera poblacional entre la incidencia y severidad promedio de cada agente de daño: descortezadores y carpinteros y las variables explicativas

registradas de la tabla 3.1. Por otra parte, de manera individual se hizo lo mismo con la severidad por árbol de cada factor de daño.

Los GLM se obtuvieron con distribución de error tipo Poisson y función de enlace log. En todos los casos, se utilizó el método de eliminación por pasos por medio del criterio de Akaike y la función Step AIC (criterio de información de Akaike) con dirección hacia atrás para escoger el mejor modelo. Posteriormente, se interpretó biológicamente con el estimado de cada factor significativo resultante del mejor modelo.

Por otra parte, se realizaron modelos lineales generalizados con distribución de error tipo Poisson y función de enlace log con los tres principales variables resultantes de los primeros modelos, que explican la incidencia y severidad de galerías y anillos de carpintero de manera poblacional y la severidad de galerías y anillos de carpintero de manera individual, con la función Step AIC con dirección hacia atrás para analizar las interacciones entre estos tres factores.

Todos los modelos se obtuvieron utilizando el programa R version 4.1.0 (R Core Team, 2021).

4. RESULTADOS

4.1. Escarabajos barrenadores y descortezadores

En total se registraron 369 escarabajos distribuidos en 15 familias, 36 géneros y 48 especies bajo la corteza de *Eucalyptus camaldulensis* en los 20 sitios sujetos a muestreo. La familia mejor representada fue Chrysomelidae con 12 especies. De las 48 especies se identificaron 15 hasta especie, ocho fueron exóticas y siete nativas (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Lista de especies de escarabajos presentes bajo la corteza de *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México. En negritas se enfatizan las especies reportadas como barrenadoras y descortezadoras.

No.	Familia	Especie	Nativo (N) o Exótico (E)	Sitios	Número de individuos por especie
1	Bostrichidae	<i>Lichenophanes</i> sp.	-	Águilas 2, Nativitas 2	3
2	Cantharidae	<i>Cantharis</i> sp.1	-	Estrella 1 y 2	2
3	Cantharidae	<i>Cantharis</i> sp.2	-	REPSA 1, Zacatépetl 1	2
4	Cantharidae	<i>Chauliognathus cinguliventris</i>	E	Nativitas 1	2
5	Carabidae	<i>Discoderus</i> sp.1.	-	Chapultepec 1 y 2, Águilas 2	1
6	Carabidae	<i>Discoderus</i> sp 2.	-	Nativitas 1	16
7	Carabidae	<i>Dyschirius</i> sp.	-	Aragón 2	1
8	Carabidae	<i>Laemostenus complanatus</i>	E	Tlalpan 1	1
9	Carabidae	<i>Ophonus</i> sp.	-	Aragón 1 y 2	3
10	Carabidae	<i>Trechus</i> sp.	-	Águilas 1, Nativitas 1	2
11	Cerambycidae	<i>Phoracantha recurva</i>	E	Tezozómoc 2	1
12	Cerambycidae	<i>Phoracantha semipunctata</i>	E	Zacatépetl 1	1

No.	Familia	Especie	Nativo (N) o Exótico (E)	Sitios	Número de individuos por especie
13	Chrysomelidae	<i>Acalymma trivittatum</i>	N	Tlalpan 1	2
14	Chrysomelidae	<i>Altica</i> sp.	-	Aragón 1 y 2, Tláhuac 1 y 2	11
15	Chrysomelidae	<i>Asphaera</i> sp.	-	REPSA 2, Águilas 1 y 2	3
16	Chrysomelidae	<i>Charidotella</i> sp.	-	Zacatépetl 1	1
17	Chrysomelidae	<i>Chrysolina</i> sp.	-	Zacatépetl 1	1
18	Chrysomelidae	<i>Disonycha</i> sp 1.	-	Aragón 1	8
19	Chrysomelidae	<i>Disonycha</i> sp 2.	-	Tlalpan 1 y 2, Tláhuac 2, Tezozómoc 2	7
20	Chrysomelidae	<i>Disonycha</i> sp. 3	-	Aragón 1	2
21	Chrysomelidae	<i>Lema quinquenotata</i>	N	Tlalpan 2	1
22	Chrysomelidae	<i>Trachymela sloanei</i>	E	Estrella 1y 2, Chapultepec 1 y 2, REPSA 1, Águilas 1 y 2, Nativitas 1 y 2, Tlalpan 2, Aragón 1 y 2, Zacatépetl 1 y 2, Tláhuac 1 y 2, Tezozómoc 1 y 2	160
23	Chrysomelidae	<i>Zygogramma piceicollis</i>	N	Aragón 2, Tláhuac 2,	4
24	Chrysomelidae	<i>Zygogramma signatipennis</i>	N	Aragón 1 y 2	10
25	Ciidae	<i>Cis</i> sp.	-	Nativitas 1, Tláhuac 2, Tezozómoc 1 y 2	6
26	Ciidae	Sp. 2	-	Aragón 2	1
27	Cleridae	<i>Opilo</i> sp.	-	Aragón 1	1
28	Cleridae	Sp.3	-	Aragón 2, Tláhuac 1 y 2	8
29	Coccinellidae	<i>Azya orbigera</i>	E	Tláhuac 1	1
30	Coccinellidae	<i>Chilocorus cacti</i>	N	Aragón 1	2
31	Coccinellidae	<i>Epilachna mexicana</i>	N	Aragón 1, Tezozómoc 1	14
32	Coccinellidae	<i>Epilachna obscurella</i>	N	Aragón 1	5

No.	Familia	Especie	Nativo (N) o Exótico (E)	Sitios	Número de individuos por especie
33	Coccinellidae	<i>Hippodamia convergens</i>	E	Aragón 1	8
34	Coccinellidae	<i>Hippodamia</i> sp.	-	Nativitas 2	1
35	Curculionidae	<i>Pantomorus albicans</i>	-	Tláhuac 1	1
36	Histeridae	Sp. 1	-	Aragón 2, Zacatépetl 2,	6
37	Hydrophilidae	Sp. 4	-	Aragón 2	1
38	Lampyridae	<i>Pyropyga</i> sp.	-	REPSA 1	1
39	Meloidae	<i>Epicauta</i> sp1.	-	Chapultepec 2	11
40	Tenebrionidae	<i>Alobates</i> sp 1.	-	REPSA 1, Zacatépetl 2	3
41	Tenebrionidae	<i>Alobates</i> sp. 2	-	REPSA 2, Nativitas 1, Tlalpan 1 y 2, Aragón 1 y 2 , Tláhuac 1	14
42	Tenebrionidae	<i>Alobates</i> sp. 3	-	Nativitas 1	2
43	Tenebrionidae	<i>Alobates</i> sp. 4	-	Tlalpan 1 y 2	4
44	Tenebrionidae	<i>Eleodes</i> sp.	-	Estrella 1, Nativitas 1, Tlalpan 1, Zacatépetl 1	19
45	Tenebrionidae	<i>Pechalius dentiger</i>	E	Estrella 2, Chapultepec 2, Nativitas 2, Aragón 2, Tláhuac 2	5
46	Tenebrionidae	<i>Pechalius</i> sp.	-	Chapultepec 1, Tezozómoc 1	4
47	Zopheridae	<i>Rhagoderma</i> sp.	-	REPSA 1	1
48	Zopheridae	<i>Zopherus</i> sp.	-	Estrella 1, Tlalpan 1 y 2	5

El sitio con menor riqueza fue REPSA 2 con 2 especies y los sitios con mayor riqueza fueron Aragón 1 y 2 con 12 especies, la riqueza acumulada llegó hasta 10 especies diferentes (Fig. 4.1, Tabla 4.1). El árbol con mayor riqueza se encontró en Aragón 1 con un total de 6 especies diferentes de escarabajos bajo su corteza. Entre ellos se registraron dos escarabajos barrenadores especialistas del género *Eucalyptus*

pertencientes a la familia Cerambycidae: *Phoracantha recurva* presente en el sitio Tezozómoc 2 y *P. semipunctata* en el sitio Zacatépelt 1 (Figs. 4.2a y b).

También se registró el escarabajo *Lichenophanes* sp. (Bostrichidae), reportado como barrenador por la SEMARNAT (2016) en los sitios Águilas 2 y Nativitas 2. En el mismo árbol del sitio Águilas 2 del cual es la fotografía, se encontró un patrón de barrenos particular en el cual el grosor del camino de la larva se ve más angosto, y la galería es pequeña (Fig. 4.3).

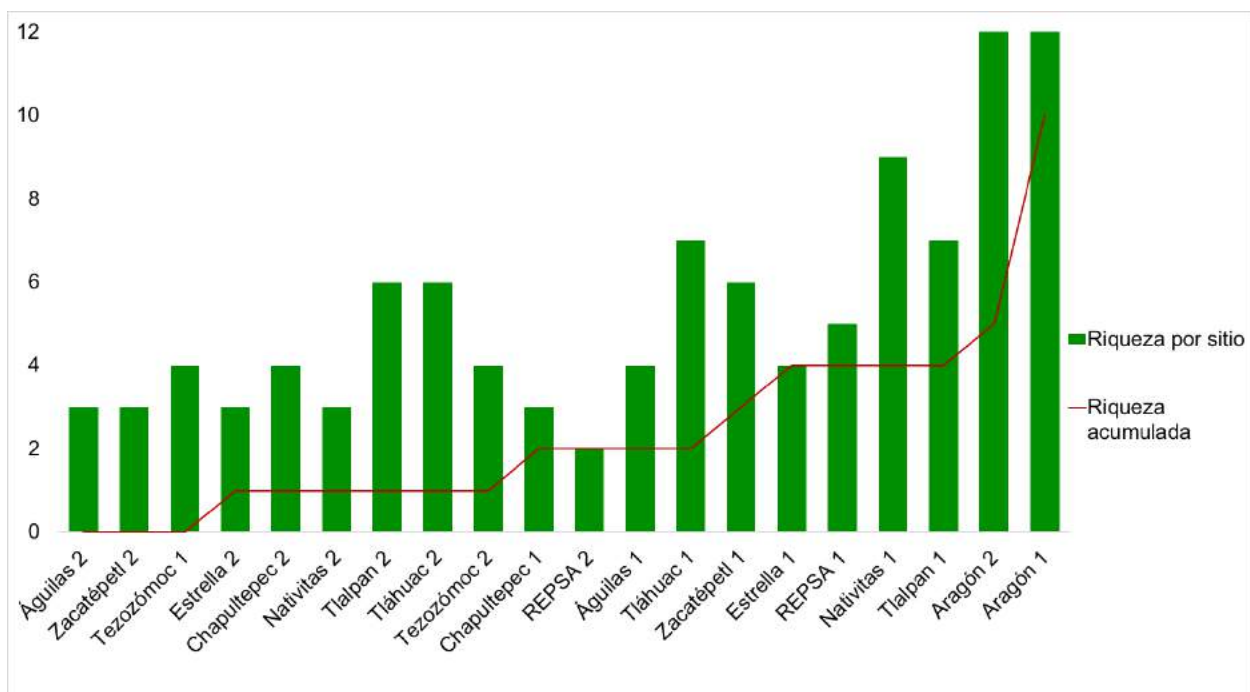


Figura 4.1. Riqueza por sitio y acumulada de los escarabajos presentes bajo la corteza de *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México.

4.2. Avistamientos de pájaros carpinteros

Se hicieron dos avistamientos de carpinteros durante el muestreo en eucaliptos de la Ciudad de México, de la especie *Sphyrapicus varius* dentro de los sitios de estudio. Se observaron en Bosque de Tlalpan 1 (alcaldía Tlalpan) el 15 de noviembre de 2019, y en

el sitio Bosque de Aragón 2 (alcaldía Gustavo A. Madero) el 13 de diciembre de 2019 (Fig. 4.4).

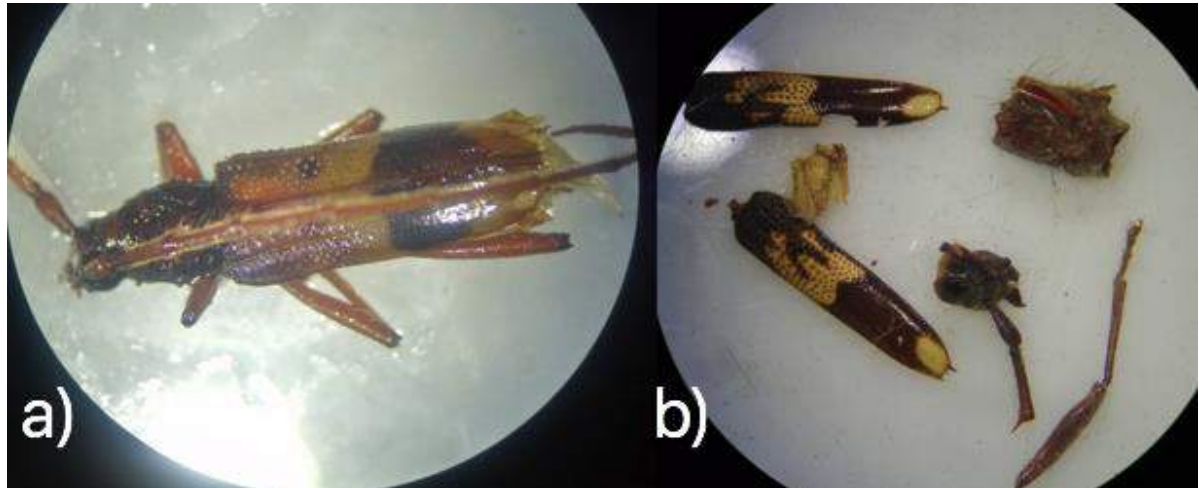


Figura 4.2. a) Espécimen de *Phoracantha recurva* encontrado vivo en *Eucalyptus camaldulensis* en el Parque Tezozómoc de la Ciudad de México. b) Restos de espécimen de *Phoracantha semipunctata* encontrado vivo en *Eucalyptus camaldulensis* vivo en el Cerro Zacatépétl de la Ciudad de México. Fotos: S.I. González-Jaramillo.



Figura 4.3. a) Espécimen de *Lichenophanes* sp. encontrado vivo en *Eucalyptus camaldulensis* en el Parque la Águilas (fotografía) y Bosque de Nativitas de la Ciudad de México, b) patrón de

barreno diferente del mismo árbol en el que se encontró el ejemplar en el sitio las Águilas 2.
Fotos: S.I. González-Jaramillo.



Figura 4.4. Ejemplar de *Sphyrapicus varius* observado barrenando troncos de *Eucalyptus camaldulensis* en la Ciudad de México. Bosque de Aragón diciembre de 2019. Foto: S.I. González-Jaramillo.

4.3. Incidencia y severidad de escarabajos descortezadores y barrenadores

Los barrenos producidos por pájaros carpinteros se encontraron a una altura que va de 0.7 m hasta 21.1 m de altura del tronco del árbol (Fig. 3.4). El número de orificios fue variable, cubriendo todo el tronco o encontrándose solo un orificio. Se llegaron a contar en un ejemplar talado que no fue del estudio, hasta 99 orificios, cada orificio midió en promedio 0.8 mm de largo y 0.5 de ancho, y 0.5 mm de profundidad, con una distancia bastante variable entre ellos entre 1mm y 2 cm y en los cuales a veces no se podía distinguir el inicio de un orificio y el fin del otro (Fig. 3.4).

Todos los sitios tuvieron registros de presencia de galerías de escarabajos descortezadores. La incidencia por escarabajos descortezadores varió de 3.3%, registrado en el sitio Chapultepec 1, a 45.0 %, en el Parque Tezozómoc 1 (Fig. 4.5). La incidencia variaba aún entre sitios en la misma localidad y relativamente cercanos entre sí, por ejemplo, los sitios Estrella 1 y 2, REPSA 1 y 2, Tlalpan 1 y 2, Aragón 1 y 2, y Tezozómoc 1 y 2 mostraban marcadas diferencias en el porcentaje de árboles con galerías por sitio.

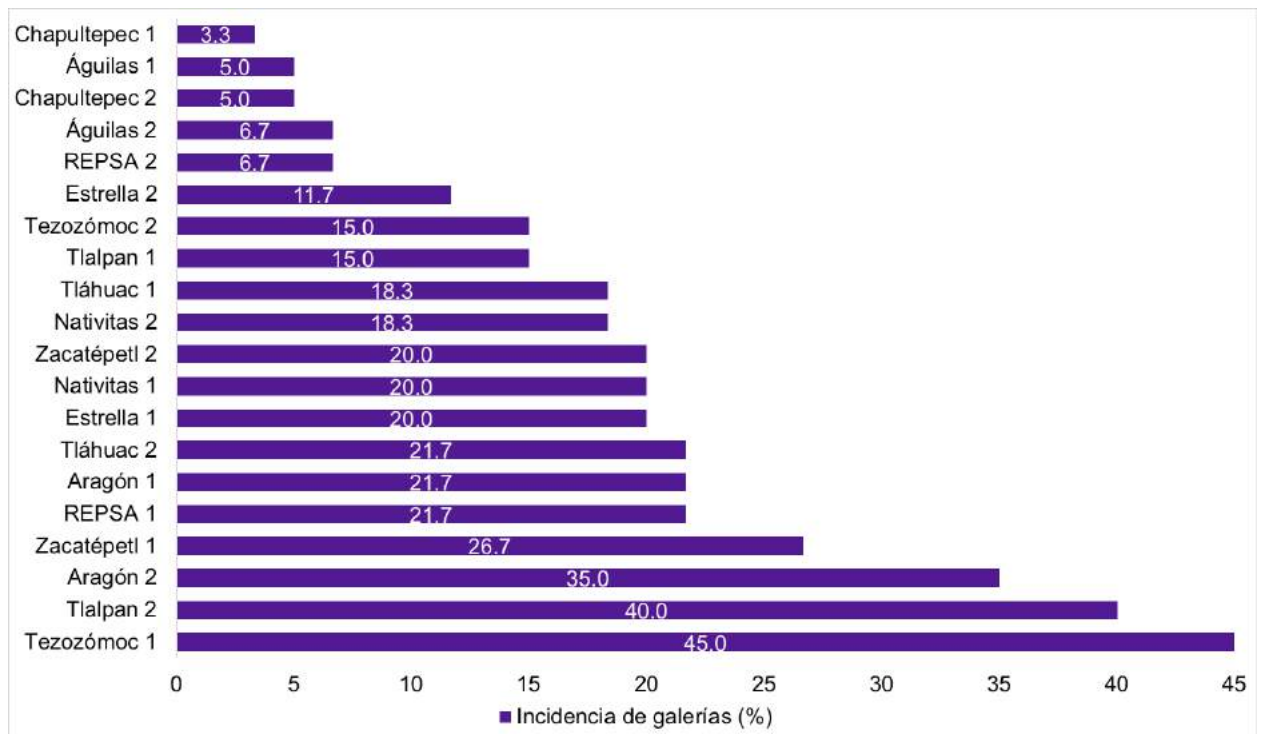


Figura 4.5. Incidencia relativa de galerías de escarabajos descortezadores y barrenadores en árboles de *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México.

Por otro lado, la severidad promedio de daño por escarabajos varió de $0.12 \pm e.e. 0.09$ registrado en Chapultepec 1, a 0.88 ± 0.18 , encontrado en Tlalpan 2 (Fig. 4.6). En cinco de los 20 sitios, la categoría con mayor frecuencia fue sin daño, seguida por la 1, en tanto que en 11 de los sitios se registraron árboles con una categoría de

daño de 5 (muerto), y los que más eucaliptos se registraron en esta categoría de daño fueron los sitios REPSA 1 y Tlalpan 2 (Fig. 4.7).

Al analizar la prevalencia de daño por galerías se puede ver que ésta varió de 1.33 ± 0.17 en el sitio Tlalpan 2 a 3.50 ± 0.87 en el sitio REPSA 1 (Fig. 4.8).

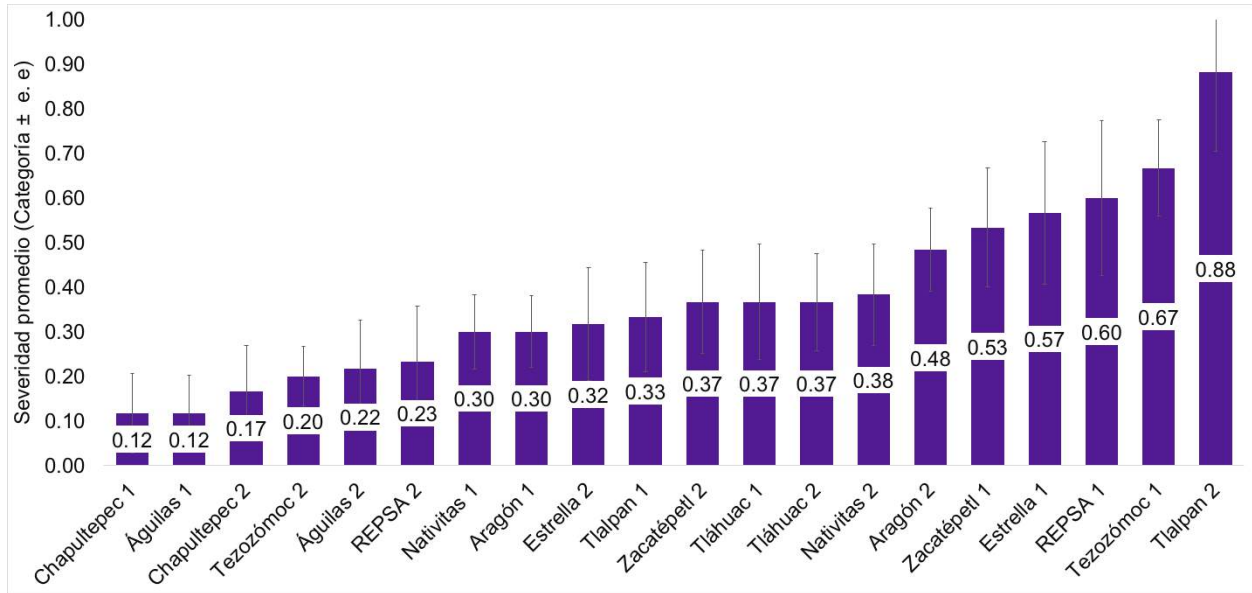


Figura 4.6. Severidad promedio de daño por escarabajos descortezadores y barrenadores, registrada en 20 sitios de la Ciudad de México.

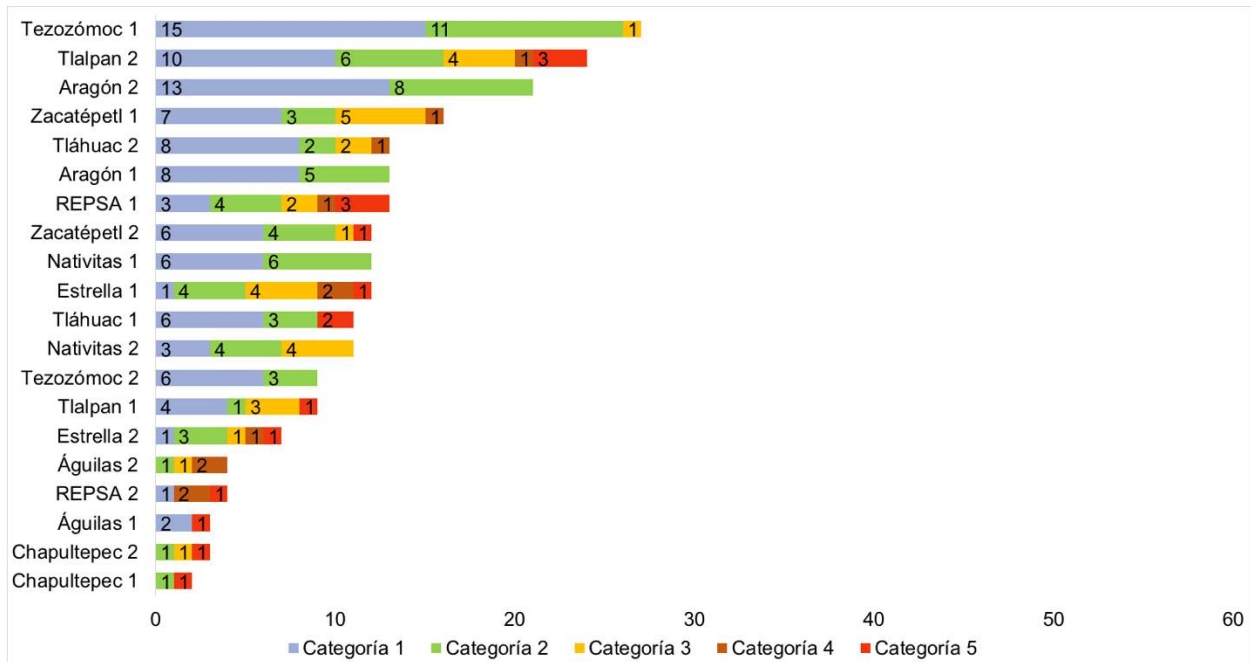


Figura 4.7. Frecuencia relativa de nivel de daño por escarabajos descortezadores y barrenadores en 20 sitios de la Ciudad de México. Los números dentro de las barras indican la frecuencia.

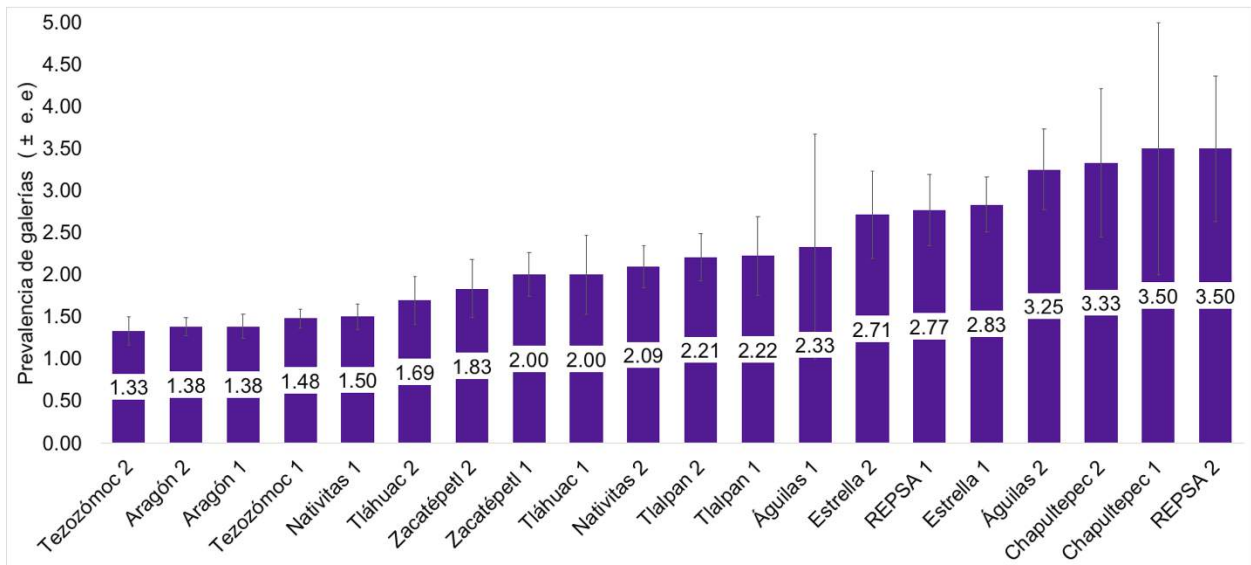


Figura 4.8. Prevalencia de daño por galerías de escarabajos descortezadores y barrenadores en 20 sitios de la Ciudad de México.

4.4. Incidencia y severidad de daño por carpinteros

Los 20 sitios registraron presencia de anillos ocasionados por pájaros carpinteros. La incidencia de anillos varió de 1.7%, en el sitio Zacatépetl 1, a 41.7% en el sitio Aragón 2 (Fig. 4.9). La incidencia varió aún entre sitios en la misma localidad y relativamente cercanos entre sí; por ejemplo, los sitios Chapultepec 1 y 2, REPSA 1 y 2, Tlalpan 1 y 2, Zacatépetl 1 y 2, así como Tezozómoc 1 y 2 mostraban marcadas diferencias en la incidencia de anillos de pájaro carpintero (Fig. 4.9).

Por otra parte, la severidad dada por el promedio de anillos de carpintero varió de 0.04 ± 0.02 registrado en Chapultepec 1, a 13.52 ± 3.72 encontrado en Tlalpan 2 (Fig. 4.10). El número de anillos varió entre árboles entre 0 y 179 (un ejemplar del sitio REPSA 1). La categoría con mayor frecuencia fue sin anillos, seguida por la de 1 a 20 anillos; 12 de los sitios registraron árboles con más de 80 anillos (Fig. 4.11).

Al analizar la prevalencia de daño por anillos de carpintero se puede ver que éste varió de 0.66 ± 0.11 en el sitio Tezozómoc 1 a 50.13 ± 34.91 en el sitio Tlalpan 1 (Fig. 4.12).

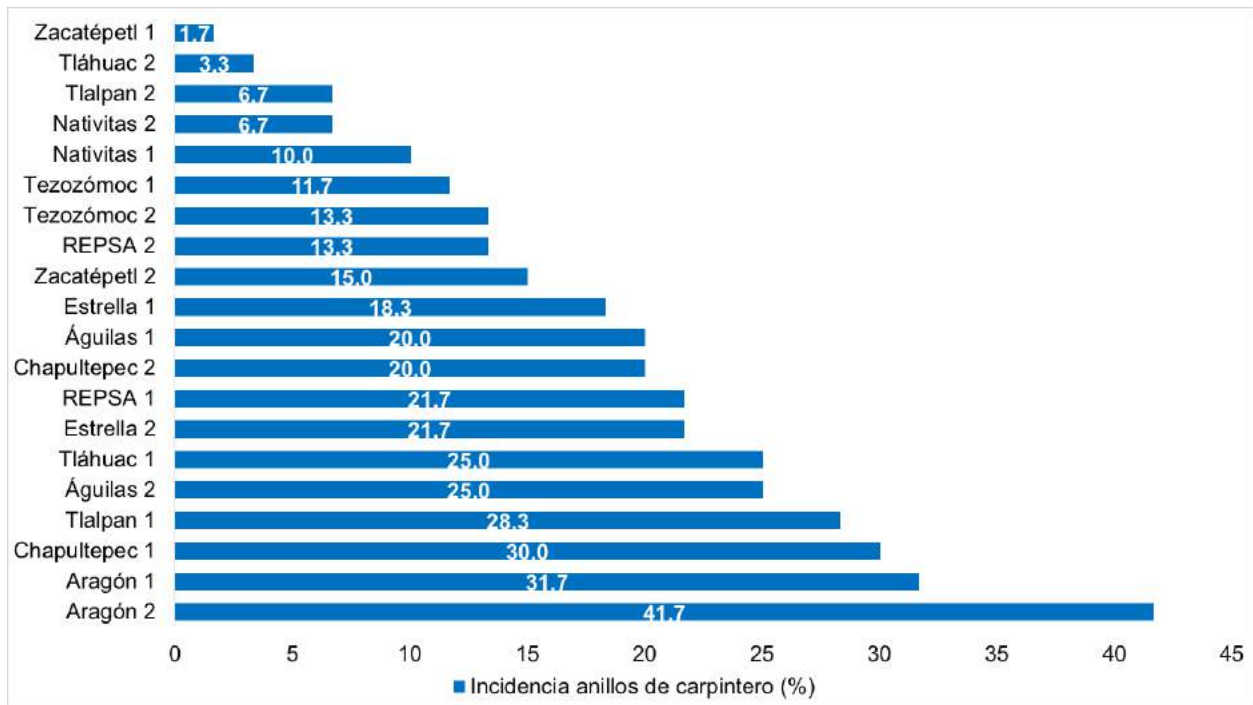


Figura 4.9. Incidencia relativa de anillos de carpintero en árboles de *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México.

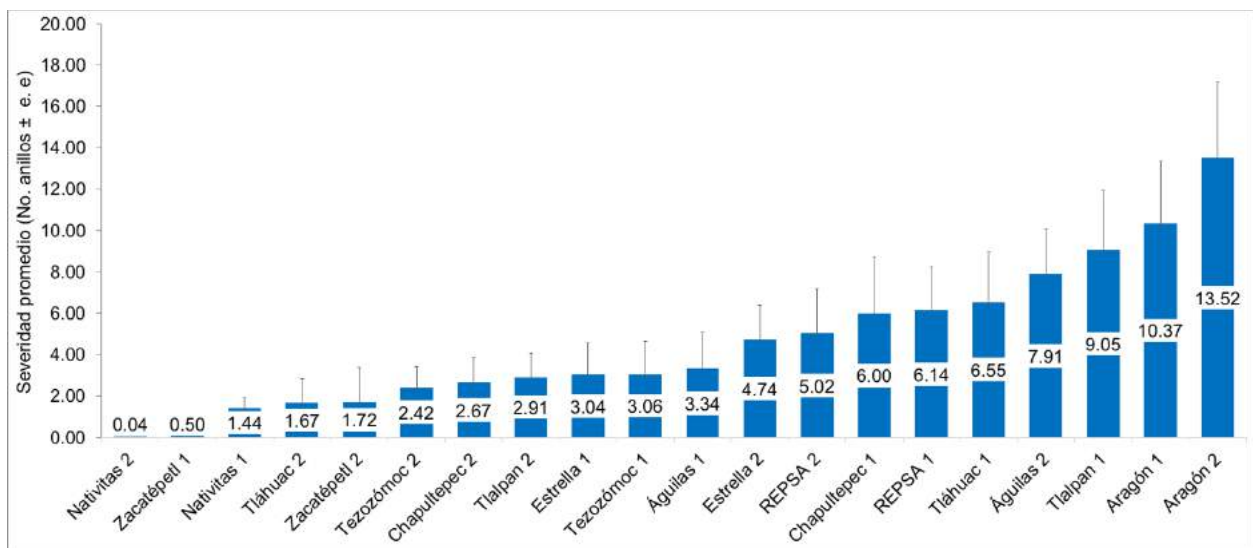


Figura 4.10. Severidad promedio de daño por carpintero en 20 sitios de la Ciudad de México.

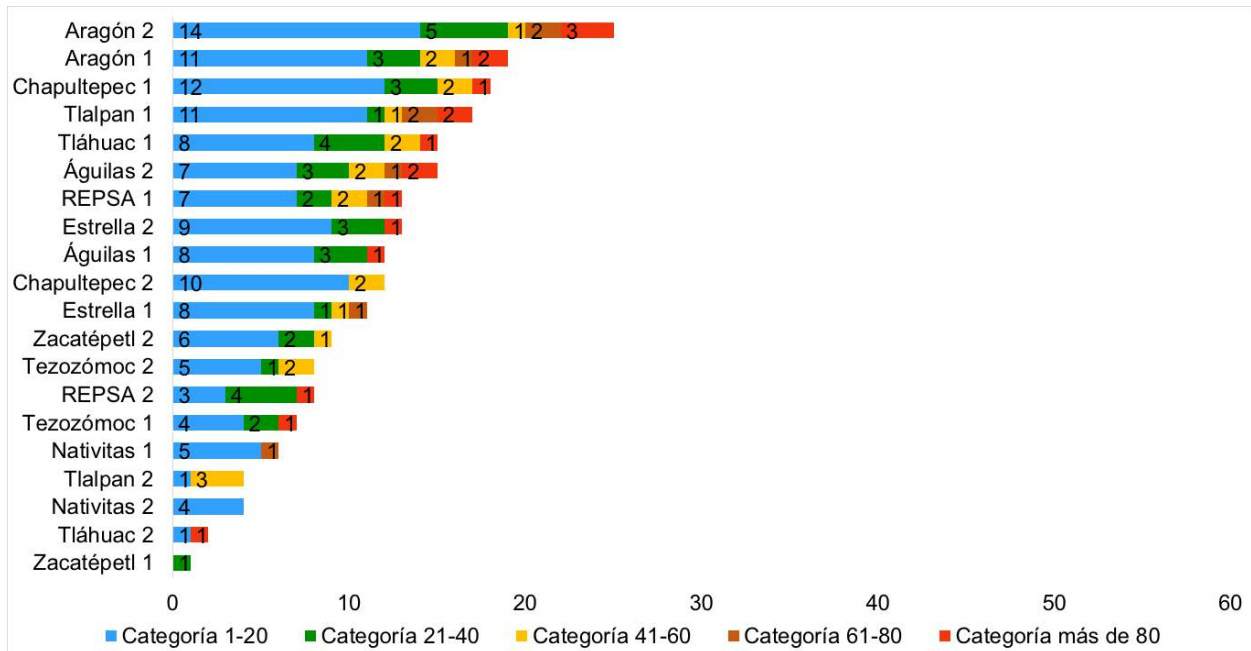


Figura 4.11. Severidad de daño por carpintero en 20 sitios de la Ciudad de México. Los números dentro de las barras indican la frecuencia.

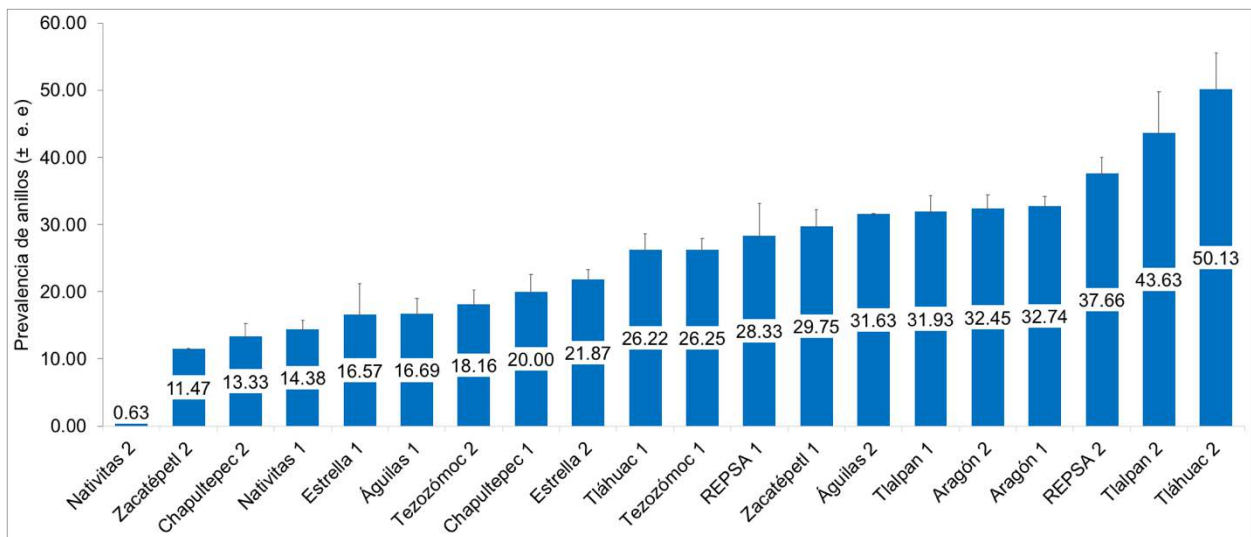


Figura 4.12. Prevalencia de daño por anillos de carpinteros en 20 sitios de la Ciudad de México.

4.5. Índice de disturbio

El índice de disturbio (*ID*) varió entre sitios de 21.7 a 220.0 (Fig. 4.13). Aunque en la mayoría de los casos el *ID* entre sitios cercanos era muy similar, éste variaba considerablemente. Por ejemplo, se registró una gran diferencia en este parámetro entre Tlalpan 1 (116.7) y Tlalpan 2 (31.7), así como entre REPSA 2 (148.3) y REPSA 1 (75.0) (ver anexo 3).

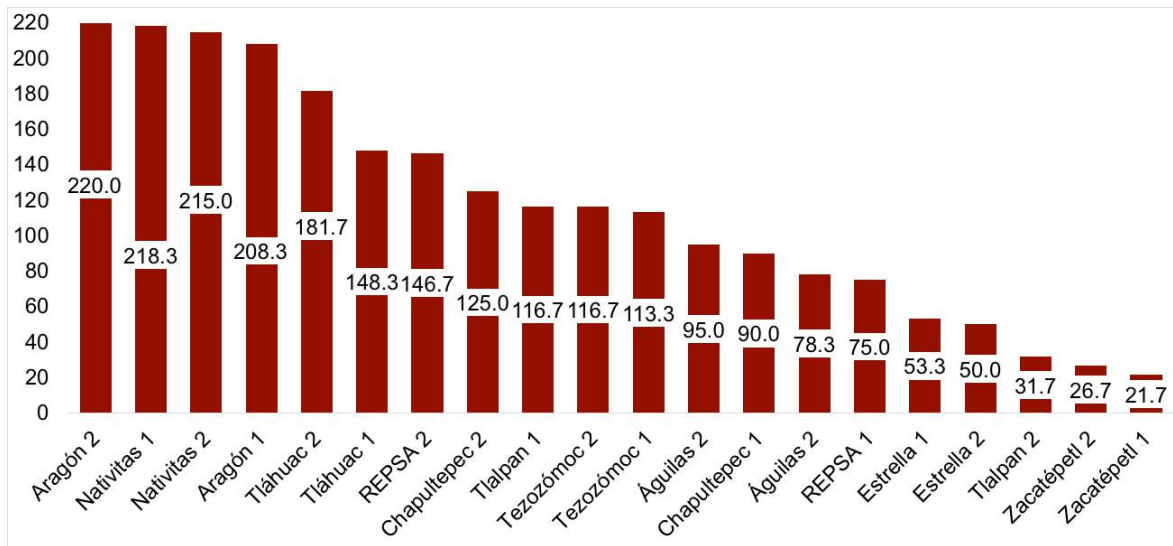


Figura 4.13. Índice de disturbio calculado en 20 sitios de la Ciudad de México.

4.6. Modelos lineales generalizados y relación entre variables

4.6.1. Incidencia de galerías de escarabajos

El modelo que mejor predijo la incidencia de galerías de escarabajos barrenadores a nivel poblacional tenía 11 factores significativos. El valor de AIC del modelo fue de 121.89 (Tabla 4.2). Los cinco factores más importantes fueron el porcentaje de árboles con ramas secas, con el tronco principal muerto y la incidencia de anillos de carpintero en una relación negativa. El porcentaje de árboles con muérdago y con traslape de la copa tenían una relación positiva (Tabla 4.2, Fig. 4.14).

Tabla 4.2. Factores (predictores) que afectan la incidencia de galerías de escarabajos en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 20$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, el AIC del modelo sin predictor muestra como sería el modelo sin este predictor. En negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	P
Incidencia de galerías~porcentaje de árboles con ramas secas	154.73	-0.03309	<0.001
Incidencia de galerías~porcentaje de árboles con muérdago	153.98	0.00832	<0.001
Incidencia de galerías~incidencia de carpintero	147.52	-0.05393	<0.001
Incidencia de galerías~ porcentaje de árboles con el tronco principal muerto	140.08	-0.07766	<0.001
Incidencia de galerías~porcentaje de árboles con el traslape de la copa	139.22	0.02325	<0.001
Incidencia de galerías~porcentaje de árboles con vandalismo	138.96	0.02653	<0.001
Incidencia de galerías~ porcentaje de árboles con epífitas	138.78	-0.02910	<0.001
Incidencia de galerías~porcentaje de árboles dentro del sitio	136.10	0.01350	<0.001
Incidencia de galerías~ porcentaje de árboles vivos	130.34	-0.06442	0.002
Incidencia de galerías~porcentaje de árboles con heridas	128.93	-0.02303	0.003
Incidencia de galerías~ <i>pap</i> promedio	127.49	-0.01595	0.007
Incidencia de galerías~porcentaje de árboles con insecto escama	122.18	0.02233	0.135

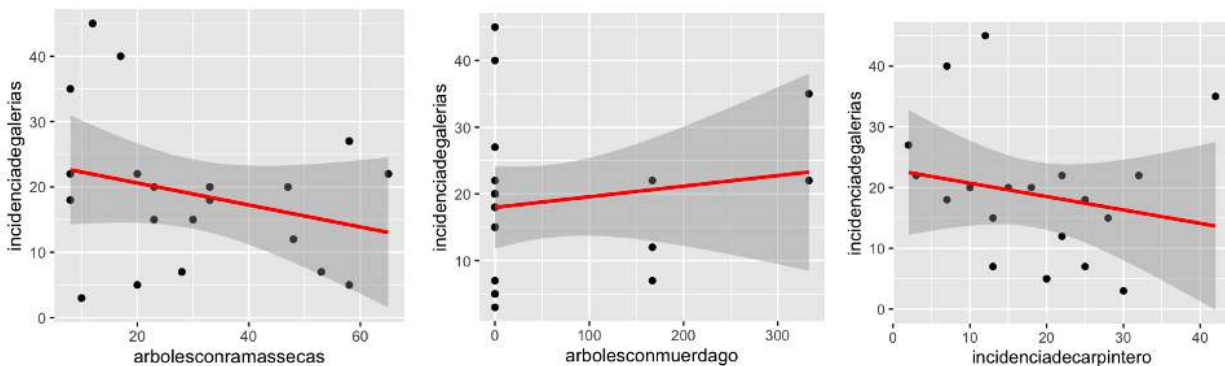


Figura 4.14. Principales factores que explican la incidencia de galerías de escarabajos (ingalerías, %) en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México. Porcentaje de árboles con ramas secas, porcentaje de árboles con muérdago ($\times 10^2$; muérdago) e incidencia de árboles con anillos de carpintero. La línea roja representa la relación entre la variable de respuesta (X) y la incidencia de galerías (Y), la banda gris ayuda a detectar patrones en los datos.

El modelo de las interacciones que establecen los tres factores principales que explican la incidencia de galerías de escarabajos, tuvo un AIC de 172.66 con un efecto significativo de cuatro variables, el porcentaje de ramas secas y la interacción porcentaje de árboles con muérdago \times incidencia de anillos de carpintero con una relación positiva, mientras que el porcentaje de árboles con muérdago y la incidencia de carpintero tuvieron una relación negativa y (Tabla 4.3).

4.6.2. Severidad promedio de galerías de escarabajos

El modelo que mejor predijo la severidad promedio de galerías de escarabajos barrenadores tuvo 11 factores significativos. El valor de AIC del modelo fue de 135.9 (Tabla 4.4). Los cinco factores más importantes fueron el porcentaje de árboles con ramas secas, con epífitas, el porcentaje de árboles vivos y el pap promedio en una relación negativa, y el porcentaje de árboles con muérdago en una relación positiva (Tabla 4.4). En la Fig. 4.15 se observan las tendencias de cambio de la severidad promedio por galerías de estos escarabajos en función de el porcentaje de árboles con

ramas secas (en forma negativa), con muérdago (de modo positivo) y con epífitas (con una tendencia negativa).

Tabla 4.3. Interacciones de los tres principales factores (predictores) que afectan la incidencia de galerías de escarabajos en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 20$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, el AIC del modelo sin predictor muestra como sería el modelo sin este predictor. En negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	Estimado	P
Incidencia de galerías~porcentaje de árboles con ramas secas*porcentaje de árboles con muérdago*incidencia de anillos de carpintero		
Porcentaje de árboles con ramas secas	-0.00929	0.005
Porcentaje de árboles con muérdago	-0.00013	0.958
Incidencia de carpintero	-0.04851	<0.001
Porcentaje de árboles con muérdago: incidencia de anillos de carpintero	0.00014	0.014
Porcentaje de árboles con ramas secas: porcentaje de árboles con muérdago	-0.00007	0.143

Por otra parte, el modelo de las interacciones entre los tres factores principales que explican la severidad de galerías de escarabajos tuvo un AIC de 272.66, en el que se encontró un efecto significativo de cuatro factores: el porcentaje de árboles con ramas secas, y la interacción del porcentaje de árboles con ramas secas \times el porcentaje de árboles con muérdago en una relación positiva, mientras que la interacción del porcentaje de árboles con ramas secas \times porcentaje de árboles con epífitas, y la interacción del porcentaje de árboles con ramas secas \times porcentaje de árboles con muérdago \times porcentaje de árboles con epífitas tuvieron una relación negativa (Tabla 4.5)

Tabla 4.4. Factores (predictores) que afectan la severidad promedio de galerías de escarabajos en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 20$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, el AIC del modelo sin predictor muestra como sería el modelo sin este predictor. En negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	P
Severidad de galerías~ porcentaje de árboles con ramas secas	197.10	-0.04512	<0.001
Severidad de galerías~porcentajes de árboles con muérdago	186.88	0.00969	<0.001
Severidad de galerías~porcentaje de árboles con epífitas	173.65	-0.03242	<0.001
Severidad de galerías~porcentaje de árboles vivos	158.60	-0.10676	<0.001
Severidad de galerías~ <i>pap</i> promedio	158.32	-0.02817	<0.001
Severidad de galerías~ porcentaje de árboles con hongo <i>Kirramyces</i> sp.	154.83	0.02872	<0.001
Severidad de galerías~porcentaje de árboles con heridas	148.92	-0.02774	<0.001
Severidad de galerías~incidencia de anillos de carpintero	148.16	-0.03347	<0.001
Severidad de galerías~altura promedio de los árboles	146.00	0.08312	<0.001
Severidad de galerías~vigor promedio de los árboles	143.10	-0.00498	0.002
Severidad de galerías~porcentaje de árboles con ramas basales	141.10	0.01270	0.007

4.6.3. Severidad de galerías de escarabajos por árbol

El modelo que mejor predijo la severidad de galerías tuvo nueve factores significativos. El valor de AIC del modelo fue de 1742.75 (Tabla 4.4). Los cinco factores más importantes fueron la presencia del tronco principal muerto, el *pap* y vigor del árbol en una relación positiva y si el árbol estaba vivo y la presencia de corteza desprendida en una relación negativa (Tabla 4.6, Fig. 4.16).

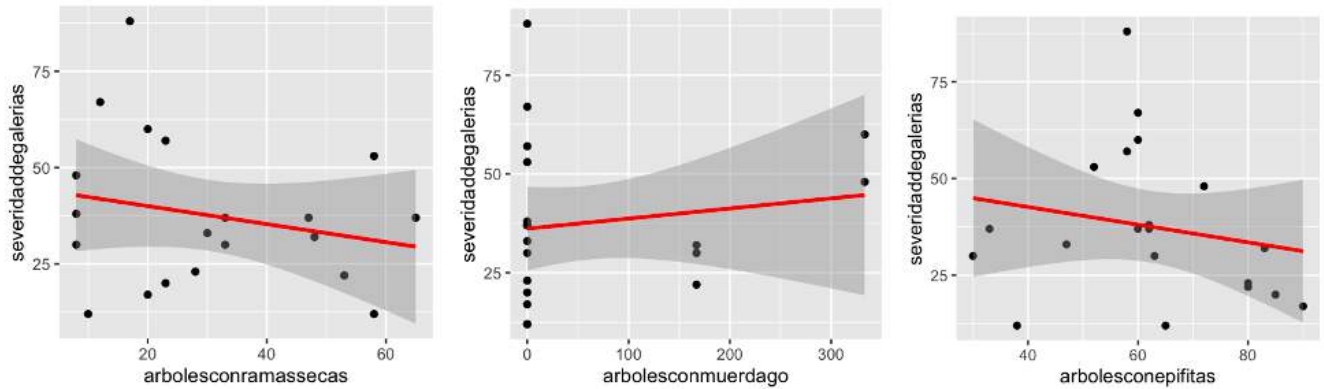


Figura 4.15. Principales factores que explican la severidad de galerías de escarabajos en *Eucalyptus camaldulensis* (promedio por sitio basado en una escala de daño de 1 a 5×10^2 ; ver Métodos) en 20 sitios de la Ciudad de México: porcentaje de ramas secas, porcentaje de árboles con muérdago ($\times 10^2$; muérdago) y porcentaje de árboles con epífitas. La línea roja representa la relación entre la variable de respuesta (X) y la severidad de galerías (Y), la banda gris ayuda a detectar patrones en los datos.

Tabla 4.5. Interacciones de los tres principales factores (predictores) que afectan la severidad de galerías de escarabajos en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 20$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, el AIC del modelo sin predictor muestra como sería el modelo sin este predictor. En negritas se señalan los valores de P significativos (< 0.05).

Modelo	Estimado	P
Severidad de galerías~porcentaje de árboles con ramas secas*porcentaje de árboles con muérdago*porcentaje de árboles con epífitas		
Porcentaje de árboles con ramas secas	0.00263	0.039
Porcentaje de árboles con muérdago	-0.00246	0.061
Porcentaje de árboles con epífitas	0.00970	0.154
Porcentaje de árboles con ramas secas: porcentaje de árboles con muérdago	0.00117	0.030
Porcentaje de árboles con ramas secas: porcentaje de árboles con epífitas	-0.00054	0.011

Modelo	Estimado	P
Porcentaje de árboles con muérdago: porcentaje de árboles con epífitas	0.00033	0.067
Porcentajes con ramas secas: porcentaje de árboles con muérdago: porcentaje de árboles con epífitas	-0.00001	0.039

Tabla 4.6. Factores (predictores) que afectan la severidad de galerías de escarabajos y la severidad de daño por anillos de carpintero en 1200 árboles de *Eucalyptus camaldulensis* de la Ciudad de México. El signo menos del estimado indica una relación negativa. En negritas se señalan los valores de *P* significativos (<0.05).

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	P
Severidad de galerías	-	-	-
Severidad de galerías~ árbol con el tronco principal muerto	1809.2	1.59330	<0.001
Severidad de galerías~ <i>pap</i>	1805.5	0.00608	<0.001
Severidad de galerías~ árbol vivo	1792.9	-1.48052	<0.001
Severidad de galerías~corteza desprendida	1754.1	-0.42367	<0.001
Severidad de galerías~vigor	1753.6	0.25810	<0.001
Severidad de galerías~arbol con ramas secas	1752.3	-0.46111	0.001
Severidad de galerías~arbol con resina	1751.9	0.36082	<0.001
Severidad de galerías~árbol con tumor	1749.4	-1.56775	0.027
Severidad de galerías~árbol con hongos en el tronco	1744.9	-0.48313	0.055
Severidad de galerías~árbol quemado	1744.9	0.35785	0.032
Severidad de galerías~árbol con anillado	1744.0	0.40155	0.055
Severidad de galerías~árbol dentro del sitio	1743.8	-0.18185	0.079
Severidad de galerías~árbol con vandalismo	1743.0	0.18589	0.1285

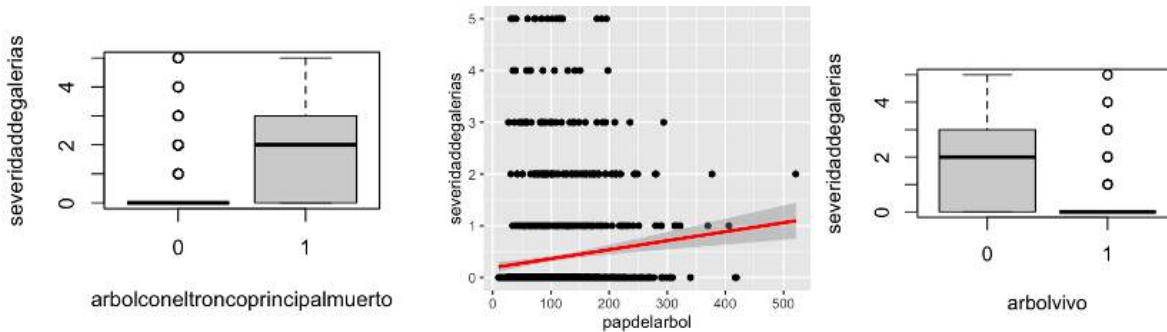


Figura 4.16. Principales factores que explican la severidad de galerías (basado en una escala de daño de 1 a 5) de escarabajos en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N=1200$). La línea roja representa la relación entre la variable de respuesta (X) y la severidad de galerías (Y), la banda gris ayuda a detectar patrones en los datos.

El modelo de las interacciones entre los tres factores principales que explican la severidad de galerías de escarabajos de manera individual tuvo un AIC de 1790.55 con tres interacciones importantes, el que el árbol se encontrara vivo de manera negativa, mientras que la relación del tronco principal muerto \times el árbol vivo y del pap \times el árbol vivo tuvieron una relación positiva (Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Interacciones de los tres principales factores (predictores) que afectan la severidad de galerías de escarabajos en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 1200$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, en negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	Estimado	P
Severidad de galerías~árbol con el tronco principal muerto*pap*árbol vivo	-	-
Árbol con el tronco principal muerto	0.08837	0.901
pap del árbol	-0.0019	0.462
Árbol vivo	-2.98314	<0.001
Árbol con el tronco principal muerto:árbol vivo	1.97053	0.006
pap:árbol vivo	0.00833	0.002

4.6.4. Incidencia de anillos de carpintero

El modelo que mejor predijo la incidencia de anillos de carpintero a nivel poblacional, por su parte, tuvo 13 factores significativos. El valor de AIC del modelo fue de 124.13 (Tabla 4.8). Los cinco factores más importantes fueron el porcentaje de árboles con muérdago en una relación positiva y el porcentaje de árboles con heridas, con el tronco principal muerto y con ramas secas, así como el pap promedio de manera negativa (Tabla 4.8, Fig. 4.17).

Tabla 4.8. Factores (predictores) que afectan la incidencia de anillos de carpintero en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 20$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, en negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	P
Incidencia de anillos de carpintero	-	-	
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con muérdago	151.49	0.01911	<0.001
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con heridas	147.85	-0.07362	<0.001
Incidencia de anillos de carpintero~pap promedio	142.90	-0.04969	<0.001
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con el tronco principal muerto	140.15	-0.07770	<0.001
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con ramas secas	138.91	-0.08902	<0.001
Incidencia de anillos de carpintero~altura promedio	135.26	0.11007	<0.001
Incidencia de anillos de carpintero~incidencia de galerías	134.47	-0.08299	<0.001
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles quemados	134.02	-0.07720	<0.001
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con hongo <i>Kirramyces</i> sp.	133.12	0.05445	0.001

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	P
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con epífitas	132.88	-0.06544	0.001
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con ramas basales	127.42	-0.03492	0.023
Incidencia de anillos de carpintero~porcentajes de árboles con corteza desprendida	127.22	-0.02362	0.024
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles vivos	126.26	-0.09198	0.043
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con resina	124.63	0.01964	0.118
Incidencia de anillos de carpintero~porcentaje de árboles dentro del sitio	124.54	0.00492	0.128

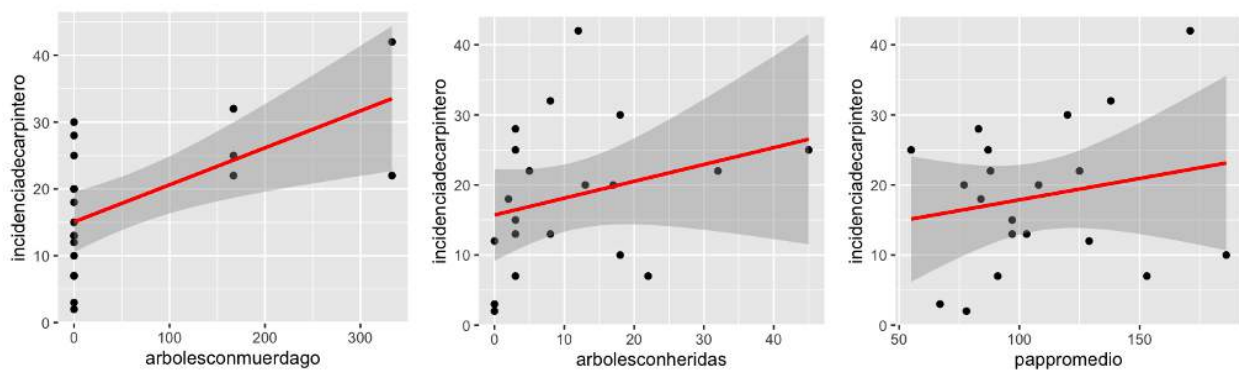


Figura 4.17. Principales factores que explican la incidencia de anillos de carpintero (incarpintero, %) en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México. Porcentaje de árboles con muérdago ($\times 10^2$; muérdago), porcentaje de árboles con heridas y pap promedio, heridas (1, con; 0, sin) pap (cm^2). La línea roja representa la relación entre la variable de respuesta (X) y la incidencia de anillos de carpintero (Y), la banda gris ayuda a detectar patrones en los datos.

El modelo de las interacciones entre los tres principales factores que explican la incidencia de anillos de carpintero tuvo un AIC de 174.16 con tres interacciones significativas el porcentaje de árboles con muérdago con una relación positiva, mientras el porcentaje de árboles con heridas y la interacción del porcentaje de árboles con

muérdago x porcentaje de árboles con heridas guardaba una relación negativa (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Interacciones de los tres principales factores (predictores) que afectan la incidencia de anillos de carpintero en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 1200$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, en negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	Estimado	P
Incidencia de anillos de carpintero ~porcentaje de árboles con muérdago*porcentaje de árboles con heridas*pap	-	-
Porcentajes de árboles con muérdago	0.00448	<0.001
Porcentaje de árboles con heridas	-0.01877	0.011
Porcentaje de árboles con muérdago: porcentaje de árboles con heridas	-0.00013	0.001

4.6.5. Severidad de anillos de carpintero

También se encontró que el modelo que mejor predijo la severidad promedio de anillos de carpintero tuvo 19 factores significativos. El valor de AIC del modelo fue de 190.66 (Tabla 4.10). Los cinco factores más importantes fueron porcentaje de árboles con corteza desprendida, con insecto escama y con ramas basales en una relación negativa y el porcentaje de árboles con epífitas y de árboles vivos con una relación positiva (Tabla 4.10, Fig. 4.18).

Tabla 4.10. Factores (predictores) que afectan la severidad de anillos de carpintero en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 20$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, el AIC del modelo sin predictor muestra como sería el modelo sin este predictor. En negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	P
Severidad de anillos de carpintero	-	-	
Severidad de anillos de carpintero~ porcentaje de árboles con corteza desprendida	233.01	-0.18625	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con insecto escama	213.56	-0.67928	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con epífitas	211.86	0.25337	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~porcentajes de árboles vivos	211.48	1.14139	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con ramas basales	210.83	-0.32254	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~vigor promedio	209.53	0.12559	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles dentro del sitio	209.32	-0.11261	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~incidencia de anillos de carpintero	209.23	0.58058	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ porcentaje de árboles con heridas	208.35	0.25460	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con ramas secas	207.97	0.39511	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ <i>pap</i> promedio	206.68	0.21797	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ incidencia de galerías	206.59	0.36371	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ porcentaje de árboles con muérdago	203.70	-0.06971	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ porcentaje de árboles con hongo <i>Kirramyces</i> sp.	203.54	-0.04178	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con traslape de copa	197.74	-0.07461	0.002
Severidad de anillos de carpintero~ porcentaje de árboles con resina	196.52	0.04880	0.004

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	P
Severidad de anillos de carpintero~ altura promedio	196.27	-0.24851	0.005
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con el tronco principal muerto	195.54	0.26964	0.007
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles quemados	195.12	0.08881	0.009

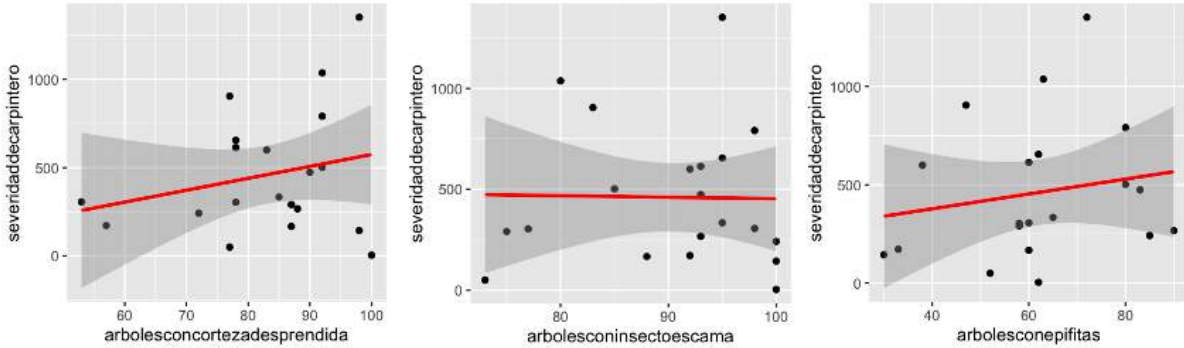


Figura 4.18. Principales factores que explican la severidad de anillos de carpintero (sevcarpintero; basado en una promedio de anillos por sitio) en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México. Porcentaje de de árboles con corteza desprendida, porcentaje de árboles con insecto escama y porcentaje de árboles con epífitas (1, con; 0, sin). La línea roja representa la relación entre la variable de respuesta (X) y la severidad de anillos de carpintero (Y), la banda gris ayuda a detectar patrones en los datos.

El modelo de las interacciones entre los siete factores que explican la severidad de anillos de carpintero tuvo un AIC de 3588.22. El porcentaje de árboles con corteza desprendida, con insecto escama, con epífitas y la interacción porcentaje de árboles con corteza desprendida x porcentaje de árboles con insecto escama x porcentaje de árboles con epífitas tenían una relación positiva, mientras que la interacción del porcentaje de árboles con corteza desprendida x porcentaje de árboles con insecto escama, la interacción interacción del porcentaje de árboles con corteza desprendida x porcentaje de árboles con epífitas y la interacción del porcentaje de árboles con insecto

escama x porcentaje de árboles con epífitas mostraban una relación negativa (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Interacciones de los tres principales factores (predictores) que afectan la incidencia y severidad de galerías de escarabajos y la incidencia y severidad de anillos de carpintero en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 20$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, el AIC del modelo sin predictor muestra como sería el modelo sin este predictor. En negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	Estimado	P
Severidad de anillos de carpintero~porcentaje de árboles con corteza desprendida*porcentaje de árboles con insecto escama*porcentaje de árboles con epífitas	-	-
Porcentajes de árboles con corteza desprendida	1.09200	<0.001
Porcentaje de árboles con insecto escama	0.08173	<0.001
Porcentaje de árboles con epífitas	0.34680	0.002
Pocentaje de árboles con corteza desprendida: porcentaje de árboles con insecto escama	-0.01205	<0.001
Porcentajes de árboles con corteza desprendida: porcentaje de árboles con epífitas	-0.00799	<0.001
Porcentaje de árboles con insecto escama: porcentaje de árboles con epífitas	-0.00490	0.002
Porcentaje de árboles con corteza desprendida: porcentaje de árboles con insecto escama: porcentaje de árboles con epífitas	0.00009	<0.001

4.6.5. Severidad de anillos de carpintero por árbol

Se encontró que el modelo que mejor predijo la severidad de anillos de carpintero tuvo 24 factores significativos. El valor de AIC del modelo fue de 2,405,739 (Tabla 4.12). Los cinco factores más importantes fueron la presencia de tumores, de traslape de copa y del tronco principal muerto en una relación negativa y la presencia de heridas y de resina en una relación positiva (Tabla 4.12).

Tabla 4.12. Factores (predictores) que afectan la severidad de galerías de escarabajos y la severidad de daño por anillos de carpintero en 1200 árboles de *Eucalyptus camaldulensis* de la Ciudad de México. El signo menos del estimado indica una relación negativa. En negritas se señalan los valores de *P* significativos (<0.05).

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	<i>P</i>
Severidad de anillos de carpintero	-	-	
Severidad de anillos de carpintero~ árbol con tumores	2433240	-3.5490	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con traslape de copa	2426529	-0.4461	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con heridas	2425080	0.5439	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con resina	2424914	0.4237	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con el tronco principal muerto	2424639	-0.1775	0.670
Severidad de anillos de carpintero~riqueza de escarabajos	2421409	0.2246	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con muérdago	2416545	-0.18451	0.823
Severidad de anillos de carpintero~árbol con desmoche	2415598	-0.34689	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~vigor	2411679	0.14063	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol vivo	2411108	0.977805	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con epífitas	2410893	0.20601	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con anillado	2410281	-0.74160	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol dentro del parche	2409916	-0.18881	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ <i>pap</i>	2409300	-0.00173	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con herbivoría	2408282	-0.20609	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ árbol con hongos en el tronco	2408159	-0.47321	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ árbol con	2407818	-0.15551	<0.001

Modelo	AIC del modelo sin el predictor	Estimado	P
hongo <i>Kirramyces</i> sp.			
Severidad de anillos de carpintero~árbol con insecto escama	2406684	0.28592	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ árbol con ramas secas	2406535	-0.00866	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con rebrote de tocón	2406402	-0.20648	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con corteza desprendida	2406224	0.00915	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol quemado	2406079	0.13626	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~severidad de galerías	2406018	-0.00314	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con vandalismo	2405907	0.04362	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~árbol con ramas basales	2405806	-0.03445	<0.001
Severidad de anillos de carpintero~ altura	2405792	0.00137	<0.001

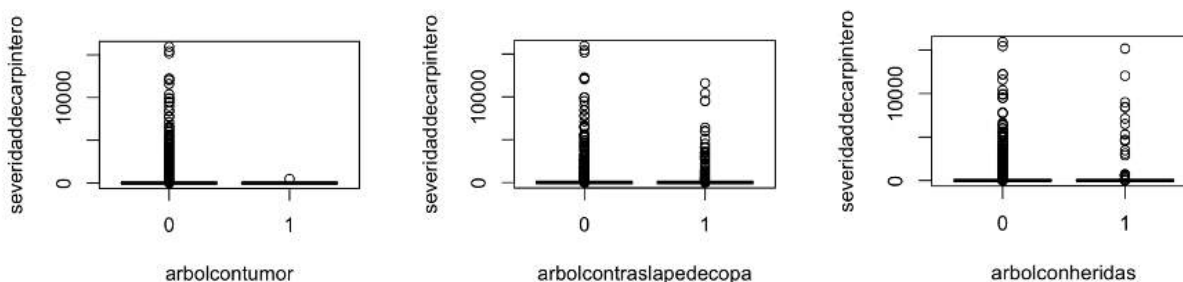


Figura 4.19. Principales factores que explican la severidad de anillos de carpintero (; basado en una promedio de anillos por árbol) en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N=1200$). Árbol con tumor, árbol con traslape de la copa y árbol con heridas (1, con; 0, sin).

El modelo de las interacciones entre los tres factores principales que explican la severidad de anillos de carpintero de manera individual tuvo un AIC de 2532078 con

tres factores significativos: el árbol con traslape de copa y la interacción del árbol con traslape de copa x árbol con heridas en una relación negativa, mientras que el árbol con heridas tenía una relación positiva (Tabla 4.13).

Tabla 4.13. Interacciones de los tres principales factores (predictores) que afectan la severidad de galerías de escarabajos y la severidad de anillos de carpintero en *Eucalyptus camaldulensis* en 20 sitios de la Ciudad de México ($N = 1200$). El signo menos del estimado indica una relación negativa, el AIC del modelo sin predictor muestra como sería el modelo sin este predictor. En negritas se señalan los valores de P significativos (<0.05).

Modelo	Estimado	P
Severidad de anillos de carpintero~árbol con tumor*árbol con traslape de copa*árbol con heridas	-	-
Árbol con tumor	-15.69209	0.335
Árbol con traslape de copa	-0.35144	<0.001
Árbol con heridas	0.59749	<0.001
Árbol con tumor:árbol con traslape de copa	14.39991	0.396
Árbol con tumor:árbol con heridas	-11.48980	0.223
Árbol con traslape de copa:árbol con heridas	-0.53455	<0.001

5. DISCUSIÓN

5.1 Enemigos del eucalipto en la Ciudad de México. Escarabajos y carpintero.

De acuerdo con la OMS (2015), se requieren 16 m² de áreas verdes por habitante para su bienestar emocional y físico, en la Ciudad de México, la mayoría de éstas áreas verdes son parques y bosques cuyo componente principal son los árboles, por ello la importancia de desarrollar programas de monitoreo del estado de sanidad de los árboles dominantes como *Eucalyptus camaldulensis*.

Los eucaliptos, aunque especies exóticas, han coexistido y competido con el arbolado nativo desde su introducción al Valle de México, sin embargo, han sido poco estudiados como posibles vectores y refugio de enemigos propios de su género y probablemente de depredadores del arbolado nativo, el presente estudio demuestra que las poblaciones de *E. camaldulensis* en la Ciudad de México si están siendo atacados por parte de sus barrenadores de su lugar de origen, por otros de otras regiones del mundo y también por nativos.

Se desconoce cómo llegaron los cerambícidos de origen Australiano; *Phoracantha recurva* (Tezozómoc, alcaldía Azcapotzalco) y *P. semipunctata* (Zacatépetl, alcaldía Coyoacán) (FAO, 2006) al país y en particular a la Ciudad, sin embargo se puede pensar que vinieron con los árboles cuando éstos fueron introducidos; aunque esto es poco probable ya que los registros de estas especies en el país son relativamente recientes, por ejemplo; Llorente *et al.* (1996) reportaron a *P. semipunctata* en Baja California en 1996; Cortés-Aguilar *et al.* (2019) registraron a *P. recurva* en 2019 en un rancho en Ensenada Baja California y en una casa en la alcaldía Azcapotzalco, en la misma alcaldía en la que se encontró el ejemplar del presente estudio, por otra parte, los reportes de *P. recurva* en la plataforma Naturalista son también recientes desde 2018 a 2021.

Todo esto puede indicar que la llegada de esta especie es más reciente que la introducción de *Eucalyptus camaldulensis* a la Ciudad de México, por lo tanto, como mencionan Cortés-Aguilar *et al.* (2019), puede ser que estos cerambícidos hayan

llegado en embarques de alimentos como chiles cultivados en sitios aledaños a plantaciones de eucalipto en Estados Unidos.

O bien, es posible que en la Ciudad de México ya haya poblaciones establecidas desde hace tiempo que no se han registrado y estudiado aún, esto puede coincidir con los datos obtenidos en este trabajo, ya que todos los sitios tuvieron incidencia de daño por galerías de estos cerambícidos, no obstante la incidencia es baja (Figs. 1.2, 3.3d y 4.5).

Se encontró otro patrón de barrenos en algunos individuos de los eucaliptos. No se sabe si esto coincide con el hallazgo de *Lichenophanes* sp. (Bostrichidae) (Figs. 4.3a y b) en los sitios Nativitas 2 (Xochimilco) y las Águilas 2 (Álvaro Obregón) del cual no hay mucha información; sin embargo, está considerado como una especie de riesgo medio para el arbolado urbano de la Ciudad de México por la SEMARNAT (2016) y es de distribución amplia, incluyendo México (SEMARNAT 2016). Este descubrimiento puede sugerir que hay otras especies de escarabajos barrenadores y descortezadores presentes en México que podrían estar atacando a los eucaliptos.

Otro descubrimiento importante fue la presencia de daño de otro tipo de animal barrenador de *E. camaldulensis*, el cual es el pícido *Sphyrapicus varius* (Figs. 3.4 y 4.4), especie residente de invierno como lo indica Del Olmo (2013), y lo cual coincide con su avistamiento en noviembre y diciembre en Tlalpan 1 (Tlalpan) Aragón 2 (Gustavo A. Madero), respectivamente. La presencia de esta ave y su daño a *Eucalyptus camaldulensis* es un aspecto muy interesante y no se ha estudiado nada acerca del papel que tiene en el daño al arbolado.

En los sitios muestreados se observó que *Sphyrapicus varius* también produce anillos de barrenos a otras especies arbóreas exóticas, como *Schinus molle*, *Casuarina equisetifolia* y *Grevillea robusta* y nativas como *Quercus rugosa*. No se midió la incidencia de daño en estas especies, pero según las observaciones los anillos de barrenos fueron más frecuentes en árboles de eucalipto, aún en zonas con alta diversidad arbórea (obs. pers.).

Aún no se sabe a ciencia cierta cuál es el principal alimento que *Sphyrapicus varius* toma de *E. camaldulensis*, en la Ciudad de México. Del Olmo (2013) menciona

que se alimenta principalmente de savia de los árboles; sin embargo, Cornell University (2019) discute que esta especie perfora el tronco con dos patrones diferentes de orificios, uno es el que se encontró en el presente estudio, el cual es pequeño profundo y redondo con el fin de probar la savia (Fig. 3.4) y otro es en manera rectangular alargada y menos profundo el cual sirve para que la savia siga fluyendo con el fin de permanecer como una trampa para insectos que posteriormente *Sphyrpicus varius* consume. El segundo patrón no fue encontrado en este estudio.

Un aspecto importante que se debe destacar es la presencia de siete especies de escarabajos nativos presentes bajo la corteza de eucalipto, que aunque no estén reportadas como barrenadoras, pueden estar haciendo uso de los recursos del árbol como refugio o alimentarse de las hojas. El que sean nativos es un aspecto importante; como mencionan Simberloff *et al.* (2012) y Enders *et al.* (2020), puede indicar que se están llevando a cabo dos tipos de asociaciones en el eucalipto, una entre las especies de su lugar de origen, Australia, como los barrenadores *Phoracantha recurva* y *P. semipunctata*, y otra entre las especies nativas en las que también se puede incluir al carpintero *Sphyrpicus varius*. Este es un punto que se debe debatir más a fondo con más estudios, sobre el papel que están jugando estos árboles con los demás grupos de animales y plantas nativas en la Ciudad de México, al igual plantear la pregunta de si ¿existen otro tipo de escarabajos barrenadores nativos que estén atacando al eucalipto?

5.2. Incidencia y severidad de daño por escarabajos y carpinteros

Menos de la mitad de los árboles de cada uno de los 20 sitios, presentaban galerías además la severidad promedio y la frecuencia son bajas, esto podría hacernos pensar que el daño por estos barrenadores es bajo, sin embargo, si revisamos la prevalencia que indica la severidad de daño solamente en los árboles con presencia de galerías, se puede ver que éstos árboles tienen categorías de daño de en una escala de 2 a 4, lo que en conjunto dice que sí son pocos los árboles que tienen galerías en cada uno de los 20 sitios, pero los que las tienen están en una escala grave de daño (Figs. 3.2 y 4.5-4.8).

La incidencia de daño por galerías de escarabajo es más alta que la incidencia de anillos de carpintero, esto nos dice que los árboles están siendo mayormente atacados por escarabajos que por carpinteros.

La severidad de daño indica nuevamente un nivel bajo entre uno y 20 anillos por árbol, sin embargo al analizar la prevalencia, esta nos dice que las escalas de daño son medias, de hasta 50 anillos en promedio en los cuatro puntos cardinales del árbol (Figs. 4.9 a 4.12).

A grandes rasgos, esto dice que apenas son pocos los árboles de *E. camaldulensis* en estos 20 sitios que tienen daño por estos dos depredadores, sin embargo, los que lo tienen están en categorías de daño destacables y esto dejaría varias preguntas.

Una de ellas es ¿que pasaría si los niveles de incidencia crecen en el tiempo?, además se sabe de acuerdo con los resultados, que en las diversas áreas verdes analizadas se llevan a cabo interacciones únicas entre *Eucalyptus camaldulensis* y sus depredadores, debido a que aún entre áreas cercanas la incidencia y severidad de daño de los escarabajos barrenadores y descortezadores y del carpintero son distintas.

5.3 Factores que afectan el daño por escarabajos barrenadores

5.3.1. Resultados a nivel poblacional. La variable que más predice la incidencia y severidad de galerías de escarabajo es el porcentaje de árboles con ramas secas, esto en una relación negativa, es decir, a mayor porcentaje de árboles con ramas secas en el sitio menor es la incidencia y severidad de galerías. Puede deberse, como reportan González-Tirado (1984) y Beéche *et al.* (2003), a que *Phoracantha recurva* y *P. semipunctata* tienden a perforar el árbol y alimentarse de sus tejidos conductores, sin embargo, si existen ramas secas, estas larvas ya no se pueden alimentar de él (Tablas 4.2 y 4.4, Figs. 4.14 y 4.15).

El segundo factor que afectó la incidencia y severidad de galerías de manera positiva fue el porcentaje de árboles con el múerdago (*Cladocolea* sp.) es decir, a mayor porcentaje de árboles con múerdago, mayor incidencia y severidad de galerías.

Puede ser que ambos sean facilitadas por un debilitamiento general de los árboles debido a la contaminación y el vandalismo, o que el mismo muérdago debilita al árbol que luego es invadido más fácilmente por las plagas. Como menciona Marchal-Valencia (2009) *Cladocolea* sp. es un parásito del arbolado urbano que daña la salud de los árboles, y Martínez-Castruita *et al.* (2021) mencionan que en las ciudades los suelos compactos más la contaminación y el vandalismo facilitan la llegada de este muérdago y este a su vez lo debilita al grado de matarlo o facilitar la llegada de otros patógenos por ejemplo, los escarabajos barrenadores (Tablas 4.2 y 4.4, Figs. 4.14 y 4.15).

El tercer factor que afectó la incidencia y severidad de galerías es la incidencia de anillos de carpintero en una relación negativa (decrece la incidencia y severidad de galerías, conforme aumenta la incidencia de anillos de carpintero). Esto puede ser porque, de acuerdo con Cornell University (2019), el carpintero *Sphyrapicus varius* además de la savia podría estar alimentándose de las larvas de los escarabajos *P. recurva* y *P. semipunctata*. Sin embargo, lo más probable es que el carpintero esté evitando árboles atacados por éstos cerambícidos ya que éstos matan el árbol, o su tronco principal, el árbol en defensa genera ramas basales, todo esto a la vez interfiere con el flujo de savia haciéndolo poco atractivo para el carpintero (Tabla 4.2, Fig. 4.14).

Por otra parte, existen variables que no son las principales pero que si afectan la incidencia y severidad de galerías, por ejemplo, el porcentaje de árboles con traslape de copa con otros árboles (*Jacaranda mimosifolia*, *Fraxinus uhdei*, *Eysenhardtia polystachya*, *Bursera cuneata*, *Cupressus lusitanica*, *Casuarina equisetifolia*, *Schinus molle*, *Ficus benjamina*, *Buddleia cordata*, *Grevillea robusta*, *Alnus acuminata*, *Quercus rugosa* y mayoría fueron de la misma especie; *Eucalyptus camaldulensis*) aumenta la incidencia y severidad de galerías estos árboles. Esto puede ser porque a mayor traslape a los escarabajos les es más fácil moverse entre árboles y atacar a otro eucalipto (Tabla 4.2).

También se encuentra el daño mecánico al árbol como el vandalismo, el cual, como mencionan Zaragoza-Hernández *et al.* (2015), podría facilitar la oviposición de la hembra de los escarabajos y facilitar la infestación o permitir la entrada de más

patógenos que disminuyan el vigor del árbol haciéndolo más llamativo para los cerambícidos (Tabla 4.2).

El aumento en el porcentaje de árboles con epífitas y trepadoras (*Cissus sicyoides*, *Dioscorea galeottiana*, *Tillandsia recurvata*, *Sicyos deppei*, *Ipomoea* sp., *Metastelma angustifolium*, *Gaudichaudia* sp., *Cardiospermum halicacabum*, *Tropaeolum majus* y líquenes) disminuye la incidencia y severidad de galerías. Posiblemente estas plantas guarden humedad que le ayude al árbol a no tener estrés hídrico y esto evita el ataque de escarabajos pero aumenta el ataque de carpinteros. Los árboles estresados por sequía despiden compuestos volátiles que atraen a las hembras de los cerambícidos para poner sus larvas en ellos y éstas epífitas podrían estar disfrazando este aroma (Ruíz-Fernández, 2007) (Tablas 4.2 y 4.4).

Las larvas de *Phoracantha recurva* y *P. semipunctata* tienden a matar al árbol después de alimentarse de sus tejidos (González-Tirado, 1984; Beéche *et al.*, 2003) Sin embargo, en este trabajo el porcentaje de árboles con heridas longitudinales es mayor en árboles con incidencia y severidad baja de galerías, esto puede ser porque al desprenderse la corteza las heridas ya no son visibles (Tablas 4.2 y 4.4).

La relación entre las tallas del árbol y la incidencia y severidad de galerías es compleja, debido a que a mayor pap promedio menor es la incidencia y severidad de galerías, sin embargo a mayor altura promedio severidad, esto indica que mientras más alto el árbol se aumenta la superficie que puede consumir la larva de los escarabajos, lo que puede indicar que les gusta atacar árboles más jóvenes (Tablas 4.2 y 4.4).

A mayor porcentaje de árboles con patógenos como el hongo foliar *Kirramyces* sp., mayor es la severidad de galerías y a mayor porcentaje de insecto escama (*Glycaspis brimblecombei*) mayor es la incidencia de galerías. Esto puede indicar que el ataque de estos enemigos debilita el árbol y lo hacen susceptible para el ataque de los escarabajos (Cantoral-Herrera, 2015) (Tabla 4.2).

El porcentaje de árboles con ramas basales son otro factor que favorece la severidad de galerías, esto puede ser porque como menciona Martínez (1990) *E. camaldulensis* es una especie que rebrota vigorosamente, y el ataque de estos barrenadores como son los cerambícidos *P. recurva* y *P. semipunctata* puede generar

ramas basales como medida de respuesta del árbol cuando está muriendo su tronco principal (Tabla 4.2).

En cuanto a las interacciones entre los tres principales factores que explican la incidencia de galerías de escarabajo se encontró, que el carpintero favorece la presencia del muérdago y el muérdago a su vez debilita el árbol haciéndolo susceptible al ataque del escarabajo. Sin embargo, como el carpintero evita los árboles con ramas secas y con galerías la sucesión de eventos puede ser que primero llega el carpintero, luego el muérdago y finalmente el escarabajo (Tablas 4.2. y 4.3).

La interacción de los tres principales factores que explican la severidad de galerías de escarabajo sugiere que el muérdago es un factor que podría estar causando la aparición de ramas secas y a su vez esto disminuye el porcentaje de árboles con epífitas, ya que éstas requieren la humedad, esto genera una competencia por recursos del tronco del árbol con los escarabajos barrenadores (Tablas 4.4 y 4.5).

5.3.2. Resultados a nivel individual. Existen diferencias poblacionales e individuales en la severidad de galerías por árbol. Por ejemplo, a mayor pap mayor es la severidad de daño por los escarabajos, lo cual puede ser porque a mayor superficie las larvas pueden consumir más tejido del tronco. Igualmente, a mayor escala del vigor del árbol (1, estado óptimo; 5, muerto) más severidad, porque el ataque causa la muerte del árbol (Tabla 4.6, Fig. 4.16).

Otros factores importantes para explicar la severidad de galerías, de manera individual que no se encuentran de manera poblacional, por ejemplo el que el árbol tenga el tronco principal muerto aumenta la severidad de daño por galerías. Esto es porque comienzan matando el tronco del cual se alimentan y el árbol como defensa puede generar ramas alternas, pero finalmente muere. Se encontró que a mayor corteza desprendida menor severidad de ataque. Esto es diferente a lo reportado por González-Tirado (1984) y Beéche *et al.* (2003) y, como se mencionó arriba, puede ser un artefacto del muestreo.

Se observó que la presencia de tumores en el árbol es un componente que disminuye la severidad de galerías. Éstos son producidos por la bacteria *Agrobacterium*

tumefaciens, el cual genera agallas en el árbol en forma de protuberancias; parece que esto dificulta la puesta de la hembra de estos insectos en el árbol (González- Mula *et al.*, 2018) (Tabla 4.6).

El que un árbol esté quemado y aumente la severidad de daño de galerías puede ser porque esté sujeto a estrés hídrico y esto facilite el ataque de estos escarabajos (Tabla 4.6).

Analizando las interacciones las interacciones entre los tres principales factores que explican la severidad de galerías de escarabajo de manera individual se encontró una relación positiva entre que el árbol esté vivo y tenga el tronco principal muerto. Esto sucede porque el tronco principal es lo primero que muere en el árbol después de un ataque de escarabajo, pero *E. camaldulensis* rebrota fácilmente y puede generar ramas alternas, sin embargo cuando el ataque es severo, el árbol muere (Tablas 4.6 y 4.7).

5.4 Factores que afectan el daño por carpinteros

5.3.1. Resultados a nivel poblacional. La variable que explica más la incidencia de anillos de carpintero es el porcentaje de árboles con muérdago, a mayor porcentaje de éstos, mayor es la incidencia. Watson (2001) reporta que hay algunos carpinteros que consumen los frutos de los muérdagos y se establece una interacción planta-ave entre ellos. El consume sus frutos, defeca en las ramas de los árboles dejando la semilla del muérdago lista para germinar, entonces la presencia de uno favorece la del otro. Otra posibilidad es que como menciona Wagner (2011) a *S. varius* igual que *S. ruber* le guste elegir árboles con muérdago porque en éstos es más fácil perforar pozos de savia ya que los árboles debilitados por el ataque de patógenos como el muérdago producen más savia que otros árboles. La savia además atrae a su vez insectos de los cuales se alimenta este carpintero. Sin embargo, esta el resultado que la severidad de anillos es menor en los árboles con muérdago, lo cual muestra que es necesario estudiar más este fenómeno (Tablas 4.8 y 4.10, Fig. 4.17).

El segundo factor que afecta la incidencia de anillos de carpintero es el porcentaje de árboles con heridas, a mayor porcentaje de árboles con ellas, menor es

la incidencia, ya pueden interferir con el flujo de savia en el árbol de la cual se alimenta *Sphyrpicus varius*, sin embargo puede verse que aumenta la severidad del ataque ya que puede ser más fácil perforar en esas superficies (Tabla 4.8, Fig. 4.17).

Los árboles grandes (altura y pap) tienen menos anillos, pero más severos. Se puede deber a que es más fácil para los carpinteros perforar árboles jóvenes (Walters *et al.*, 2002) (Tablas 4.8 y 4.10, Fig.4.17). Esta interpretación se apoya con el resultado de los árboles quemados: la incidencia de ataque de carpintero disminuye por el endurecimiento de su corteza, sin embargo, si se da este es más severo porque el árbol ya está debilitado (Tablas 4.8 y 4.10).

A mayor porcentaje de árboles quemados, la incidencia de ataque de carpintero disminuye por el endurecimiento de su corteza, sin embargo, si se da este es más severo porque el árbol ya está debilitado (Tablas 4.8 y 4.10).

A mayor porcentaje de árboles con el tronco principal muerto, menor es la incidencia de anillos pero mayor la severidad de los mismos, porque el carpintero no puede obtener savia de él, pero puede suceder que un ataque severo haya causado la muerte del tronco. Igualmente puede estar relacionado con que el árbol genere ramas basales y con el porcentaje de árboles con ramas secas en el que la incidencia disminuye pero la severidad aumenta (Tablas 4.8 y 4.10).

A mayor porcentaje de árboles con hongo *Kirramyces* sp., mayor incidencia de daño por carpintero, con menor severidad. Esto puede ser porque como mencionan discuten Marraro y Garran (2004), este hongo causa defoliación en el árbol, lo cual podría permitir que fuera más evidente para el carpintero, no obstante puede que al carpintero no le gusten árboles enfermos por este hongo, lo cual disminuye la severidad (Tablas 4.8 y 4.10).

A mayor porcentaje de árboles con epífitas o trepadoras, menor es la incidencia de anillos de carpintero, dado que cubren al árbol haciendo difícil la perforación. Lo mismo sucede con el traslape de la copa. Sin embargo, cuando éste ataca la severidad es mayor ya que las epífitas podría incrementar la riqueza de artrópodos de los cuales también puede alimentarse el carpintero y el traslape de copa facilitar el paso de un árbol a otro (Tablas 4.8 y 4.10).

Un ataque severo de carpintero podría desencadenar un mecanismo de defensa en el árbol como es la liberación de resina, esto se ve en la relación de a mayor porcentaje de árboles con resina, mayor es la severidad de ataque de carpintero (Tabla 4.10).

La severidad de anillos de carpintero esta relacionada positivamente con el vigor, indicando que con el tiempo, si el ataque es severo puede matar al árbol, lo cual puede verse también en el porcentaje de árboles vivos y su relación negativa con la incidencia de anillos de carpintero (Tabla 4.10).

Analizando las interacciones las interacciones entre los tres principales factores que explican la incidencia de anillos de carpintero se puede ver que los árboles con heridas no son atractivos para los carpinteros porque es probable que interfieran con el flujo de savia, así que puede que en éstos sea más difícil la dispersión del muérdago. Pero, se ve de nuevo la relación de facilitación del muérdago mediante el carpintero (Tablas 4.8 y 4.11).

En las interacciones entre los tres principales factores que explican la severidad de anillos de carpintero se ve que la corteza desprendida y el insecto escama son factores que no permiten el establecimiento de las epífitas y trepadoras, sin embargo la suma de los árboles con corteza desprendida, el insecto escama y las epífitas/trepadoras favorecen la incidencia de anillos de carpintero (Tablas 4.10 y 4.11).

5.4.2. Resultados a nivel individual. Existen diferencias entre los factores importantes para poblaciones e individuos. Por ejemplo, se encontró que a mayor pap menor severidad de anillos, ya que probablemente al carpintero le gusten los árboles jóvenes, por otra parte, a mayor presencia de insecto escama, corteza desprendida y mayor altura del árbol, mayor severidad. Otro factor fue a mayor presencia de tumores en el árbol menor severidad, esto porque se dificulta la perforación de pozos de savia (Tabla 4.4, Fig. 4.19).

A mayor riqueza de escarabajos en el árbol, mayor es la severidad de daño por carpintero, porque pueden quedar atrapados en la savia o porque pueden alimentarse mejor de los recursos del árbol que está debilitado por el ataque (Tabla 4.4, Fig. 4.19).

Cuando un árbol tiene desmoches, la severidad de anillos disminuye. Ésta es una práctica que se ha llevado a cabo en la Ciudad de México en la que se intenta podar un árbol de manera inadecuada, cortando todas o muchas ramas del árbol, disminuyendo la superficie para anillos e interfiriendo con el flujo de savia (Rivas-Torres (2010; Tabla 4.4).

Las interacciones entre los tres principales factores que explican la severidad de anillos de carpintero de manera individual indica que la interacción entre el traslape de la copa y el árbol con heridas disminuyen la severidad del ataque por carpintero, seguramente porque disminuyen la superficie para los anillos (Tabla 4.13)

Un punto importante de tocar es que este trabajo no toma en cuenta el factor tiempo, ya que tanto galerías como anillos son daños de los que se desconoce cuánto tiempo llevan. Tal como menciona Cornell University (2019), *Sphyrapticus varius* tiende a hacer agujeros nuevos sobre agujeros viejos en los que recolectó la savia, por lo cual no se puede saber exactamente de cuándo son esos anillos. Además Beéche *et al.* (2003) mencionan que *P. recurva* y *P. semipunctata* producen larvas todo el año las cuales hacen las galerías, por lo que tampoco se puede saber la fecha exacta de la galería. Queda claro que tanto los cerambícidos como el carpintero siguen depredando a *E. camaldulensis* en la Ciudad de México, por los registros de los que ya se mencionó y lo que se muestra en el presente trabajo (Figs. 4.2 a 4.4).

En este estudio sólo se analizaron 20 sitios en nueve alcaldías, tomando en cuenta los lugares con mayor abundancia de eucaliptos, pero ¿qué pasaría si se ampliara la escala de estudio de este árbol exótico y estos dos enemigos, cuáles serían los niveles de incidencia y severidad a nivel Ciudad de México y por ende, cuál es el estado de sanidad de sus poblaciones? Además de los daños ya mencionados anteriormente, este árbol exótico está suponiendo un riesgo sanitario para el arbolado y un peligro para los habitantes porque la disminución de su vigor, producto del ataque constante de sus múltiples depredadores, puede causar su muerte y como consecuencia derrumbe sobre personas o bienes.

Son muchos los factores que están afectando la presencia de estos enemigos en el eucalipto y algunos de esos factores no son fáciles de medir, comparar, integrar,

analizar y sobre todo manejar. Por ende, el mantener un manejo sanitario adecuado de *Eucalyptus camaldulensis* puede significar un reto costoso, difícil y en gran medida poco posible. Este trabajo propone evaluar el estado sanitario de este árbol exótico, con el fin de generar un mapa de riesgo en la Ciudad de México ya que también otros trabajos, como el de Reséndiz-Martínez *et al.* (2019), catalogan a esta especie como una de las especies más susceptibles a la infestación de agentes biológicos del arbolado urbano.

El siguiente paso podría ser un plan de manejo a nivel Ciudad de México, empezando por evitar la introducción de más eucaliptos, seguido por su extracción en áreas naturales como Bosque de Tlalpan y la REPSA y en parques urbanos y camellones. También se deben plantear estrategias para disminuir la tasa reproductiva de *E. camaldulensis*, seguido de un reemplazo a lo largo del tiempo por especies nativas, ya que considero que si seguimos por el camino de proponer controles biológicos para las plagas de esta especie como el que se hizo con *G. brimblecombei*, puede resultar aún más costoso y poco viable que hacerle frente al problema principal.

En este momento, ya que se encuentran los cerambícidos *P. recurva* y *P. semipunctata* en la Ciudad de México, puede estudiarse la posibilidad de la creación de un programa de control biológico con ellos, dado que son específicos del género para causar la muerte de *E. camaldulensis*, ya que como se mencionó antes esta es una especie que rebrota fácilmente y su extracción y manejo no es sencilla.

Es hora de evaluar los servicios ambientales que esta especie nos está dando contra los riesgos que está representando, a casi un siglo después de su introducción en el Valle de México y de la cual el ingeniero forestal Miguel Ángel de Quevedo, desconocía los riesgos. Ahora en el año 2021, muchos de éstos se conocen, estos árboles tienen muchos enemigos. Como menciona Cantoral-Herrera (2015) y desde mi percepción éstas pueden seguir atacando las poblaciones de *Eucalyptus camaldulensis* reduciendo su vigor y haciendo de él un peligro a las personas, a la fauna y flora nativa.

6. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos hasta ahora, se formulan las siguientes conclusiones:

1. Los barrenadores de *Eucalyptus camaldulensis* en la Ciudad de México son los escarabajos *Phoracatha recurva*, *P. semipunctata*, y *Lichenophanes* sp. y el carpintero *Sphyrapicus varius*.
2. Todos los sitios seleccionados registran daño por descortezadores y barrenadores, por lo que la Ciudad de México no es una región libre de este tipo de enemigos naturales de los eucaliptos.
3. Los árboles expuestos a disturbios antropogénicos son poco vigorosos y vulnerables a ataques de *Phoracatha recurva*, *P. semipunctata* y *Lichenophanes* sp. y *Sphyrapicus varius*.
4. Los árboles están siendo mayormente atacados por escarabajos que por carpinteros.
5. Existe una relación negativa entre la incidencia de anillos de carpinteros y la incidencia de galerías de escarabajos, esto puede ser porque esta ave si se esté alimentando de las larvas de los escarabajos o porque el carpintero este evitando los árboles atacados por las larvas y por ende estén compitiendo por los recursos alimenticios del árbol.
6. No necesariamente los árboles de mayor edad presentan mayor severidad de ataque por escarabajos y carpinteros.
7. *Sphyrapicus varius* también barrena especies nativas como el encino *Quercus rugosa* y el tepozán *Buddleia cordata*.
8. Debido a que los árboles de eucalipto están siendo atacados por barrenadores, se sugiere un estudio a mayor escala del estado sanitario de estos árboles exóticos y el planteamiento de un programa, de manejo prioritario por zonas, en los parques de la Ciudad de México con especies nativas que provean los mismos servicios ecosistémicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnett, R.H., y M.C. Thomas. 2000. American Beetles, Archostemata, Myxophaga, Adephaga, Polyphaga: Staphyliniformia, vol. I. CRC, Boca Ratón, Florida, EE. UU. 861 pp.
- Benavides-Meza, H.M. 2015. Metodología para el diagnóstico de áreas verdes urbanas e inventario de su arbolado. Libro Técnico No. 8. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México, Ciudad de México, México. 114 pp.
- Beéche, M.A., C. Goycoolea, T.S. Rothman, C.A. Sandoval, M.S. Ide y S. Espinoza. 2003. Detección y control biológico de los taladradores del eucalipto en Chile. *Phoracantha semipunctata* Fabricius y *Phoracantha recurva* Newman (Coleoptera: Cerambycidae). Controladora de Plagas Forestales, Santiago de Chile, Chile. 45 pp.
- Blackburn, T.M., P. Pysek, S. Bacher, J. Carlton, R.P. Duncan, V. Jarosik, J.R.U. Wilson y D.M. Richardson. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 26:7. 333-339.
- Cano-Santana, Z., I. Pisanty, S. Segura, P.E. Mendoza-Hernández, R. León-Rico, J. Soberón, E. Tovar, E. Martínez-Romero, L.C. Ruiz y A. Martínez-Ballesté. 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. En: Oyama, K. y A. Castillo (coords.). Manejo conservación y restauración de recursos naturales en México: perspectivas desde la investigación científica. Siglo XXI/Universidad Nacional Autónoma de México, México, Ciudad de México, México, pp. 203-226.
- Cantoral-Herrera, M.T. 2015. Control Biológico de *Glycaspis brimblecombei* en las áreas verdes de la Ciudad de México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 73 pp.
- CDB, Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2009. Conferencia de las Partes COP 6, Decisión V1/23: Especies exóticas que amenazan a los ecosistemas, los hábitats o las especies. *Convenio sobre Diversidad Biológica*, pp. 255-268.

- Ceccon E. y M. Martínez-Ramos. 1999. Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales: Aplicación al caso de México. *Interciencia*, 24: 352-359.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2020. Especies exóticas invasoras. En: <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/especies.html>, consultado el 26 de noviembre de 2020.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2016. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., 1832. CONABIO, Ciudad de México, México.
- Cornell University. 2019. Yellow-bellied Sapsucker. *Sphyrapicus varius*. En: la web: https://www.allaboutbirds.org/guide/Yellow-bellied_Sapsucker/overview#, consultado en mayo 2021.
- Cortés-Aguilar, J., R. Bello-Bedoy, J.L. Navarrete-Heredia y A. Velázquez. 2019. Primer captura de *Phoracantha recurva* Newman, 1840 en condiciones naturales en México e información sobre su distribución en México. *Southwestern Entomologist*, 44: 973-978.
- Del Olmo, L.G. 2013. Aves comunes de la Ciudad de México. 2a. edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México. 252 pp.
- Enders, M., F. Havemann, F. Ruland, M. Bernard-Verdier, J.A. Catford, L. Gómez-Aparicio, S. Haider, T. Heger, C. Kueffer, I. Kühn, L.A. Meyerson, C. Musseau, A. Novoa, A. Ricciardi, A. Sagouis, C. Schittko, D.L. Strayer, M. Vilá, F. Essi, P.E. Hulme, M. van Kleunen, S. Kumschick, J.L. Lockwood, A.L. Mabey, M.A. McGeoch, E. Palma, P. Pysek, S. Wolf-Christian, F.A. Yannelli y J.M. Jeschke. 2020. A conceptual map of invasion biology: Integrating hypotheses into a consensus network. *Global Ecology and Biogeography*, 29:978-991.

- Espinosa-García F.J. 1996. Revisión sobre la alelopatía de *Eucalyptus* L'Herit. Boletín de la *Sociedad Botánica de México*, 58: 55-74.
- FAO, Food and Agriculture Organization (FAO). 1958. Principales plagas y enfermedades del eucalipto fuera de Australia. *Unasyva - Revista de Silvicultura y Productos Forestales*, 12(2). Disponible en: <<http://www.fao.org/3/x5387s/x5387s07.htm>>.
- FAO, Food and Agriculture Organization. 2006. Manual de campo, plagas y enfermedades de eucaliptos y pinos en el Uruguay. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay. 167 pp.
- Fierros-López H.E. 2005. Guía para las familias comunes de Coleoptera de México. 41 pp.
- García J., J. 2003. Análisis económico del control biológico del psílido del eucalipto en la Ciudad de México. Tesis de maestría en ciencias forestales. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 92 pp.
- Gil, A.M. 2018. Guía de gestión integrada de plagas eucalipto. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. 83 pp.
- González-Jaramillo, S.I. 2018. Estructura y composición de la comunidad vegetal de dos sitios sujetos a acciones de restauración durante el periodo 2005-2012 en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 117 pp.
- González-Mula, A, J. Lang, C. Grandclément, D. Naquin, M. Ahmar, Y. Queneau, Y. Dessaux y D. Faure. 2018. Lifestyle of the biotroph *Agrobacterium tumefaciens* in the ecological niche constructed on its host plant. *New Phytologist*, 219:350-362.
- González-Tirado, L. 1984. Lucha contra *Phoracantha semipunctata* Fab. en el suroeste español. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 10: 185-204
- Hinke, N. 2000. La llegada del eucalipto a México. *Ciencias*, 58: 60-62.

- Hughell, D.A. 1900. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus camaldulensis*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 57 pp.
- Llorente-Bousquets, J.E., A. García-Aldrete y E. González-Soriano. 1996. Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento, vol. I. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, Ciudad de México, México. 629 pp.
- Lombardero, M.J y Fernández A.M. 1997. Nuevos insectos perforadores asociados al eucalipto en Galicia (Coleoptera: *Scolytidae* y *Platypodidae*). *Plagas* 23: 177-188.
- Louman, B., D. Quirós y M. Nilsson. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 265 pp.
- Marchal-Valencia, D. 2009. El muérdago en la Ciudad de México. *Arbolama*, 2: 10-30.
- Marraro, A. F. y Garran, S. M. 2004. Detección de *Kirramyces epicoccoides*, *Puccinia psidii* y *Coniothyrium zulense*, agentes causales de enfermedades en *Eucalyptus* spp. en la zona de la Concordia, entre ríos, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 33: 135-147.
- Martínez, H.H. 1990. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 49 pp.
- Martínez-Castruita, I.A., M.H. Sandoval-Ortega, M. Arellano-Delgado y V.M. Martínez-Calderón. 2021. Infestación por *Cladocolea lonicerooides* y sus potenciales aves dispersoras de semillas en un área verde urbana de la Ciudad de Aguascalientes, México. *Madera y Bosques*, 27: e2712084.
- Monroy-Vilchis, O. 2003. Principios generales de biología de la conservación. En: Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis, (eds.). Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. Instituto Nacional de Ecología, Xalapa, Veracruz, México. 315 pp.

- Núñez-Montellano, M.G. y G.P. Blendinger. 2015. Configuration and geometry of sap- holes drilled by the White-fronted Woodpecker (*Melanerpes cactorum*): effects of three-structure, sap-traits and plant health. *Austral Ornithology*, 115(2): 168-175.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) 2015. Ciudades verdes y sustentables. En: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/ciudades-verdes-y-sustentables#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20Organizaci%C3%B3n,habitante%20para%20garantizar%20su%20bienestar>, consultado el 1 de septiembre 2021.
- Osejos-Merino M.A., M.V. Merino-Conforme, R.J. Cano-Andrade, A.J. Quimis-Gómez, J.J. Jaramillo-Feliz y B.J. Toala-García. 2018. Especies invasoras y su incidencia en plantas arbóreas y aves marinas de la Isla de la Plata. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. 110 pp.
- Palladino C., G. Pérez y C.A. Pérez. 2016. Enfermedades bacterianas de eucaliptos. Estado actual del conocimiento. *Bosque*, 37(3): 451-460.
- Rivas-Torres, D. 2010. Por una cultura del árbol urbano en México, el problema del desmoche. Conferencia dictada en el Foro sobre áreas verdes de la Asamblea Legislativa del Distrito Federal. México.
- Reséndiz-Martínez, F., L.I. García-Delgado, M. Ramón-Mateo, M. Gutiérrez-Rojas y D. Ruiz Juárez. 2019. Salud forestal del arbolado de la segunda sección del bosque de Chapultepec de la Ciudad de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 19: 138-164.
- Romo-Lozano J.L., J. García-Jiménez, D. Cibrián-Tovar y E. Serrano-Gálvez. 2007. Análisis económico del control biológico del Psílido del eucalipto en la Ciudad de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13 (1): 47-52.
- Ruíz-Fernández, F. 2007. *Phoracantha semipunctata* Fab. En: *Plagas forestales de Andalucía*. Red de Equilibrios Ecológicos, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Andalucía, 8 pp. En: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Documentos_Tecnicos/plagas_forestales/carpeta_plagas_forestales.pdf.

- SEDEMA, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2004 *Informe de avances del programa de sustitución de eucaliptos en condición de alto riesgo*. Ciudad de México, México. 10 pp.
- SEDEMA, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2010. Áreas Verdes de la Ciudad de México, por clasificación del área. En: <https://www.claraboya.com.mx/areas-verdes-tipo/PARQUE>, consultado el 15 de noviembre de 2019.
- SEDEMA, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2017. Inventario de Áreas Verdes. En: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/barrancas>, consultado el 15 de noviembre de 2019.
- SEDEMA, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2019. Áreas Naturales Protegidas y áreas de valor ambiental. En: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/areas-naturales-protegidas>, consultado el 15 de noviembre de 2019.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2016. NOM-016-SEMARNAT-2013, que regula fitosanitariamente la importación de madera aserrada, análisis de riesgo de plagas. México. 503 pp.
- SGIRP, Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil. 2004. Atlas de riesgo e identificación de peligros de la Ciudad de México. En: <http://www.atlas.cdmx.gob.mx/atlas2014.html>, consultado el 17 de noviembre de 2019.
- Simberloff, D., J.L. Martin, P. Genovesi, V. Maris, D.A. Wardle, J. Aronson, F. Courchamp, B. Galil, E. García-Berthou, M. Pascal, P. Pysek, R. Sousa, E. Tabacchi y M. Vila. 2012. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution*, 28: 58-66.
- Stone, C. y P.E. Bacon. 1994. Relationships among moisture stress, insect herbivory, foliar cineole content and growth of river red gum *Eucalyptus camaldulensis*. *Journal of Applied Ecology*, 31: 604-612.

UCIPM, University of California Agriculture and Natural Resources, Statewide Integrated Pest Management Program. 2019: En: <http://ipm.ucanr.edu/QT/treeborerscardsp.html#targetText=Barrenadores%20aplanado%20dejan%20grandes%20agujeros,savia%20y%20debilitando%20los%20%C3%Arboles>, consultado el 13 de septiembre 2019.

Valdebenito R.G., R.V. Gatica, V.R. Pincheira, R.E. García, O.M. González y D.M. Hormazábal. 2001. *Silvicultura, manejo, productividad y rentabilidad de Eucalyptus camaldulensis en Chile*. INFOR, Santiago de Chile, Chile. 62 pp.

Vega y Ortega, B.R.A. 2016. Ciencia y ambiente en la aclimatación del eucalipto en el Valle de México a través de la prensa, 1869-1880. *Historia y Sociedad*, 30: 237-264.

Wagner, M.A. 2011. Habitat selection by red-breasted sapsucker (*Sphyrapicus ruber*) in southeast Alaska old-growth forest. Tesis de maestría. Faculty of Humboldt State University, Arcata, California, EE.UU. 58 pp.

Walters, E.L., E.H. Miller y P.E. Lowther. 2002. Red-breasted Sapsucker (*Sphyrapicus ruber*) and Red-naped Sapsucker (*Sphyrapicus nuchalis*). En: The birds of North America No. 663. A. Poole y F. Gill (eds.). The Birds of North America, Inc., Filadelfia, Filadelfia, EE.UU.

Watson, D.M. 2001. Mistletoe a keystone resource in forests and woodlands worldwide. *Ecology Systems*, 32:219-249.

Zaragoza-Hernández, A.Y, V.M. Cetina-Alcalá, M.A. López-López, A. Chacalo-Hilú, M.L. Isla-Bauer, D. Alvarado-Rosales y H. González-Rosas. 2015. Identificación de daños en el arbolado de tres parques en el Distrito Federal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(32): 63-82.

Anexo 1

Localización y características de los 20 sitios de muestreo seleccionados. Elaboración propia con datos de SEDEMA (2010, 2017, 2019) y SGIRPC (2014).

Sitio	Coordenadas	Alcaldía	Área (ha)	Tipo de área	Tipo de suelo de la alcaldía	Clima de la alcaldía	TMA (°C)
Parque las Águilas. Sitios 1 y 2.	19.352993, -99.204726 y 19.353536, -99.211274	Álvaro Obregón	29.36	Parque Ecológico	Pheozem, litosol y andosol de origen volcánico	Templado subhúmedo y semifrío subhúmedo hacia el sur	15.5°C
Parque Tezozómoc. Sitios 1 y 2.	19.500145, -99.206909 y 19.501473, -99.2103430	Azcapotzalco	28	Parque recreativo	Pheozem de origen lacustre, aluviales y ribereños	Templado subhúmedo con lluvias en verano de menos humedad	16.9
Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) Sitios 1 y 2.	19.311894, -99.194204 y 19.328701, -99.179768	Coyoacán	237.3	Reserva Ecológica	Pheozem y litosol de origen volcánico y lacustre	Templado subhúmedo con lluvias en verano	Entre 12 y 18
Cerro Zacatépetl. Sitios 1 y 2.	19.308787, -99.200319 y 19.307923, -99.199447	Coyoacán	39.53	Área de valor ambiental	Pheozem y litosol de origen volcánico y lacustre	Templado subhúmedo con lluvias en verano	Entre 12 y 18
Bosque de Aragón Sitios 1 y 2	19.459964, -99.076272 y 19.457810, -99.075009	Gustavo A. Madero	160	Parque recreativo	Pheozem, solonchak salinos de origen aluvial	Templado subhúmedo con lluvias en verano y seco semiseco templado	15.7

Sitio	Coordenadas	Alcaldía	Área (ha)	Tipo de área	Tipo de suelo de la alcaldía	Clima de la alcaldía	TMA (°C)
Cerro de la Estrella Sitios 1 y 2	19.344039, -99.0901318 y 19.342342, -99.092303	Iztapalapa	1100	ANP	Pheozem, solonchak salinos de origen lacustre y volcánico	Templado, subhúmedo con lluvias en verano	16.7
Bosque de Chapultepec Segunda Sección. Sitios 1 y 2.	19.409488, -99.200135 y 19.4112174, -99.196643	Miguel Hidalgo	168.03	ANP y parque recreativo	Pheozem de origen volcánico	Templado subhúmedo	Entre 12 y 18
Parque los Olivos	19.250400, -99.005321	Tláhuac	9.03	Parque recreativo	Pheozem	Templado subhúmedo con lluvias en verano	Entre 8.3 y 22.8
Bosque de Tláhuac	19.284743, -99.047065	Tláhuac	58	Parque recreativo	Pheozem	Templado subhúmedo con lluvias en verano	Entre 8.3 y 22.8

Sitio	Coordenadas	Alcaldía	Área (ha)	Tipo de área	Tipo de suelo de la alcaldía	Clima de la alcaldía	TMA (°C)
Bosque de Tlalpan. Sitios 1 y 2.	19.294824, -99.194543 y 19.294243, -99.197219	Tlalpan	252.86	ANP	Andasol, litosol y pheozem de origen volcánico	Templado subhúmedo, semifrío subhúmedo y frío	15.8
Bosque de Nativitas. Sitios 1 y 2	19.248667, -99.101063 y 19.249321, -99.099223	Xochimilco	20	Bosque urbano	Pheozem, andosol, litosol y solonchak de origen aluvial y lacustre	Templado subhúmedo con lluvias en verano	16.2

Anexo 2

Categorías de evaluación de debilidad de un árbol. Modificado de Benavides-Meza (2015).

Categoría	Descripción
1) Debilidad ausente (vigor óptimo)	Desarrollo y color uniforme de acuerdo a la especie, con tronco y follaje en condiciones físicas óptimas.
2) Debilidad baja (vigor alto)	Follaje seco en menos del 30% de la copa. Puntas muertas y ausencia moderada de acículas en ramas terciarias. Inclinación menor a 15°.
3) Debilidad media (vigor medio)	Follaje seco entre un 31-60% de la copa. Pérdida de acículas en ramas terciarias y acículas escasas en ramas secundarias. Ramas terciarias y puntas de las ramas secundarias muertas. Inclinación entre 16-30°.
4) Débil (vigor pobre)	Follaje seco entre un 61 a un 90% de la copa. Pérdida de las acículas en ramas secundarias y terciarias; acículas escasas en ramas primarias. Ramas terciarias, secundarias y puntas de ramas primarias muertas. Inclinación entre 31-50°.
5) Muerto	Ausencia de follaje, o follaje totalmente seco.

Anexo 3

Parámetros tomados en cuenta para la construcción del índice de disturbio de cada uno de los 20 sitios

Sitio	%Basura	%Caminos	% de árboles con vandalismo	% de árboles quemados	Índice de disturbio
Cerro de la Estrella 1	20	30	0	3.3	53.3
Cerro de la Estrella 2	15	30	5	0	50.0
Chapultepec 1	10	80	0	0	90.0
Chapultepec 2	30	60	35	0	125.0
REPSA 1	40	20	1.7	13.3	75.0
REPSA 2	80	60	1.7	5	146.7
Parque las Águilas 1	20	50	8.3	0	78.3
Parque las Águilas 2	30	45	20	0	95.0
Bosque de Nativitas 1	90	70	58.3	0	218.3
Bosque de Nativitas 2	70	70	61.7	13.3	215.0
Bosque de Tlalpan 1	40	50	13.3	13.3	116.7
Bosque de Tlalpan 2	15	10	6.7	0	31.7
Bosque de Aragón 1	70	90	48.3	0	208.3
Bosque de Aragón 2	65	90	65	0	220.0
Cerro Zacatépetl 1	5	5	1.7	10	21.7
Cerro Zacatépetl 2	5	5	1.7	15	26.7
Tláhuac 1	30	70	48.3	0	148.3
Tláhuac 2	90	60	31.7	0	181.7
Parque Tezozómoc 1	35	30	48.3	0	113.3
Parque Tezozómoc 2	30	30	56.7	0	116.7